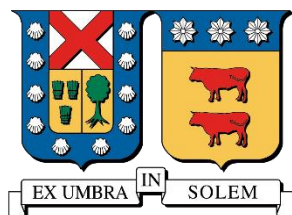




UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

SANTIAGO – CHILE



**“PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE
METODOLOGÍA LEAN PARA EL
MANTENIMIENTO DEL EQUIPO CRÍTICO EN
EL ÁREA ACERÍA DE EMPRESA DEL RUBRO
SIDERÚRGICO”**

ALONSO ROBLES GUTIERREZ

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA

PROFESOR GUÍA : ING. NELSON ÁLVAREZ COMPILLAY

PROFESOR CORREFERENTE : ING. LUIS GUZMAN BONET

ABRIL – 2021



Agradecimientos

Agradezco eternamente a mi familia por apoyarme incondicionalmente durante esta larga etapa de mi vida, en la cual hubo muchas caídas, pero también muchos logros, sin embargo, destaco que son las primeras las que más me han enseñado y forjado poco a poco el carácter y forma de ver la vida. Me alegra mucho poder decir que gocé y disfruté de la compañía de mis abuelos que ya no están en esta vida y que me apoyaron absolutamente cuando lo necesité, con comida caliente, una rica cama, una buena ducha e historias maravillosas. También aprovecho la instancia de agradecer por escrito a aquellos que aún tengo la suerte de tenerlos en vida y seguir disfrutando día a día de su cariño y sabiduría, que, sin duda, es algo de lo que más he aprendido hasta ahora.

Me tomo este párrafo para agradecer particularmente a mis padres, Patricia y Rodrigo, seres realmente maravillosos, que gracias a su esfuerzo, dedicación y perseverancia pudieron darme la mejor herencia que existe, el amor, la educación y el crecimiento personal. Inculcándome valores únicos y escasos en la sociedad actual, que me han permitido superar acontecimientos importantes y vivir de una manera increíblemente bella. Gracias mis viejos queridos, amor eterno a ustedes, por siempre.

Gracias a mi gran y mejor amigo, Benjamín Méndez, por todos los momentos vividos y por todos aquellos consejos que fueron y seguirán siendo tan importantes como nuestra bella amistad. La cual fue un pilar fundamental en el desarrollo de estos años. Gracias a su familia también, por estar en aquellos momentos importantes de la vida y ofrecer innumerables risas y momentos alegres. Agradezco a Coni por su apoyo incondicional cuando lo necesité y también por todo el amor que me ha dado. Agradezco, además, a aquellas personas que esta etapa me llevó a conocer, aquellos y aquellas con los que he compartido dolores y alegrías, aquellos que entienden lo que es estudiar en esta gran casa de estudio. Mis amigos de universidad, que, sin ellos, este logro no sería posible. Ustedes saben a lo que me refiero...

Gracias a todos los profesores y colaboradores de la universidad, a mis colegas de AZA por permitir el crecimiento profesional de mi persona y el desarrollo de este trabajo. Gracias por sus enseñanzas y apoyo.

Finalmente, agradezco a la Vida, Dios y el Universo por esta hermosa etapa que ya se acaba. Gracias por la oportunidad y la posibilidad de haber vivido todo lo que viví debido a estos 7 años. Serán inolvidables y muchas veces volveré a ellos para recordarlos.



Dedicatoria

*...A mi Familia, Amistades,
y todas aquellas maravillosas personas
que he conocido y que estoy por conocer.
A ustedes, este trabajo.*



***“Lo que está detrás y
lo que está delante de nosotros,
es nada comparado con lo que reside en nuestro interior”***



Resumen Ejecutivo

La Propuesta de Implementación de Lean Maintenance elaborada consiste en cinco grandes partes, que enlazadas permiten la construcción de un Plan de Acción coherente a las necesidades del proceso de Mantenimiento del activo principal, el Horno Eléctrico.

En primera instancia, se realiza un levantamiento de los activos existentes y procesos ocurridos en esta planta de fabricación de acero, junto a su cultura de Mejora Continua, de donde se obtiene una amplia comprensión del funcionamiento de Acería.

En segunda instancia, se realiza un análisis de criticidad de dicha área, relacionando parámetros como: Seguridad, Medio Ambiente, y Costos. De donde se obtiene como resultado que el Horno Eléctrico es el activo crítico del área considerando equipos y proceso.

Posteriormente, en tercer punto se presenta la estrategia de mantenimiento del Horno Eléctrico ejecutada, donde se realiza una evaluación profunda del Mantenimiento para luego visualizar información referente a planes correctivos, preventivos con uso de Software SAP, Nivel 2 y Tratamiento de Falla. Luego, mediante el uso de herramientas como SIPOC, VSM, Ishikawa, 5-Whys, es posible identificar aquellos desperdicios de Lean Maintenance que en su conjunto reducen la efectividad del proceso de Mantenimiento.

Con foco en la mejoría de la Gestión del Mantenimiento, en la cuarta parte se propone realizar 21 Acciones de Mejora, algunas de ellas son: Implementación Plan 5S en Patio Horno Eléctrico, Indicador de control en relación con Órdenes de Mantenimiento notificadas respecto de las realizadas; Planes de Capacitación para uso de SAP; Actualización GPR; Plan de Administración de Herramientas, entre otros.

Finalmente, se presenta una evaluación económica de la propuesta presentada, el cual permite visualizar los recursos necesarios de esta y, además, discriminar monetariamente si la propuesta es o no viable.

Palabras Clave: 5s, Horno Eléctrico, SAP, SIPOC, VSM, Ishikawa, Lean Maintenance, Mantenimiento, Gestión.



Abstract

The elaborated Lean Maintenance Implementation Proposal consists in five big parts, that in its junction permits the construction of an Action Plan coherent to the main active's maintenance process necessities, The Electric Arc Furniture.

At the beginning, it starts with a compilation of data regarding the existing actives and the occurred process at the Steelworks and, a study of the Kaizen Culture present in the process. This permits a wide comprehension of the performance.

At the second point, a Criticality Analysis was done in the mentioned area, gathering parameters like: Security, Environmental, and Costs. Once this is completed, the result obtained is the Electric Arc Furniture as the critical active considering the entire process and all the equipment as separated.

Later, in the third point the executed maintenance strategy for the EAC is presented. Where a deep evaluation of the maintenance process is performed. Thus, it is possible to visualize the data coming from Corrective and Preventive Maintenance, like use of SAP, Nivel 2, and Failure Analysis software. Additionally, through some tools like: SIPOC; VSM; Ishikawa; 5-Why's, it identifies the Lean Maintenance's wastes that in their union reduce the effectiveness of the maintenance process.

Centered on the improvement of Maintenance Management, the fourth part is the proposal of 21 Improvement Actions, some of them are: 5S Plan Implementation in EAC's Yard; Control's Indicator of the amount of the notified maintenance's orders in comparison with the realized maintenance's orders; Training Plan: Use of SAP; GPR actualization; Tool's management plan, among other.

Finally, on the fifth and last part of the project, a economic evaluation is presented, which rises the necessary resources of the proposal, moreover, to discriminate economically speaking if the proposal can be launched or not.

Keywords: 5s, Electric Arc Furniture (EAC), SAP, SIPOC, VSM, Ishikawa, Lean Maintenance, Maintenance, Management.



Glosario

- ❖ **Power On:** Tiempo de encendido de Horno Eléctrico.
- ❖ **Power Off:** Tiempo de Apagado de Horno Eléctrico.
- ❖ **H.E.:** Activo encargado de fusionar chatarra ferrosa.
- ❖ **Interrupción:** Tiempo de detención de un activo.
- ❖ **Falla:** Evento ocurrido cuando un activo deja de realizar la función para la cual es requerido.
- ❖ **Lean Manufacturing:** Producción Esbelta, también conocida como Lean Production.
- ❖ **Santd – By:** Terminología usada cuando un activo se encuentra disponible pero no en funcionamiento.
- ❖ **Gemba:** Herramienta de Liderazgo de mejora continua que conecta liderazgo con colaboradores.
- ❖ **ICS:** Indicador de Comportamiento Seguro.
- ❖ **OEE:** Overall Equipment Effectiveness o Efectividad Total de los Equipos.
- ❖ **KPI:** Key Performance Indicator o Indicador Clave de Funcionamiento.
- ❖ **Housekeepers:** Mantenedores.
- ❖ **VOC:** Voice Customer Requirement.
- ❖ **CCR:** Critical Customer Requirement.
- ❖ **TPM:** Total Productive Maintenance o Mantenimiento Productivo Total.
- ❖ **RCM:** Reliability Centered Maintenance o Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.



Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1: Descripción de los ocho desperdicios Lean Manufacturing.</i>	6
<i>Ilustración 2: Los Cinco principios de Lean Manufacturing.</i>	11
<i>Ilustración 3: Metodología para evaluar el desarrollo un plan de mejora continua.</i>	18
<i>Ilustración 4: Descomposición de las seis grandes pérdidas de OEE.</i>	27
<i>Ilustración 5: Metodología Lean Maintenance aplicable al proceso de mantenimiento del equipo crítico.</i>	30
<i>Ilustración 6: Organigrama de Aceros Aza. Fuente: Aceros Aza.</i>	33
<i>Ilustración 7: Diagrama de flujo del proceso productivo desde Procesamiento de chatarra a Laminación.</i>	33
<i>Ilustración 8: Procesamiento de chatarra en P.P.C. y Prensas Vezzani.</i>	34
<i>Ilustración 9: Traslado de cesta con chatarra al Horno Eléctrico, Acería.</i>	35
<i>Ilustración 10: Producción de alambón y rollos en el tren de laminación.</i>	35
<i>Ilustración 11: Etiquetado de productos finales, listos para el despacho por camiones.</i>	36
<i>Ilustración 12: Esquema de Células de Acería.</i>	37
<i>Ilustración 13: Tiempos correspondientes a Power On y Power Off.</i>	38
<i>Ilustración 14: Tiempos Padrones e Interrupciones.</i>	38
<i>Ilustración 15: Metodología para realizar obtención del Equipo Crítico en el área de Acería.</i>	47
<i>Ilustración 16: Entorno del Equipo Crítico.</i>	49
<i>Ilustración 17: Porcentaje de interrupciones mecánicas distribuidas por células de Acería.</i>	50
<i>Ilustración 18: Diagrama de Pareto de frecuencia de interrupciones por equipo/activo de célula Hornos.</i>	51
<i>Ilustración 19: Diagrama de Pareto para minutos acumulados de interrupción por equipo/activo.</i>	52
<i>Ilustración 20: Candidatos a Equipo Crítico.</i>	53
<i>Ilustración 21: Diagrama del Proceso según cumplimiento de función.</i>	60
<i>Ilustración 22: nombre del Equipo Crítico obtenido mediante análisis de proceso y activos de Acería.</i>	61
<i>Ilustración 23: Metodología para identificar la estrategia de mantenimiento del H.E.</i>	62
<i>Ilustración 24: Corte longitud del Horno Eléctrico y sus secciones principales.</i>	64
<i>Ilustración 25: Equipos y Sistemas Primarios del Horno Eléctrico, junto a Sistema de Aire y Sistema de Refrigeración.</i>	66



<i>Ilustración 26: Gatillos que generan la realización de un Tratamiento de Falla. Información proveniente de software Nivel 2.</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 27: Conjunto de softwares que permiten el control de la gestión del mantenimiento.</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 28: Organigrama de Célula de Mantenimiento, Acería.</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 29: Explicación gráfica de secuencia de pasos para obtener la propuesta de plan de mejora.</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 30: Mapa de Flujo de Valor del Mantenimiento Correctivo con repuesto en Kit de Reserva.</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 31: Mapa de Flujo de Valor del Mantenimiento del Horno Eléctrico con Repuesto en Bodega.</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 32: Mapa de Flujo de Valor del Mantenimiento Preventivo del Horno Eléctrico.</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 33: Mapa de Flujo de Valor de Parada de Mantenimiento Anual de Horno Eléctrico.</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 34: Clasificación de Desperdicios según impacto en Cliente y Negocio mediante el uso de la herramienta Matriz de Impacto.</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 35: Secuencia de actividades para obtención de Causas – Directas.</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 36: Secuencia de actividades para obtención de Causa - Raíz.</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 37: Secuencia de actividades para obtención de Acciones de Mejora.</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 38: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #3 para encontrar origen de por qué los repuestos tienen baja disponibilidad o se encuentran obsoletos.</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 39: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #5 para encontrar origen de por qué herramientas no se encuentran disponibles para el uso.</i>	<i>118</i>
<i>Ilustración 40: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #6 para encontrar origen de por qué GPR no está actualizado.</i>	<i>119</i>
<i>Ilustración 41: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #7 para encontrar origen de por qué los Planos no está actualizados.</i>	<i>119</i>
<i>Ilustración 42: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #8 para encontrar origen de por qué existe una cantidad innecesaria de lanzas quita escoria y residuos.</i>	<i>120</i>
<i>Ilustración 43: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #9 para encontrar origen de por qué mecánicos de mantenimiento no utilizan SAP para notificar actividades de Mantenimiento.</i>	<i>120</i>
<i>Ilustración 44: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #12 para encontrar origen de por qué la información requerida para planificar Parada de Mantenimiento Anual no está estandarizada.</i>	<i>121</i>



Ilustración 45: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #15 para encontrar origen de por qué los repuestos solicitados con compra inmediata no son adquiridos bajo esa condición. _____ 121

Ilustración 46: Sugerencia de Plan de Control para Propuesta de Mejora. _____ 128



Índice de Tablas

<i>Tabla 1: Matriz de Criticidad utilizada para discriminar severidad del daño.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 2: Resultados de Índice de Severidad para Sub-Equipos y Horno Eléctrico.</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 3: Resultados de Índice de Severidad para Sub-Equipos y Captador de Gases</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 4: Resultados de aplicación de Técnica 5W2H a Carcasa de Horno Eléctrico.</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 5: Diagrama SIPOC de Mantenimiento Correctivo con repuesto disponible en Kit de Reserva.</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 6: Diagrama SIPOC de Mantenimiento Correctivo con repuesto disponible en Bodega.</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 7: Diagrama SIPOC de Mantenimiento Preventivo generado vía software de gestión SAP. ..</i>	<i>77</i>
Tabla 8: <i>Diagrama SIPOC de Parada de Mantenimiento Anual de Horno Eléctrico.</i>	<i>78</i>
Tabla 9: <i>Listado de desperdicios Lean Maintenance presentes en todos los tipos de mantenimiento del Horno Eléctrico con su respectiva asignación de impacto en criterios Cliente y Negocio.</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 10: Resultados obtenidos al aplicar técnicas de Análisis Ishikawa y Por qué - Por qué en desperdicio #3.</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 11: Información obtenida y validada a partir de Causa – Raíz. Se adhieren los resultados de Acciones de Mejora originadas del desperdicio #3.</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 12: Listado de Acciones de Mejora distribuidas según las 3 escalas de esfuerzo, I, II y III.</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 13: Resultados obtenidos luego de aplicar herramienta 5W2H a primera etapa del Plan de Mejora, específicamente a actividades dentro de la categoría “Necesidades y Objetivos”.</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 14: Resultados obtenidos luego de aplicar herramienta 5W2H a segunda etapa del Plan de Mejora, específicamente a actividades dentro de la categoría “Plan de Acciones”.</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 15: Resultados obtenidos luego de aplicar herramienta 5W2H a segunda etapa del Plan de Mejora, específicamente a actividades dentro de la categoría “Plan de Control”.</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 16: Detalle de costos para realización de 5s en Horno Eléctrico, específicamente en sector Patio C Horno Eléctrico.</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 17: Detalle de costos asociados a la segunda etapa de implementación del proyecto: Planes de Acción.</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 18: Resumen de costo total del proyecto.</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 19: Detalle de reducción de tiempo de interrupción por Colada de H.E.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 20: Detalle de reducción de tiempo de Mantenimiento Preventivo Semanal H.E.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 21: Listado de Equipos y Sistemas primarios y secundarios, junto a la función que cumple cada uno de ellos.....</i>	<i>114</i>



<i>Tabla 22: Continuación del listado presentado en Tabla 9 de desperdicios encontrados de metodología Lean Maintenance.</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 23: Primera parte de listado de Causas Directas y Por qué - Por qué de los desperdicios Lean Maintenance encontrados (Continuación Tabla 10).</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 24: Segunda parte de listado de Causas Directas y Por qué - Por qué de los desperdicios Lean Maintenance encontrados.</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 25: Tercera parte de listado de Causas Directas y Por qué - Por qué de los desperdicios Lean Maintenance encontrados.</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 26: Primera parte de listado de Causa Raíz, Validación de Causa Raíz y su correspondiente Acción de Mejora (Continuación de Tabla 11).</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 27: Segunda parte de listado de Causa Raíz, Validación de Causa Raíz y su correspondiente Acción de Mejora.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 28: Tercera parte de listado de Causa Raíz, Validación de Causa Raíz y su correspondiente Acción de Mejora.....</i>	<i>127</i>



Índice de Contenidos

Agradecimientos	i
Dedicatoria	ii
Resumen Ejecutivo	iv
Abstract	v
Glosario	vi
Índice de Ilustraciones	vii
Índice de Tablas	x
1. Introducción	1
2. Objetivos	2
2.1. Objetivo General	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. Plan de Trabajo	3
3.1. Alcances y Limitaciones del Proyecto	4
3.1.1. Desde: Planificación del Mantenimiento	4
3.1.2. Hasta: Cumplimiento de Orden de Mantenimiento	4
4. Estado del Arte	5
4.1. Lean Maintenance: Lean Manufacturing y Mantenimiento	5
4.1.1. La Mejora Continua	5
4.1.2. Lean Manufacturing	6
4.1.3. Desperdicios lean	6
4.1.4. Historia Lean	7
4.1.5. Principios lean	9
4.1.6. Herramientas lean	11
▪ Producción Celular	11
▪ Mejora Continua (Kaizen)	11



▪ 5S	11
▪ Just in Time (JIT): Justo a Tiempo	12
▪ Heijunka: Suavizado de Producción	13
▪ Estandarización del Trabajo	13
▪ Total Productive Maintenance (TPM): Mantenimiento Productivo Total	13
▪ Poka-Yoke: Prueba de Error	13
▪ Single Minute Exchange Die (SMED)	14
▪ Jidoka: Automatización con un toque humano	14
▪ Value Stream Map (VSM): Mapa de Flujo del Valor	14
▪ Gestión Visual	15
▪ 5 Whys	15
▪ Diagrama SIPOC	15
▪ 5W2H	16
4.1.7. Herramientas de Calidad	16
▪ Diagrama de Ishikawa	16
▪ Diagrama de Pareto	17
▪ Circulo de Deming o PDCA	18
4.2. Mantenimiento y su Gestión	19
4.2.1. Estrategias de mantenimiento	19
▪ Mantenimiento Correctivo (MC, MF o ME)	20
▪ Mantenimiento preventivo (MP)	20
▪ Mantenimiento Predictivo (CBM) o Basado en Condición (CBM)	20
▪ Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM)	21
▪ Mantenimiento Autónomo	21
▪ Mantenimiento perfecto o Design out Maintenance (DoM)	21
4.2.2. Actividades más comunes del mantenimiento en la industria	22
4.2.3. Total Productive Maintenance (TPM): Mantenimiento Productivo Total	23
4.2.4. Indicadores de Mantenimiento	24
4.2.5. Overall Equipment Effectiveness (OEE): Efectividad total de los Equipos	25
4.3. Lean Maintenance (LM): Mantenimiento Esbelto	27
4.3.1. Desperdicios del mantenimiento	28
4.3.2. Propuesta de Hoja de Ruta de Lean Maintenance	30



5.	<i>Diagnóstico Empresarial de Aceros Aza</i>	32
5.1.	Qué es AZA	32
5.2.	Proceso productivo	33
5.3.	Acería	37
5.4.	Indicadores Acería	37
5.4.1.	Productividad	37
5.4.2.	Tap to Tap	37
5.4.3.	Tiempos y Categorías de <i>Power Off</i>	38
5.5.	Cultura y Herramientas de Mejora Continua	40
5.5.1.	HEIJUNKA Box	40
5.5.2.	HEIJUNKA de pendientes	40
5.5.3.	KAMISHIBAI	41
5.5.4.	Cadena de Ayuda	41
5.5.5.	Relato de condiciones y rechazo de tarea de riesgo (RTR)	41
5.5.6.	Gestión Visual	42
5.5.7.	Análisis de Célula	42
5.5.8.	Auditoría de Estándar	42
5.5.9.	Tratamiento de Fallas	43
5.5.10.	Performance	43
5.5.11.	Mejoras y KAIZEN	44
5.5.12.	Gemba Walk y Reuniones	44
5.5.13.	Reunión de Cambio de Turno	44
5.5.14.	Reunión de la Célula	45
5.5.15.	Reunión de Estrategia Operacional	45
5.5.16.	Reunión de Estrategia de Negocio	45
6.	<i>Análisis de Criticidad de Acería</i>	46
6.1.	Etapas 1: Identificar Candidatos al Equipo Crítico	48
6.2.	Etapas 2: Análisis de Candidatos a Equipo Crítico	53
6.3.	Matriz de Criticidad	56
6.3.1.	Criticidad Horno Eléctrico	57



6.3.2.	Criticidad Captador de Gases	58
6.4.	Etapa 3: Análisis del Proceso Productivo de Célula Crítica	59
7.	<i>Etapa I: Descripción Horno Eléctrico (H.E.)</i>	63
7.1.	Características Generales y Secciones del Horno Eléctrico	63
7.1.1.	Bóveda (Bóveda Espray)	63
7.1.2.	Carcasa (Manifold)	64
7.1.3.	Cuba	64
7.2.	Equipos y Sistemas Primarios del Horno Eléctrico	65
8.	<i>Etapa II: Revisión del Proceso de Mantenimiento</i>	67
8.1.	5W+2H del Mantenimiento del Horno Eléctrico	68
8.2.	Estrategias de Mantenimiento y Canales de comunicación del Horno Eléctrico	69
8.2.1.	Estrategias de Mantenimiento	69
8.2.2.	Canales de Comunicación	70
8.2.3.	Software de Gestión	71
8.3.	Estructura del Mantenimiento de Acería	73
8.4.	Macroprocesos del Mantenimiento del Horno Eléctrico	74
I.	Mantenimiento Correctivo con repuesto instantáneo en Kit de reserva / no se requiere.	75
II.	Mantenimiento Correctivo con repuesto requerido en Bodega.	75
III.	Mantenimiento Preventivo/Predictivo	76
IV.	Parada de Mantenimiento Anual Acería – Horno Eléctrico	77
8.5.	Mapas de flujo de valor del mantenimiento del Horno Eléctrico	78
9.	<i>Etapa III: Listado de desperdicios del proceso de mantenimiento del Horno Eléctrico.</i>	81
9.1.	Análisis Causal de Desperdicios Críticos LM	84
9.1.1.	Ishikawa de Desperdicios Críticos LM	85
9.1.2.	Por qué – Por qué de Desperdicios	87
9.1.3.	Validación de información	88



10. Estrategia de Implementación Plan Lean Maintenance del Mantenimiento del Horno Eléctrico	91
10.1. Etapa 1: Categorización y Clasificación de Acciones de Mejora	91
10.2. Etapa 2: Construcción del Plan de Acciones de Mejora	93
10.3. Etapa 3: Elaboración de Planes de Control de Acciones de Mejora	95
11. Análisis Económico de Proyecto	97
11.1. Costos	97
11.2. Beneficios	100
11.2.1. Interrupción Mecánica de H.E. por Colada	100
11.2.2. Mantenimiento Preventivo Semanal del H.E.	101
12. Conclusiones Generales	103
13. Conclusiones Específicas	105
14. Recomendaciones	108
14.1. Propuesta de RCM a Sistemas Críticos del Horno Eléctrico	108
14.2. Mejora de Gatillos de Tratamiento de Falla	109
14.3. Matriz de Habilidades para personal de Horno Eléctrico	109
14.4. Plan de entrenamiento para Actividades Críticas	110
15. Referencias	111
16. Anexo	114

1. Introducción

Desde 1953 AZA ha utilizado la chatarra ferrosa como materia prima para fabricar una gran variedad de productos de acero. Esta fabricación cuenta con distintos procesos en los cuales el acero es sometido a cambios en su estado físico y químico. Junto a esto, la calidad del proceso y productos a aumentado y cada día se hacen necesarios estándares más y más altos de efectividad.

A medida que la productividad ha aumentado grandes desafíos se han hecho visibles e importantes en lo que respecta al mantenimiento de los equipos en las distintas áreas de Aza, siendo la Acería el corazón del proceso y por ende la sección más crítica, ya que es en esta donde se realiza la fundición de materia prima que posteriormente es convertida en acero de distintas calidades. En este contexto, la Gestión, Administración y el Control de dichas actividades es cada vez más compleja y requiere de liderazgo y responsabilidad.

Ante la situación existente de bajo control y notificación de actividades es que se visualiza una importante brecha con respecto a la Gestión del Mantenimiento mecánico de los equipos del área de Acería. Es así como, nace la idea de generar una Propuesta de Plan Piloto basada en la metodología **Lean Maintenance** la cual es un paso a paso riguroso encargado de encontrar todas aquellas actividades que no agregan valor al proceso, producto y/o cliente, sacando a luz aquellas oportunidades que permiten mejorar la Gestión del Mantenimiento del o los equipos críticos en el núcleo de la producción.

Dicha Propuesta es el camino para seguir que permite encontrar una solución a la problemática, sumado a que contribuiría significativamente a la eficiencia del proceso de mantenimiento, mejorando y aumentando el liderazgo, trabajo en equipo y transformando el mantenimiento a un proceso completo y robusto, pero a la vez esbelto y ágil con la menor cantidad de residuos posibles, y sostenible en el tiempo. Aumentando también la seguridad de los trabajadores gracias a la implementación de esta herramienta de mejora continua.



2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Realizar una propuesta de mejora de disponibilidad del equipo crítico mediante una disminución del tiempo de interrupciones de este en el área Acería de empresa del rubro siderúrgico.

2.2. Objetivos específicos

1. Identificar procesos y equipos del área Acería, realizando un levantamiento de las oportunidades de mejora.
2. Realizar un Análisis de Criticidad de los procesos y activos.
3. Determinar la estrategia de mantenimiento del equipo crítico.
4. Aplicar Plan Piloto para el mantenimiento del equipo crítico mediante la implementación de Metodología Lean Maintenance.
5. Realizar una evaluación económica de la estrategia propuesta.



3. Plan de Trabajo

Es fundamental aclarar y describir el orden secuencial del trabajo, apoyando de esta manera al lector que se enfrenta al texto y, además, generar un modelo a seguir para futuros trabajos de la misma área.

Este trabajo tiene 7 secciones principales, las cuales en su conjunto completan el desarrollo del escrito. En primer lugar, se encuentra la etapa de **Estado del Arte** sección en la cual se nombran y describen todas las herramientas que se usarán libremente durante el desarrollo del proyecto.

En segundo lugar, se encuentra la etapa de **Diagnóstico** sección en la que se realiza un diagnóstico completo de la empresa Aceros Aza S.A. abarcando su historia, proceso productivo, áreas e indicadores, lo que permite cumplir el primer objetivo: **Identificar procesos y equipos del área Acería, realizando un levantamiento de las oportunidades de mejora.**

Posteriormente, en tercer lugar, se presenta el desarrollo del segundo objetivo: **Realizar un Análisis de Criticidad de los procesos y activos.** Donde se realiza un profundo análisis de la célula de acería obteniendo el equipo crítico de esta. Los pasos son los siguientes:

1. **Etapa 1:** identificar Candidatos a Equipo Crítico.
2. **Etapa 2:** análisis de Candidatos a Equipo Crítico.
3. **Etapa 3:** análisis del Proceso Productivo de Célula Acería.

En cuarto lugar, se posiciona el tercer objetivo: **Determinar la estrategia de mantenimiento del equipo crítico.** El cual permite obtener información abundante y detallada de cómo se enfrenta acería al proceso de mantenimiento del equipo crítico, sus desperdicios críticos con su respectivo análisis y, además, oportunidades de mejora.

En quinto lugar, se presenta el desarrollo del cuarto objetivo: **Aplicar Plan Piloto para el mantenimiento del equipo crítico mediante la implementación de Metodología Lean Maintenance.** De donde se obtiene un grupo de acciones de mejora aplicables al proceso y un plan piloto a seguir.

La secuencia de actividades es la siguiente:

1. **Etapa 1:** Implementación de Plan de Objetivos y Necesidades.
2. **Etapa 2:** Implementación de Plan de Acciones.
3. **Etapa 3:** Implementación de Plan de Medición.



En sexto lugar, se encuentra el desarrollo del último objetivo: ***Realizar una evaluación económica de la estrategia propuesta.*** Donde se visualizan los costos de ejecución y al mismo tiempo los beneficios económicos que tiene el proyecto.

Finalmente, en séptimo lugar, se encuentra el desarrollo de **Conclusiones y Recomendaciones**, secciones en las que se resume el trabajo realizado en modalidad de conclusiones, presentando resultados y logros obtenidos. Posteriormente, se presentan ideas que podrían realizarse como continuación de este trabajo.

3.1. Alcances y Limitaciones del Proyecto

La propuesta a realizar enunciada como objetivo general tendrá alcances y limitaciones que ayudarán a definir el área donde se trabajará, lo cual es sumamente necesario para poder realizar un enfoque y un profundo desarrollo de los objetivos específicos planteados sin desvíos que conlleven a demoras o desvíos de la meta que se quiere cumplir. Dicho esto, se define a continuación el universo de trabajo estableciendo un origen y un fin al contenido expresado.

3.1.1. Desde: Planificación del Mantenimiento

El comienzo del proyecto se identifica como la Planificación del Mantenimiento, tarea en la que se programan todas las tareas a realizar en base a un objetivo principal, se asigna el equipo de trabajo y las tareas de cada uno de los integrantes, junto con el inventario de los repuestos y herramientas. Esta etapa que es el origen del proceso de mantenimiento y es por ello que se escoge como el inicio de la propuesta, ya que de esta manera se podrá obtener con mayor claridad la brecha que se quiere mejorar.

3.1.2. Hasta: Cumplimiento de Orden de Mantenimiento

El límite del proyecto se define como el Cumplimiento de la Orden de Mantenimiento, etapa que tiene como función generar un registro y control de los procedimientos, recursos y tareas realizadas. Realizando esto, es posible abarcar el proceso de mantenimiento en su totalidad, lo que robustece la evaluación y a su vez resultados profundos, representativos y realistas.



4. Estado del Arte

En la presente sección se da a conocer el estado actual o contexto del área de investigación abarcada en este trabajo, las cuales son tres: Aceros Aza S.A., Lean Manufacturing, y Mantenimiento. Estos tres grandes temas unen dos universos que son muy importantes, la Industria y la Academia.

Para que el desarrollo de este trabajo sea posible se utiliza una extensa cantidad de herramientas pertenecientes al mundo de la Mejora Continua, las que brindan técnicas de análisis que son indispensables para obtener resultados coherentes y significativos. El primer punto para describir es Lean Manufacturing, luego lo sigue Mantenimiento y finalmente la fusión de ambos conceptos, Lean Maintenance.

Posteriormente, en la sección **Diagnóstico** se presenta información referente al contexto de Aza y sus antecedentes productivos.

4.1. Lean Maintenance: Lean Manufacturing y Mantenimiento

En este espacio se realizará una descripción de los conceptos Lean Manufacturing y Mantenimiento, los que unidos dan origen a Lean Manufacturing. Se dará a conocer la filosofía que hay detrás de estas metodologías, su origen, quiénes fueron los creadores e implementadores de este estilo de producción y de vida proveniente de la corriente filosófica Mejora Continua. Para una mejor comprensión lógica y secuencial del lector se comenzará por la definición de dicho concepto.

4.1.1. La Mejora Continua

Mejora Continua proviene de la palabra japonesa **Kaizen**, donde **Kai** es **cambio** y **Zen** es **Mejor** y el objetivo es mejorar la calidad y eficiencia del(os) proceso(s) y producto(s) involucrados mediante la realización de pequeños cambios secuenciales. De esta manera, se puede minimizar, cambio tras cambio, todo aquel costo innecesario y aquellas acciones que no añaden valor al proceso y/o producto. Para cumplir con esto, es necesario que todos los trabajadores estén absolutamente involucrados. Así, los líderes traspasan responsabilidades, conocimientos y experiencias a aquellos que llevarán a cabo el trabajo desde otra perspectiva.

¿Por qué aplicar Mejora Continua?

La aplicación de MC radica tanto en su proceso como en su objetivo, que es mejorar los resultados de la organización, mediante una reacción veloz, una secuencial y ágil mentalidad de

adaptación ante la necesidad del cambio, generando el espíritu de la perfección y del liderazgo colaborativo.

Una de las filosofías más poderosas derivada de la mejora continua es **Lean Manufacturing** o también conocida como **Lean Production** [4].

4.1.2. Lean Manufacturing

Para ser capaces de definir Lean Manufacturing primero es necesario comenzar por la definición de **Lean**, que es una filosofía nacida en Japón que posteriormente se transforma, luego de varios años, en una metodología que consta de una serie de técnicas basadas en reducir a cero los **Desperdicios o Mudras** existentes en un proceso productivo. Estas, pueden ser aplicadas a organizaciones con el fin de establecer una cultura de Mejora Continua y de mejorar la efectividad de los procesos, es decir, el qué se hace y cómo se hace. Mejorando indicadores de productividad, **KPI's**, calidad, relaciones personales y el liderazgo y cooperación entre los integrantes de la organización.

4.1.3. Desperdicios lean

Conocido también como *Muda*, nombre en japonés. Es toda actividad, material o recurso que no añade valor al producto, proceso y/o cliente. Actualmente se identifican ocho:



Ilustración 1: Descripción de los ocho desperdicios Lean Manufacturing.

Fuente: Recuperado de <https://leanmanufacturing10.com/>



4.1.4. Historia Lean

El nacimiento de Lean Manufacturing ocurre dentro del contexto de la producción en masa llevada a cabo principalmente por la fábrica Rouge de Ford en Estados Unidos, la cual fue visitada por Eiji Toyoda, quien tras su regreso a Nagoya, Japón, llegó a la conclusión de que la producción en masa jamás resultaría en su país natal, y fue en conjunto de Taiichi Ohno, que da origen al Toyota Production System (TPS), últimamente conocido como Lean Production o Lean Manufacturing.

Las primeras acciones que caracterizan el nacimiento de Lean Manufacturing en Toyota ocurren cuando Taiichi Ohno decide cambiar el modelo de producción en masa a un sistema de producción más personalizado acorde al mercado, a las necesidades de sus clientes y a las leyes del gobierno japonés. Se dieron cuenta de esto cuando presenciaron que era mucho más sencillo fabricar pequeños moldes para las fabricaciones de piezas de automóviles y una menor cantidad de estos, versus un gran molde y muchos de ellos, ya que pesaban varias toneladas y el calce en las máquinas debía ser exacto, lo que ponía a los trabajadores en una situación de riesgo al momento de desplazar las enormes estructuras. De tal forma que un pequeño desalineamiento podría causar partes defectuosas y por lo tanto grandes pérdidas económicas.

En el proceso de cambio, jefes y trabajadores se percataron que el costo de fabricación por parte era mucho menor al realizar pequeños lotes de piezas que realizando un gran lote. Lo que se explica por lo siguiente: primero porque el costo de traslado de un molde liviano es mucho menor. Segundo y aún más importante, debido a que se produce menos inventario aumenta la posibilidad de ver los errores en un menor tiempo, casi instantáneo, permitiendo repararlos inmediatamente y no generar costos de retrabajo una vez que se están ensamblando las piezas.

Luego de implementar esta nueva técnica y tras numerosas prácticas, una de las mejoras logradas ocurrió a finales de los años 50, cuando se logró reducir el tiempo de cambio de moldes para estampado de piezas de un día a tres minutos, dando origen a la herramienta **SMED (Single-Minute Exchange of Die: Cambio de Matriz en 1 minuto)**.

El concepto existente detrás de este proceso era muy sencillo: “Si los trabajadores fallaban en anticipar problemas después que estos ocurrieran y no tomaban la iniciativa para idear soluciones el trabajo de toda la fábrica, esta podría llegar fácilmente a una total detención”.

La segunda acción que llevó a Toyota a convertirse en el conocido TPS fue la visión adquirida respecto a sus empleados. Luego de que Estados Unidos interviniera (*American Occupation*) en las leyes laborales, y además las medidas ya tomadas por otras empresas japonesas respecto a las condiciones de trabajo, llevó a Toyota a implementar dos medidas en resguardo de sus trabajadores.



Una fue garantizar el empleo en la fábrica de por vida y la otra fue un método de pago gradual correspondiente a los años de servicio, y, además, brindar bonos acordes a las ganancias de la compañía. Así, la convivencia y el compromiso de los trabajadores mejoró considerablemente, lo que permitió mejorar sus habilidades a lo largo del tiempo y ganar el beneficio de su conocimiento y experiencia, así como también su fuerza.

En la misma línea de mejora, ahora es el turno de la estructura organizacional. Los trabajadores fueron divididos en distintos cargos: Gerentes, Ingeniero Industrial, Mantenedores, *Housekeepers*, Inspectores de Calidad, Utilidades, entre otros. Además, se establecieron dos indicadores de medición del trabajo: Rendimiento y Calidad.

- **Rendimiento:** Número de autos actualmente producido en relación con el número programado.
- **Calidad:** Calidad *Out-the-door*, medida después de que los vehículos con partes defectuosas eran reparados.

Luego de su regreso a la ciudad de Toyota, Ohno tras su visita a Detroit, da origen a lo que se conoce como ***Kaizen*** o Mejora Continua. Formó grupos de trabajo y los puso a cargo de un líder, el grupo era responsable de diversas funciones: *Housekeeping*, pequeñas reparaciones de herramientas y chequeos de calidad. [3]

Después de una evaluación, la última labor asignada por Ohno fue hacer reuniones periódicas en las cuales el grupo debía sugerir posibilidades de mejora para el proceso. Lo que se conoce actualmente como “*Circulo de Calidad*” [4].

Ohno fue mucho más lejos que la producción en masa, la cual trataba los errores como eventos aleatorios. En contraparte, Toyota estableció una metodología para tratamiento de fallas llamada ***5-Why's (5 por qué)***, que consiste en perseguir cada error de manera sistemática, mediante la pregunta ¿Por qué?, hasta llegar a su causa inicial. En efecto, el error es tratado en su origen causal y disminuye drásticamente las posibilidades de volver a ocurrir. Junto a esta herramienta, dio la facultad a cada trabajador de la línea de producción para detenerla en caso de ver un error, lo que al comienzo trajo muchas detenciones innecesarias, sin embargo, a medida que los trabajadores adquirieron experiencia en divisar situaciones defectuosas, las fallas disminuyeron considerablemente, y se logró la segunda gran mejora, tener un rendimiento de aproximadamente



100%, lo que indica que la línea casi nunca se detiene, disminuyendo el retrabajo y aumentando la calidad de las piezas.

En la misma línea de experimentación y pruebas, Toyota se dio cuenta de otro gran problema que tenía la producción en masa, acumulación de inventario. El motivo para producir grandes cantidades de piezas era mantener al cliente siempre satisfecho y, además, nunca tendría que reclamar por demora en tiempos de entrega. Pero no fue así, si no que la acumulación de piezas en bodega trajo un problema grave: altos costos de inventario y la producción de miles de piezas que fueron encontradas, tiempo después, defectuosas cuando eran instaladas en la línea de ensamblaje.

La solución a la situación anteriormente planteada fue crear un sistema de proveedores el cual consistió en dividir a estos en distintos niveles según la pieza que fabrican, de esta manera, el primer paso era solicitar la fabricación de un prototipo del producto final y evaluar si este cumplía con los requisitos, una vez aprobado, se daba la orden de trabajo para los cientos de piezas requeridas. Así, nace la tercera metodología: ***Just in Time (Justo a Tiempo)***, conocida como ***Kanban (Tarjetas)*** en Toyota. Los proveedores debían enviar un contenedor lleno de las piezas solicitadas y cuando estas se acabarían el contenedor era enviado de vuelta, de esta manera los proveedores sabían que debían producir más piezas, lo que permitió eliminar todos los problemas de inventario y detenciones de línea innecesarias.

Finalmente, Toyota descubrió que el pilar fundamental es hacer el producto que el cliente quiere, reuniendo sus requisitos y necesidades. Una manera de atraerlo, fue hacerlo parte de la producción, lo cual se llevaba a cabo llamándolo y mostrándole la cadena de producción. De esta manera era posible crear una relación de mutua confianza, convirtiendo la relación en casi algo inquebrantable, lo que actualmente se conoce como ***Pull (Tirar)***. [3]

4.1.5. Principios lean

En la filosofía Lean existen cinco principios que describen todas las prácticas y herramientas que derivan de esta forma de vida. Para alcanzar un estado Lean, es necesario cumplir con la realización de la totalidad de los principios [6] y [7]:

I. Especificar el Valor

El valor será definido por los requerimientos del cliente en términos de necesidades, productos y/o servicios. Se utilizan herramientas como VOC y CCR.



- **Valor:** El valor es algo que el cliente desea de forma específica, y por lo que está dispuesto a pagar.

II. Identificar el Flujo/Cadena de Valor

Consiste en realizar un mapa que contenga todas las acciones, procesos y funciones vinculadas de inicio a fin, necesarias para transformar los insumos (recursos entrantes) en productos, y su fin es identificar y eliminar los desechos. Para esto se utiliza la herramienta **VSM (Value Stream Map: Mapa de Flujo de Valor)**.

III. Hacer que el Valor Fluya

Una vez eliminados los desechos, se debe generar un flujo continuo de los demás pasos que creen valor. La herramienta más utilizada para llevar a cabo este principio es **Kanban**.

IV. Permitir Pull en el Cliente

Se refiere a transmitir los requerimientos del cliente hasta el proveedor de último nivel, es decir, permitir que el cliente obtenga lo que desea. Este principio lleva a la producción *Justo a Tiempo* o **JIT**, que hace referencia a fabricar solo cuando el pedido es ordenado.

V. Buscar la Perfección

Se debe buscar un proceso de continuo mejoramiento, el cual se define entregando de forma exacta lo que el cliente quiere, cuando lo quiere, a un precio aceptable dentro del mercado y eliminando los desperdicios. No se trata de compararse con los competidores, sino de tener cero desperdicios en la producción, por lo que es necesario involucrar a todos los trabajadores en la implementación de Lean, llevando la mejora continua a todos los niveles.

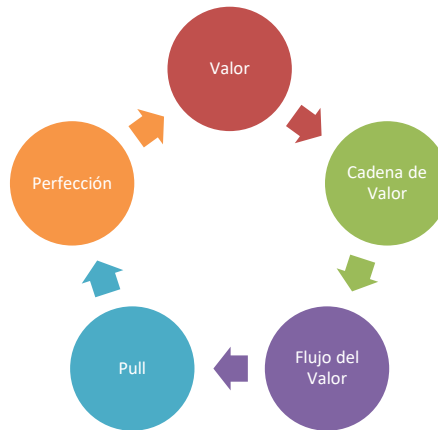


Ilustración 2: Los Cinco principios de Lean Manufacturing.

Fuente: Elaboración propia basada en el curso MEC281 Fundamentos del Mejoramiento.

4.1.6. Herramientas lean

Lean se compone de siete herramientas principales, las que realizadas en conjunto llevan a la empresa a una posición de alta calidad y productividad en su proceso. Junto con un alto nivel comunicacional entre las áreas y personal. El objetivo de estas herramientas es cero defectos, lo que asegura que el producto está libre de errores. El foco está en que, si los errores son vistos y solucionados, las partes defectuosas pueden ser evitadas [5] [27] [28] [29] [30].

- **Producción Celular**

Esta herramienta consiste en dividir la producción en subáreas llamadas células que consiste en equipamiento y estaciones de trabajo que están preparadas para mantener un flujo suave y continuo de materiales, componentes e información respecto al proceso. Cuenta con personal a cargo y operadores que están calificados y entrenados para realizar el trabajo.

- **Mejora Continua (Kaizen)**

Kaizen se refiere a realizar pequeñas mejoras como un resultado de esfuerzos coordinados continuamente por todos los empleados. Estas mejoras pueden verse reflejadas en muchas formas, por ejemplo, reducción de inventario, y de partes defectuosas. Una de las herramientas más efectivas de mejora continua es 5S.

- **5S**

Creado en Japón, es uno de los métodos más importantes para una seria reducción de residuos. Consiste en cinco pasos que deben ser realizados meticulosamente:



- I. **Seiri (Clasificar):** El primer paso es separar aquellos ítems que son utilizados frecuentemente de aquellos que no, es decir, remover lo que es inútil y dejar solo aquello que tiene una función en el puesto de trabajo. De esta manera se crea un flujo de material y los trabajadores se mueven y trabajan de manera más simple y efectiva.
 - II. **Seiton (Ordenar):** El segundo paso consiste en tener los ítems necesarios en el lugar que corresponde. Aquellos ítems que no pertenecen a un área determinada no deben estar ahí. Así, lo útil se hace visible, detectables y fáciles de usar.
 - III. **Seiso (Limpiar):** El tercer paso es realizar limpieza y barrido metódico del lugar de trabajo. El espacio debe verse limpio, ordenado y listo para el siguiente turno. Así, se crea un ambiente saludable, seguro y agradable de trabajo.
 - IV. **Seiketsu (Estandarizar):** En cuarto lugar, se encuentra el control de los tres anteriores, es decir, mantener altos estándares de limpieza y orden es fundamental, y para ello es necesario una auditoria periódica que permita evaluar y registrar un puntaje acorde a las responsabilidades definidas previamente.
 - V. **Shitsuke (Disciplina):** En quinto lugar, se encuentra la gerencia, quienes tienen la responsabilidad de educar y entrenar a las personas para que sigan las reglas de limpieza y orden. Gerencia debería caminar por el lugar de trabajo, explicar que es lo que esperan de sus trabajadores y recompensar a aquellos que han seguido las reglas e instruir a aquellos que no.
- **Just in Time (JIT): Justo a Tiempo**

Justo a Tiempo es una herramienta que le permite al proceso productivo de la compañía, adaptarse a cambios repentinos en la demanda, produciendo el producto correcto, en el tiempo correcto y en la cantidad solicitada. Una herramienta que está de la mano con JIT es *Kanban*.

 - **Kanban:** Consiste en tarjetas informativas que llevan descrito el número de partes a fabricar en cada proceso. Esta herramienta permite mantener un control de lo que es requerido por el proceso siguiente.



- **Heijunka: Suavizado de Producción**

La cuarta herramienta Lean se refiere a que los trabajadores traten de mantener el ritmo de producción tan constante como sea posible día tras día. Lo cual tiene el objetivo de disminuir los costos innecesarios de producción. Para alcanzar esto, la programación de producción debe ser suave, en consecuencia, producir la cantidad justa de unidades y utilizar efectivamente la fuerza de sus trabajadores.

- **Estandarización del Trabajo**

Estandarizar el trabajo asegura que cada trabajo es organizado y ejecutado en la manera más efectiva posible. Se refiere a que sin importar quien lleve a cabo la actividad, está debe alcanzar el mismo nivel de calidad siempre. Se incluye: tiempo de finalización del trabajo, el número de pasos y el orden de estos, herramientas. Una herramienta utilizada para estandarizar el trabajo es el “*Takt Time*”, palabra de origen alemán que significa ritmo.

- **Takt Time:** Se refiere al ritmo en que una pieza o producto debe ser producida en base a la demanda actual del cliente.

$$Tak\ Time\ (TT) = \frac{Tiempo\ de\ trabajo\ disponible\ por\ día}{Demanda\ del\ cliente\ por\ día} \quad (1)$$

- **Total Productive Maintenance (TPM): Mantenimiento Productivo Total**

El término Confiabilidad Operacional es un concepto de suma importancia a la hora de hablar de producción. Es por esto, que se hace indispensable tener un programa de mantenimiento adecuado, y para una metodología Lean es indispensable contar con TPM, que previene considerablemente averías en maquinaria. El paradigma TPM se abarcará con mayor profundidad en los siguientes capítulos.

- **Poka-Yoke: Prueba de Error**

Es un Sistema de control autónomo que se instala en la máquina y es capaz de visualizar cualquier defecto que las partes producidas tengan. Así. Se evita mover la parte defectuosa a la siguiente estación de trabajo.



- **Single Minute Exchange Die (SMED)**
Cambio de Matriz en Menos de Un Minuto es una herramienta que consiste en disminuir el tiempo de preparación (Set up time) de una máquina. Existen dos tipos de tiempo: interno y externo. Las actividades de preparación interna son todas aquellas que deben realizarse con la maquina apagada. En cambio, las actividades externas son aquellas que pueden realizarse con la maquina en funcionamiento. El objetivo de SMED es llevar la mayor cantidad de actividades internas a externas.

- **Jidoka: Automatización con un toque humano**
Jidoka es uno de los métodos más importantes utilizados en Lean, este consiste en cuatro pasos que permiten detectar el error y solucionarlo, sin la necesidad de que el operador esté presente. El proceso tiene un control de calidad propio que es capaz de detener la producción si se encuentra una anomalía.
 - I. **Detectar el defecto:** El defecto puede ser encontrado por la máquina o por personas, en ambos casos el proceso será detenido.

 - II. **Detener el proceso:** Este es el momento posterior para encontrar el defecto. El proceso se detiene por completo y tiene un ciclo de tiempo para solucionar el problema y volver a operar.

 - III. **Solucionar el problema:** En esta etapa se resuelve el problema para volver lo más rápido posible al ritmo de producción. Pueden utilizarse tres medidas: Kanban, Estación de Re-Trabajo, Mantenimiento.

 - IV. **Encontrar causa raíz e implementar una contramedida:** Es el momento de acercarse al operador y encontrar la causa raíz de la falla. De esta manera, se puede diseñar una solución permanente al problema.

- **Value Stream Map (VSM): Mapa de Flujo del Valor**
VSM es una herramienta muy efectiva de la filosofía lean, que nace del papel y lápiz. Tiene el objetivo de visualizar y representar todo el proceso desde la materia prima hasta que el producto llega al cliente. Permite entender, monitorear y analizar el flujo de información entre



las distintas etapas del proceso. Con esta herramienta, se es capaz de identificar los atascamientos y desperdicios, llevando a una reducción de costos, mejorando la calidad y disminuyendo el tiempo de espera [14].

- **Gestión Visual**

Corresponde a una estrategia y una técnica muy utilizada en la gran mayoría de las industrias, que permite fijar estándares y aplicar diferentes herramientas visuales con el fin de comprender mejor, de manera más rápida y sencilla lo que se quiere transmitir. Algunos ejemplos de esta técnica son el uso de tarjetas, demarcaciones de caminos, señales de tránsito y señales de acción.

- **5 Whys**

Es una herramienta que tiene como objetivo averiguar la causa raíz del problema, para ello el método es muy sencillo de aplicar y consiste en preguntarse ¿Por qué? Hasta dar con ella. Idea. Idealmente se deben completar los 5 por qué, pero hay problemas que no necesitan ese nivel de profundidad y con 3 es suficiente.

- **Diagrama SIPOC**

Esta herramienta permite obtener una amplia comprensión del proceso en estudio, ya que visualiza el proceso desde su inicio a su fin, involucrando responsables y acciones de estos. Es por ello su nombre SIPOC:

- **Supplier:** Proveedor:
- **Input:** Entrada
- **Process:** Proceso
- **Output:** Salida
- **Customer:** Cliente

El diagrama SIPOC cuenta con cinco pasos para ser ejecutado. Estos son:

1. **Identificar el proceso:** consiste en definir la secuencia de actividades que dan conforman el proceso
2. **Identificar las salidas:** Consiste en definir toda aquella salida luego de la actividad previamente definida, documentación, servicio o producto.
3. **Identificar el cliente:** Aquí se debe definir aquella persona que recibe la salida descrita anteriormente. Es quien recibe el servicio o producto.



4. **Identificar las entradas:** En esta etapa hay que devolverse a las entradas e identificarlas, es decir, definir qué necesita el proceso para generar la salida y que el cliente la reciba.
5. **Identificar el proveedor:** En última instancia, es necesario definir quien provee las entradas, ya sea un cliente, proveedor interno, usuario, entre otros.

■ **5W2H**

Esta herramienta que consiste en 7 interrogantes claves que permiten obtener información de cómo se está llevando a cabo un proceso o actividad en particular. Estos son:

- **What:** Qué se hace.
- **Why:** Por qué se hace, cuál es el motivo o el objetivo, qué se quiere lograr.
- **When:** Cuándo se hace, en qué momento.
- **Where:** Dónde se realiza o dónde se va a realizar.
- **Who:** Quiénes van a realizar la actividad, personas, grupos, entidades.
- **How:** Cómo se va a realizar la actividad, que recursos son necesarios, materiales, insumos.
- **How much:** Cuando cuesta la realización de la actividad.

4.1.7. Herramientas de Calidad

En la misma línea Lean, se utilizan también una serie de Herramientas de la Calidad para analizar la información que se tiene de los distintos activos y falencias del mantenimiento. A continuación, se nombran y describen las utilizadas en este trabajo:

■ **Diagrama de Ishikawa**

Herramienta conocida también como Diagrama de Cola de Pescado que fue inventado por el Dr. Ishikawa de origen japonés. Esta técnica reúne todas las posibles causas que pueden originar un problema, estas se clasifican dentro de las 6M: Mano de Obra, Método; Materiales; Maquinaria; Medio Ambiente; Medición. [26]

- **Mano de Obra:** Corresponde a todos los aspectos que consideran personal, gente y mano de obra. Las interrogantes de responder en este ámbito son: ¿Está capacitada la mano de obra? ¿Esta seleccionado el personal idóneo para ese trabajo? ¿El personal se siente motivado y trabaja con deseo? ¿El trabajador muestra habilidad en su



trabajo?

- **Método:** Corresponde a los métodos de trabajos actualizados y si estos están logrando los resultados esperados. La interrogante para responder es: ¿Es apropiado el método de trabajo aplicado?
- **Materia prima:** En este ámbito se evalúan las materias primas utilizadas como entradas del proceso para obtener el producto final. Algunas interrogantes para responder son: ¿Son adecuados los proveedores? ¿es apropiada la materia prima para el proceso existente?
- **Maquinaria:** Este ámbito se refiere a herramientas, maquinas e infraestructura utilizada durante el desarrollo del proceso, incluidos los softwares y hardwares de gestión y que posibilitan la elaboración de productos y/o servicios. Algunas interrogantes son: ¿La maquinaria presente cumple con la eficiencia requerida? ¿Tiene la capacidad requerida para la producción definida? ¿Existe un programa de mantenimiento adecuado?
- **Medio Ambiente:** Aquí, se debe hacer enfoque en las condiciones que rodean la producción, el entorno, cultura organizacional, luz, calefacción, clima organizacional, ruidos, entre otros. Algunas interrogantes son: ¿Son adecuadas las condiciones del entorno? ¿Ayudan las condiciones laborales a hacer más eficiente el proceso?
- **Medición:** En este ámbito se evalúa lo que corresponde a inspecciones, mediciones y control. El concepto de calidad es clave aquí, ya que permite evaluar cómo se está controlando el proceso. Algunas interrogantes son: ¿Son los sistemas de control adecuados para el proceso? ¿Las muestras tomadas son representativas?

▪ **Diagrama de Pareto**

Creada por el economista italiano Vildredo Pareto, es una herramienta que permite identificar las causas que más efecto tienen en el problema. Es una serie de columnas, donde la altura de ellas representa que el impacto que tiene la causa en el defecto o problema. Pareto se basa en la regla 20 – 80, lo que indica que existe un 20% de errores que causan el 80% de los

defectos. Por otra parte, la magnitud de las causas presentes en el eje horizontal va disminuyendo hasta llegar al mínimo.

▪ **Circulo de Deming o PDCA**

El círculo de Deming es ciclo que consta de cuatro etapas:

1. **Plan (Planear):** Se realiza un análisis del problema para poder definir las actividades. Se realizan actividades cualitativos y cuantitativos, diferentes reuniones que permiten contextualizar la problemática e identificarla correctamente. Esto permite definir las actividades, recursos, responsables y tiempos necesarios.
2. **Do (Hacer):** En este segundo paso, se realizan todas las actividades definidas en la sección anterior, en los tiempos establecidos y con los responsables y recursos asignados.
3. **Check (Chequear):** Aquí se evalúa el desempeño de la ejecución, si se cumple o no lo planificado y en qué cantidad. Se analiza la brecha existente entre lo planificado según el plan de acción y lo hecho realmente.
4. **Act (Actuar):** En este punto se realizan acciones sobre las desviaciones que se obtuvieron al ejecutar el plan de acción. El objetivo es cerrar las brechas evidenciadas.



Ilustración 3: Metodología para evaluar el desarrollo un plan de mejora continua.

Fuente: Recuperado de <https://www.ingenieriadecalidad.com/2020/02/ciclo-de-deming.html>



4.2. Mantenimiento y su Gestión

Mantenimiento puede ser definido como todas aquellas acciones y actividades realizadas o a realizar que tienen como objetivo prevenir, predecir, reducir y corregir fallas, y así, mantener el activo disponible para la función que se requiere. De esta manera, los equipos se encuentran en protección constante y aumentan su disponibilidad operacional dentro de la línea productiva en que se encuentren.

El mantenimiento, así como toda área de una organización, debe ser administrado en términos de efectividad, lo que introduce el siguiente término: Gestión del Mantenimiento o ***Maintenance Management (MM)*** [8].

El MM es definido como *“Todas las actividades que determinan los objetivos o prioridades, estrategias y responsabilidades que se implementan en términos de planes de mantenimiento, control de mantenimiento y supervisión, y muchos métodos de mejora incluyendo aspectos económicos”* [9].

Mantenimiento y MM se posicionan actualmente en un lugar de suma importancia y complejidad en una organización, abarcando áreas como: Operaciones, Recursos Humanos, Contabilidad Analítica y Economía, Seguridad y Manejo del Medioambiente.

Las personas que ejecutan el mantenimiento y las que están a cargo, tienen que lidiar con una serie de aspectos técnicos de alta complejidad y profundidad, además deben tener capacidades emocionales como: ser flexibles y versátiles, estar abiertas al cambio y a su adaptabilidad. Deben desarrollar su creatividad, capacidad de aprendizaje, disposición al trabajo en equipo, habilidad para tomar decisiones y la habilidad de trabajar en múltiples tareas que se encuentran interrelacionadas. Lo que podría resumirse en lo que dice Prusak: *“La fuente principal para crear ventajas competitivas yace primariamente en el conocimiento, en lo qué sabe, en cómo usa lo que sabe y la capacidad de hacer nuevas cosas”* [9].

En consecuencia, nacen las **Estrategias de Mantenimiento**. Las cuales se basan en los distintos requisitos que consideran los equipos de trabajo en conjunto con el proceso productivo.

4.2.1. Estrategias de mantenimiento

Una estrategia de mantenimiento es una secuencia de actividades que son ejecutadas con tal de realizar mantenimiento al activo físico y así mantener su operabilidad.

A continuación, se describen las estrategias de mantenimiento más usadas en la industria:



- **Mantenimiento Correctivo (MC, MF o ME)**

El concepto de esta estrategia está basado en reparar después de la falla. También es conocido como mantenimiento a la falla o mantenimiento de emergencia. Puede ser realizado de inmediato o tiempo después por técnicos de mantenimiento, quienes son contratados para evaluar y reparar los equipos. En situaciones cuando la falla no es crítica, es decir, cuando hay una gran cantidad de **Downtime (DT)** esta estrategia puede no ser la más conveniente, en efecto se debe buscar una mejor alternativa [7].

➤ **Downtime:** Tiempo de no funcionamiento del equipo debido a una falla.

- **Mantenimiento preventivo (MP)**

Esta estrategia es llevada a cabo acorde a un criterio preestablecido. El objetivo principal es reducir la probabilidad de falla o degradación de funcionamiento de un equipo.

El MP es también conocido como **Mantenimiento Basado en el Tiempo (TBM)** En **TBM** el mantenimiento es realizado en base a un intervalo de tiempo determinado de funcionamiento o un número específico de unidades de producción, sin considerar la condición actual del equipo.

- **Mantenimiento Predictivo (CBM) o Basado en Condición (CBM)**

El Mantenimiento Predictivo corresponde a la ejecución de acciones que no son intrusivas para el equipo y que permiten conocer el estado en que este se encuentra. Como su título lo indica, es también conocido como Mantenimiento Basado en Condición y su objetivo es la detección precoz de fallos en máquinas de modo que se pueda actuar antes de que la falla ocurra. Este mantenimiento consiste en tomar una serie de parámetros de la máquina, por ejemplo: lubricación, vibración, ultrasonido. Analizarlos, compararlos con datos anteriores, ver tendencias, definir límites admisibles y finalmente, diagnosticar el estado de la máquina y la recomendación de intervención o no, más adecuada [15].

A continuación, se dan a conocer los ensayos más utilizados en la industria para el Mantenimiento Predictivo [16]:

➤ **Análisis de Vibraciones.**

➤ **Termografía.**

➤ **Análisis por Ultrasonido.**

➤ **Análisis de Aceite.**



- **Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM)**

Es un método estructurado, deductivo y participativo que define la estrategia de mantenimiento más apropiada para cada equipo actuando en su contexto operativo real. El RCM define cuando una tarea es viable técnica y económicamente en un horizonte de validez definido. Esta técnica genera un cambio cultural respecto a los conceptos que se toman en cuenta a la hora de realizar mantenimiento. Es por esto, que introduce la idea de que el mantenimiento tiene como finalidad asegurar que las **funciones** de los equipos se sostengan en el tiempo. En base a esto, el RCM convoca a los técnicos y operadores que más conocen el equipo en estudio y así aprovechar al máximo la experiencia. A continuación, se presentan los siete pasos del método [23]:

- I. **Funciones:** ¿Cuáles son las funciones del sistema? (teniendo en cuenta el contexto operativo actual).
- II. **Fallas Funcionales:** ¿De qué forma no se cumplen las funciones?
- III. **Modos de Falla:** ¿Cuáles son las causas que provocan las fallas funcionales?
- IV. **Efecto de los Fallos:** ¿Qué sucede cuando ocurre cada modo de falla?
- V. **Consecuencias de los Fallos:** ¿Qué consecuencia provoca cada modo de falla?
- VI. **Acciones Pro-Activas:** ¿Qué se puede hacer para evitar, predecir o detectar cada modo de falla?
- VII. **Acciones Reactivas:** ¿Cómo proceder si no es posible evitar, predecir o detectar el modo de falla?

- **Mantenimiento Autónomo**

Es aquella estrategia en la que existe un set de actividades de mantenimiento preventivas y predictivas que son ejecutadas por el operador, quien está involucrado en las funciones de producción del activo, por lo tanto, es responsable por su mantenimiento y ordenes de trabajo [24].

- **Mantenimiento perfectivo o Design out Maintenance (DoM)**

Este mantenimiento se enfoca en mejorar el diseño del producto en orden de eliminar las causas de mantenimiento. Está basado en correcciones sucesivas de diseño desde el conocimiento de mantenimiento. Es muy apropiado para equipos con altos costos de



reparación, los cuales se elevan debido a un diseño defectuoso u operación fuera de los límites establecidos [7].

4.2.2. Actividades más comunes del mantenimiento en la industria

En este punto se describen las seis actividades más realizadas en mantenimiento [7]:

I. Inspección

Chequeo de conformidad mediante medición, observación o calibración de las características relevantes de un equipo.

II. Monitoreo

Actividades manuales o automáticas desempeñadas para observar el estado actual del equipo. Evalúa cualquier cambio fuera de los límites establecidos.

III. Mantenimiento de rutina

Son aquellas actividades comunes y elementales del mantenimiento, que usualmente no requieren personal calificado, autorización o herramientas especiales. Estas son limpieza, apriete de conexiones, revisión de niveles de líquido y lubricación.

IV. Revisión

Es un conjunto de acciones y exámenes realizadas para mantener el nivel de disponibilidad y seguridad de un determinado equipo. Una revisión podría ser hecha en intervalos de tiempo predefinidos o luego de cierto número de operaciones, y podría requerir un parcial o completo desmontaje y/o desensamble del equipo.

V. Reconstrucción

Es la acción que sigue al desensamble del equipo y a la reparación o reemplazo de las partes dañadas que se acercan al fin de su vida útil o aquellas que deben ser reemplazadas usualmente. El objetivo de esta actividad es alargar la vida útil del equipo.

VI. Reparación

Acción física realizada para restablecer la función del equipo defectuoso. Incluye análisis de falla, corrección de la falla y verificación de funcionamiento.



4.2.3. Total Productive Maintenance (TPM): Mantenimiento Productivo Total

TPM es una herramienta que pertenece a la filosofía Lean y su base radica en *“hacer las cosas correctas de manera correcta”*, atacando todas aquellas pérdidas que impactan la producción. Tiene su origen en el Instituto de Mantenimiento de Plantas en Japón, por Nakajima.

TPM es un programa de operaciones y mantenimiento que debe ser implementado por todos los departamentos. TPM establece que las tareas de mantenimiento deben ser divididas en dos: operadores y personal de mantenimiento. Siendo los primeros los encargados de realizar rutinas de mantenimiento autónomo, como limpieza, ajustes, atornillar, lubricar y lecturas respecto al equipo. El segundo grupo se convierte en especialista, a cargo de tareas mayores de mantenimiento y solución de problemas.

TPM tiene dos tareas principales: la primera misión es alcanzar una gran utilización de la maquinaria. La segunda, implementar *“The shop-floor philosophy”*, o en su traducción ***“La Filosofía del Taller”***, la cual tiene su enfoque en inculcar y motivar a los operadores a que tienen un gran rol en la salud y productividad que las máquinas que utilizan.

Además de las dos misiones anteriormente descritas, TPM tiene el objetivo dual de cero defectos y cero averías. Para alcanzar dicho objetivo se describen a continuación los cuatro elementos o pilares en los que se construye un programa TPM [1]:

- I. Principio de organización:** Se refiere a reducir todos aquellos equipos inactivos, ya que solo son grasa operacional. De esta manera aumentar las salidas de calidad. En otras palabras, maximizar OEE.
- II. MP puede ser fuente de grasa o Lean:** TPM examina las tareas de MP y distribuye las labores entre operadores y mantenimiento. Lo que permite cubrir la vida entera del equipo.
- III. TPM no es sólo un programa de mantenimiento:** TPM es una asociación entre mantenimiento, producción y otros departamentos, que tiene el poder de afectar a todas las partes involucradas de mantenimiento.
- IV. Empoderamiento de los operadores:** TPM está basado en promover MP como una técnica motivacional a través de grupos de mantenimiento autónomo. Así, operadores comienzan a involucrarse con el equipo hasta finalmente llegar a “poseer el equipo”. Mientras la posesividad aumenta el mantenimiento autónomo se convierte en realidad. Lo que genera un



cambio radical en la mentalidad de las personas sobre como ellas tienen un gran impacto en el proceso.

Junto a los pilares que dan origen a la filosofía del TPM, existe también un trío de actividades que son cruciales para la ejecución, estas reciben el nombre de **Tareas TLC** y son la manera más simple de reducir las averías y de hacer TPM [1].

- **Apriete (T: Tighten):** Se refiere a tornillos y pernos que pueden ser reapretados por el operador. Estos se aprietan aplicando torque a la cabeza o a la tuerca, lo que genera un estiramiento del perno. Esta actividad es de suma importancia cuando existe una interdependencia entre la maquinaria, ya que la soltura de un elemento puede llevar a la de otro, el conjunto a vibraciones y las vibraciones a fallas de distinta importancia.
- **Lubricación (L: Lubrication):** Una de las fallas más recurrentes en mantenimiento es la falta de lubricación, la cual se puede deber a un diseño fallido del equipo o una mala instalación de este, donde los puntos a lubricar son de difícil acceso. A lo anterior, se suma el uso de diferentes lubricantes para un mismo equipo e incluso la falta de motivación del operador. Una solución frecuente es estandarizar el aceite a utilizar, lo cual permite ahorrar grandes cantidades de dinero y prologar la vida del equipo.
- **Limpieza (C: Cleaning):** La limpieza es una actividad esencial que no todos quieren hacer, pero un equipo limpio tiene grandes ventajas respecto a uno que no. Cuando el equipo está limpio es más sencillo observar fugas y pequeños problemas en desarrollo. En cambio, cuando hay suciedad, las fugas se encuentran en contacto por partículas que impiden una visión clara del problema. Desde el punto de vista de mantenimiento, un equipo limpio es más rápido de reparar.

4.2.4. Indicadores de Mantenimiento

Las empresas siempre querrán maximizar sus utilidades y al mismo tiempo reducir costos, es por esto por lo que se hace necesario tener en consideración indicadores que permitan evaluar el crecimiento, desempeño y los costos presentes. En mantenimiento el escenario es similar, ya que la visión siempre será realizar un mantenimiento adecuado a la falla y/o comportamiento del equipo



(ciclo de vida y de operación), para ello es indispensable definir los indicadores que indicarán cuál es el mantenimiento que requiere dicha maquinaria [10]. A continuación, se definen estos:

- **Mean Time To Failure (MTTF):** indicador que mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a la capacidad de producción sin interrupciones dentro del periodo considerado. También es conocido como el “*Tiempo Promedio Hasta la Falla*”.
- **Mean Time To Repair (MTTR):** Es el indicador que mide el tiempo en que el equipo es reparado luego de encontrarse fuera de operación por un fallo. Es un parámetro que está asociado directamente con la mantenibilidad del equipo.
- **Mean Time Between Failure (MTBF):** Es el tiempo transcurrido desde el arranque del equipo hasta el evento de falla. Es uno de los indicadores más importantes, ya que representa el comportamiento del equipo, mientras más grande es, mayor es la disponibilidad de este.
- **Disponibilidad (A):** Este indicador es el porcentaje de tiempo en el que se puede esperar que el equipo esté disponible para realizar su función determinada. La disponibilidad se puede determinar de la siguiente manera:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2)$$

- **Confiabilidad (R):** Es la probabilidad de que un equipo cumpla su función específica bajo condiciones de uso determinadas en un tiempo determinado.

4.2.5. Overall Equipment Effectiveness (OEE): Efectividad total de los Equipos

OEE es una herramienta que permite medir, analizar, cuantificar, monitorear y mejorar la efectividad de cualquier proceso productivo que tiene su origen en el TPM y tiene como objetivo alcanzar el funcionamiento ideal de cero pérdidas, es decir, cero defectos de producción, cero averías, cero accidentes, cero desperdicios en el proceso en ejecución y al realizar cambios. Matemáticamente es el resultado de la división entre la producción total actual y la producción total máxima alcanzable [11].

Esta herramienta se divide en tres categorías de medición de métricas. **Disponibilidad, Desempeño, y Calidad.**



- **Disponibilidad:** Porcentaje del tiempo de producción actual en que la maquina está en funcionamiento sobre el tiempo en el que la máquina está disponible.

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ operación - Tiempo\ inactividad}{Tiempo\ total\ operación} \quad (3)$$

- **Desempeño:** Porcentaje del total de partes producidas en la máquina sobre la tasa de producción de la máquina.

$$Desempeño = \frac{Total\ partes\ producidas}{Tasa\ producción\ máquina} \quad (4)$$

- **Calidad:** Porcentaje de partes buenas sobre el total de partes producidas.

$$Calidad = \frac{Total\ partes\ buenas}{Total\ partes\ producidas} \quad (5)$$

En orden de cumplir el objetivo, OEE define las fuentes principales de pérdidas de productividad conocidas como “*Six Big Losses*” en su traducción “*Las Seis Grandes Pérdidas*”, las que se indican a continuación [12]:

- I. **Pérdidas por averías:** Pérdidas por productos defectuosos y pérdidas por disminución de productividad ante averías del equipo.
- II. **Pérdidas por ajuste y Set up:** Proviene de unidades defectuosas e inactividad de equipos cuando estos son ajustados para producir otro tipo de producto.
- III. **Pérdidas por detenciones menores:** Pérdidas muy frecuentes que ocurren cuando existen periodos cortos de inactividad por cambio de unidades o atascamientos de eliminación sencilla.
- IV. **Pérdidas por reducción de velocidad:** Pérdidas que ocurren cuando el equipo funciona a una velocidad menor a la cual está diseñada.
- V. **Pérdidas por defectos y retrabajo:** Pérdidas relacionadas a defectos en el producto y correcciones debidas a malfuncionamiento del equipo.

VI. Pérdidas por puesta en marcha: Pérdidas de rendimiento ocasionadas por producción temprana, es decir, desde la puesta en marcha hasta el ritmo adecuado de producción.

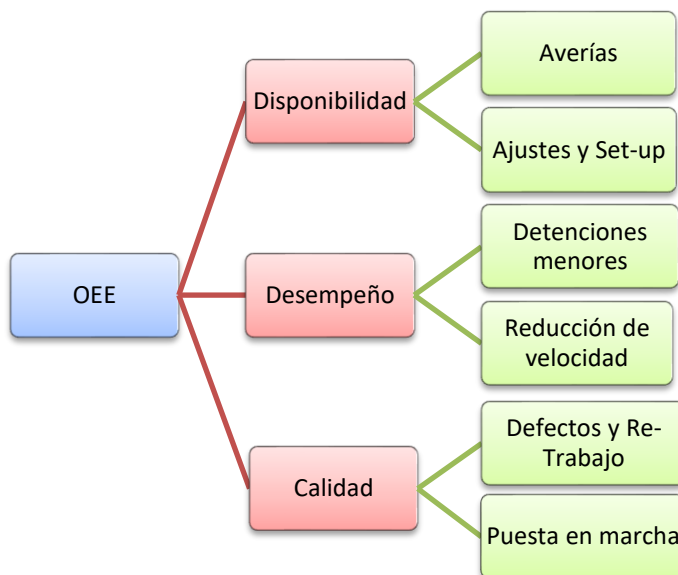


Ilustración 4: Descomposición de las seis grandes pérdidas de OEE.

Fuente: Elaboración propia en base a Elevli, S., & Elevli, B. (2010). Performance measurement of mining equipments by utilizing OEE. *Acta Montanistica Slovaca*, 15(2), 95.

4.3. Lean Maintenance (LM): Mantenimiento Esbelto

Como se vio anteriormente Lean Manufacturing es una filosofía que se puede aplicar a cualquier área de trabajo y que tiene como objetivo aumentar la productividad de una empresa utilizando la menor cantidad de recursos: esfuerzo humano, dinero en inversión de inventario, herramientas, espacio y horas de trabajo, entre otros. Además, se definieron ocho tipos de desperdicios, los cuales se encuentran en la mayoría de las cadenas de producción y puede provocar demoras, malentendidos, pérdidas de dinero, etc. Es por ello, que el primer paso es identificarlos y luego, como segundo punto, clasificarlos según su impacto en la empresa. Así, será posible priorizar y actuar con más fuerza en aquellos que presentan un gran riesgo o pérdida.

Por otra parte, se ha definido y descrito el concepto de mantenimiento y sus estrategias. Junto con mencionar la complejidad y flexibilidad que debe tener este al ejecutarse. El mantenimiento es



un conjunto de acciones que debe seguir el curso de la producción y adaptarse a los cambios que esta tenga. Por consiguiente, debe ser rápido, confiable, y tener un precio adecuado. Así, se sugiere que para todas aquellas empresas que utilizan Lean Manufacturing dentro de su proceso productivo, se apliquen las técnicas Lean al mantenimiento, lo que da origen al concepto **Lean Maintenance** o Mantenimiento Esbelto en su traducción [2].

Lean Maintenance es definido como *“Una operación de mantenimiento proactivo. Que emplea actividades de mantenimiento planificadas y programadas a través de prácticas de **Mantenimiento Productivo Total (TPM)** usando estrategias desarrolladas mediante la aplicación de decisión lógica de **Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)** y practicada por equipos empoderados (autodirigidos)”*. Para alcanzar el Lean Maintenance es esencial ocupar herramientas tales como **VSM**, **5s**, **Gestión Visual**, **TPM**, **OEE**, **Kaizen**, **Poka-Yoke**, **Kanban**, **CMMS**, **EAM** y **Takt Time** [13]. En la siguiente sección se describen los ocho tipos de desperdicios del mantenimiento.

4.3.1. Desperdicios del mantenimiento

Al igual que en Lean Manufacturing, existen actividades que no agregan valor alguno al producto final o al proceso de producción, en este caso, al proceso de mantenimiento. En consecuencia, se enumeran y describen las ocho categorías de desperdicios [13]:

1. **Sobreproducción:** Consiste en realizar mantenimiento preventivo o predictivo en un tiempo menor al requerido realmente. El MP innecesario implica 100% de trabajo derrochado.
2. **Esperas:** Son aquellas esperas al personal de mantenimiento para que realice el servicio. Asimismo, esperas de mantenimiento por herramientas, catálogo de partes o transporte.
3. **Transporte:** Viajes innecesarios como trayectos al taller o depósito de herramientas. Búsqueda de artículos también entra en esta categoría.
4. **Sobre procesamiento:** Se refiere a aprobaciones redundantes de órdenes o permisos de trabajo, junto con llenado de reportes innecesarios, uso inapropiado del software de mantenimiento y errores en procedimientos.



5. **Inventario:** Baja o nula disponibilidad de repuestos o herramientas, inventarios obsoletos y no actualizados. Atraso de órdenes de trabajo.
6. **Movimiento:** Son actividades físicas dentro del mantenimiento que no agregan valor, como buscar una pieza dentro de herramientas, buscar catálogo de partes entremedio de diversos documentos, alcanzar herramientas, entre otras.
7. **Retrabajo:** Se refiere a trabajos repetitivos realizados a causa de una reparación inadecuada, dentro de esta categoría también se encuentra el mantenimiento destructivo.
8. **Uso de maquinaria:** Operación incorrecta y estrategias operacionales que llevan a realizar mantenimiento cuando no es necesario.

En esta dirección, el Mantenimiento Esbelto además de ser la aplicación de los principios Lean al Mantenimiento y utilizar técnicas TPM y RCM como su definición lo indica, es un camino por seguir, un cambio cultural dentro de la empresa que requiere trabajo en equipo, delegación de responsabilidades, liderazgo, personal altamente capacitado y comprometido con el trabajo y una visión clara del mantenimiento. Requiere control periódico del cumplimiento de las tareas y, además, evaluación de la estrategia en ejecución.

En orden de cumplir con todo lo mencionado y lograr objetivos como mejorar el proceso de mantenimiento, y hacerlo más esbelto (procurando siempre una cantidad nula de desperdicios) es que Lean Maintenance se convierte en una oportunidad muy viable y acertada para mejorar el proceso de mantenimiento en estudio. A continuación, se define una estrategia de pasos a seguir que plasman el camino para llevar a cabo esta forma de trabajo.

Este método consta de cinco pasos, que equivalen a los cinco principios de Lean Manufacturing aplicados al proceso de mantenimiento. La **primera etapa: Especificar el valor**. Corresponde a identificar el sistema de organización de mantenimiento, incluyendo estrategia (mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo, autónomo, etc.). Asimismo, se identifican actividades, planeamientos y el personal de mantenimiento.

Posteriormente, la **segunda etapa es: Identificar el Flujo de Valor**. Para completar esta sección es necesario comenzar por la construcción del Maintenance Value Stream Map, incluyendo todas las actividades y procesos. Hecho esto, se localizan todas las fuentes de desperdicios.

Finalmente, esta etapa concluye con la definición de indicadores de funcionamiento, tales como, disponibilidad, OEE, MTBF, entre otros.

La **tercera etapa es: Hacer que el Valor Fluya**, lo cual se hace a través de una red de Análisis de Desperdicios y luego un Análisis de Prácticas contra Desperdicios. Esta etapa es sumamente importante ya que documenta el estado de la brecha actual que hay que cubrir en el proceso de mantenimiento.

Como **cuarta etapa** se tiene: **Tirar del Valor**. Esta etapa tiene actividades tales como reconfigurar el Maintenance Value Stream Map o diseñar un mapa futuro, seleccionar las mejores o más adecuadas practicas Lean, desarrollo de estrategia de transformación Lean y evaluación de OEE.

La **quinta y última etapa es: Perseguir la Perfección**. Persecución constante de la eliminación de residuos del proceso de mantenimiento. Esto puede ser logrado mediante auditorías de los resultados del programa de Lean Maintenance, estandarizando las practicas Lean y procedimientos que dieron los mejores resultados, y desarrollo del equipo, empleados y empleadores respecto a prácticas Lean en el mantenimiento.

4.3.2. Propuesta de Hoja de Ruta de Lean Maintenance

A continuación, se presentan de manera gráfica las etapas mencionadas en la sección anterior. Lo cual recibe el nombre de Propuesta de Hoja de Ruta de Lean Maintenance.

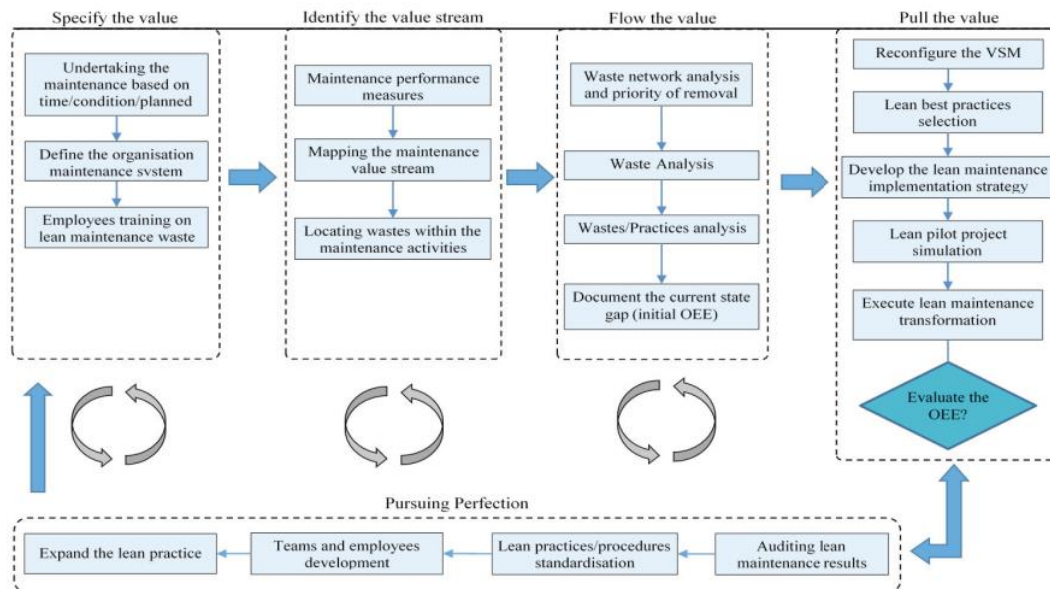


Ilustración 5: Metodología Lean Maintenance aplicable al proceso de mantenimiento del equipo crítico.

Fuente: Recuperado de Mostafa, S., Dumrak, J., & Soltan, H. (2015). Lean maintenance roadmap. Procedia Manufacturing, 2, 434-444.



Lean Maintenance se convierte en una excelente técnica a implementar para mejorar un proceso de mantenimiento, y, más aún, cuando la empresa donde quiera realizarse dicha metodología ya tiene prácticas de Lean Manufacturing. En efecto, se continúa en la misma línea de trabajo, lo que favorece enormemente al equipo de trabajadores, al proceso productivo y a su mantenimiento. Es por esto, y, además, ante la necesidad de Aza S.A. por estandarizar, mejorar y controlar los procesos de mantenimiento es que se decide por realizar este plan trabajo: **La aplicación de Lean Maintenance Road Map al mantenimiento del equipo crítico en el área de Acería.**

Para comenzar con los pasos y etapas del Road Map, se opta por hacer un Análisis de Criticidad, el cual brindará información muy importante respecto a la situación actual del área Acería, contemplando tiempos de falla y número de interrupciones de los equipos. Lo que se traduce, finalmente, en la obtención del equipo crítico del área, equipo al cual se le implementará Lean Maintenance por motivos que ya se explicaron previamente.



5. Diagnóstico Empresarial de Aceros Aza

5.1. Qué es AZA

Aceros Aza es una empresa del sector industrial con foco en la sustentabilidad que fabrica productos de acero destinados a tres sectores principales, Construcción, Minería, e Industria. Dentro de estos productos se encuentran Barras de Refuerzo para hormigón armado, Alambrón, Perfil Ángulo, Barras Redondas y Cuadradas, Pernos SAFEROCK, entre otros.

Actualmente, Aza es el mayor reciclador de acero en Chile y cuenta con una producción de aproximadamente 340.000 [Ton/año], la cual está sujeta al comportamiento del mercado nacional e internacional del acero.

Para lograr la meta anterior se cuenta con dos fábricas ubicadas dentro la región metropolitana: Aceros Aza Colina y Aceros Aza Renca. Dichas, se componen de un total de 700 trabajadores, quienes se encargan de hacer funcionar las plantas correctamente y están distribuidos en todos los sectores.

Para AZA la administración de la fabricación del acero es sumamente importante y es por ello por lo que actualmente cuenta con ocho departamentos y gerencias encargados de gestionar y controlar todas las variables necesarias para la fabricación de los diversos productos.

Con un enfoque en la cadena de producción, el proceso de transformación del acero es gestionado por la **Gerencia Industrial** que se compone de cuatro áreas: Laminación Renca, Laminación Colina, Ingeniería, y finalmente Acería. Siendo esta última el área principal de la producción, en donde la chatarra ferrosa es procesada y transformada en acero de alta calidad a través de un proceso de fundición a altas temperaturas llevado a cabo por los operadores y una gran variedad de equipos y maquinaria en el interior de las instalaciones. A continuación, se puede apreciar la distribución organizacional:

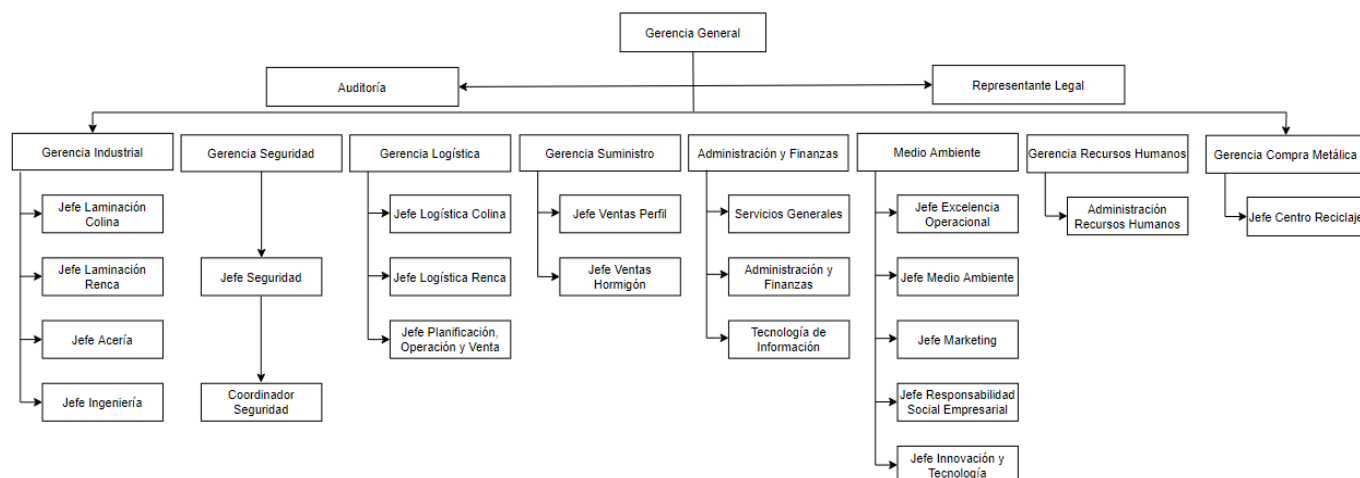


Ilustración 6: Organigrama de Aceros Aza.
Fuente: Aceros Aza.

5.2. Proceso productivo

Antes de continuar con la descripción de las subáreas de Acería, es necesario definir primeramente el proceso productivo al cual se somete el acero reciclado, las etapas de este se pueden observar paso a paso en la siguiente imagen y posteriormente, se encuentra su respectiva descripción:

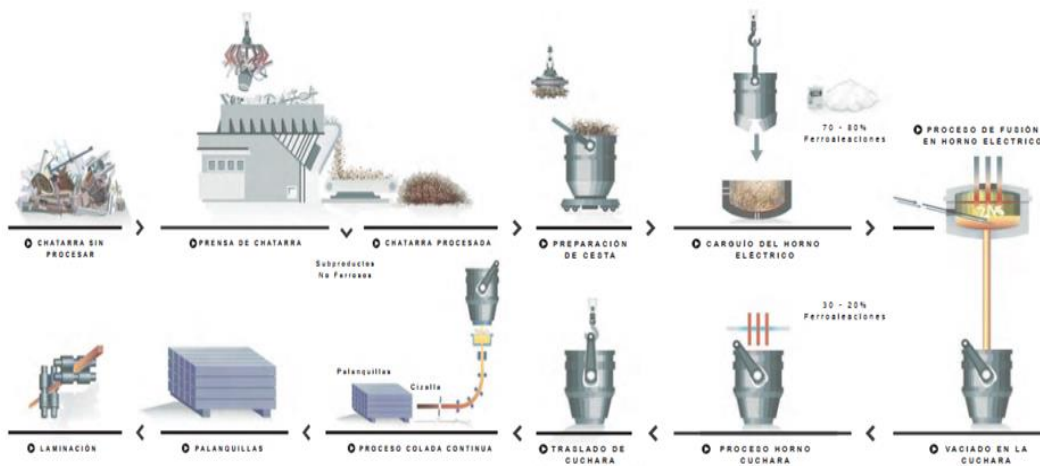


Ilustración 7: Diagrama de flujo del proceso productivo desde Procesamiento de chatarra a Laminación.

Fuente: Aceros Aza.

1. **Procesamiento de Chatarra:** Esta primera etapa está dedicada en su totalidad al tratamiento de la chatarra. En primer lugar, se hace la recepción de la chatarra ferrosa para que esta pueda ser clasificada. Según esto la materia prima se dirige a los patios de preparación de cesta (P.P.C), Patio de Oxicorte o Prensas de Chatarra Vezzani. La chatarra pasa por diversos puntos de control, con el fin de medir su tamaño y peso, junto con su nivel de radioactividad. Esta etapa finaliza con la carga de las cestas, proceso que se lleva a cabo mediante puentes grúa.



Ilustración 8: Procesamiento de chatarra en P.P.C. y Prensas Vezzani.

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en inspección en terreno del proceso de molienda de chatarra.

2. **Acería:** En la segunda etapa de producción, se encuentran las actividades de preparación de la mezcla a fundir. Aquí, se agregan a la cesta algunas ferroaleaciones y posteriormente esta se posiciona en el Horno Eléctrico. La fundición es producida mediante electrodos que elevan la temperatura de la materia prima a $1600 - 1700 [^{\circ}C]$, lo que toma un tiempo promedio de 12 minutos. Luego, el acero líquido es vertido en el Horno Cuchara, recipiente donde se realiza el proceso de ajuste químico de la mezcla y se agregan más ferroaleaciones necesarias para adquirir la calidad solicitada por el cliente. Con la calidad del acero lista, este es vertido en tres moldes, proceso que recibe el nombre de Colada Continua. Mientras el acero recorre los moldes es enfriado por aspersores que rocían agua en las cuatro caras de manera homogénea. Este sistema es llamado “Enfriamiento por Bananas” y junto con los moldes es el que da forma a las palanquillas de sección transversal cuadrada.



Ilustración 9: Traslado de cesta con chatarra al Horno Eléctrico, Acería.

Fuente: Elaboración propia. Fotografía tomada en inspección en terreno del proceso de fundición de chatarra en Horno Eléctrico.

3. **Laminación:** En tercer lugar, el acero en forma de palanquillas es dirigido a la sección de Laminación, lugar en el cual se recalientan a una temperatura de $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un horno horizontal. Luego, el acero es dirigido a un tren de laminación, en el cual se reduce su sección de manera continua y finalmente se les da forma a todos los productos elaborados, algunos de ellos mencionados con anterioridad.



Ilustración 10: Producción de alambón y rollos en el tren de laminación.

Fuente: Aceros Aza.

4. **Calidad y Despacho:** Finalmente se encuentra la etapa de despacho, en la cual se certifican todos los productos producidos mediante distintos ensayos de resistencia de materiales para verificar la calidad de las fabricaciones y posteriormente ser despachados al cliente.



Ilustración 11: Etiketado de productos finales, listos para el despacho por camiones.

Fuente: Aceros Aza.

5.3. Acería

Como se mencionó anteriormente, Acería es la sección principal y el corazón de la producción del acero. Está ubicada específicamente en la planta de Colina y se divide en distintas subáreas que dan origen a las células que se mencionan a continuación:

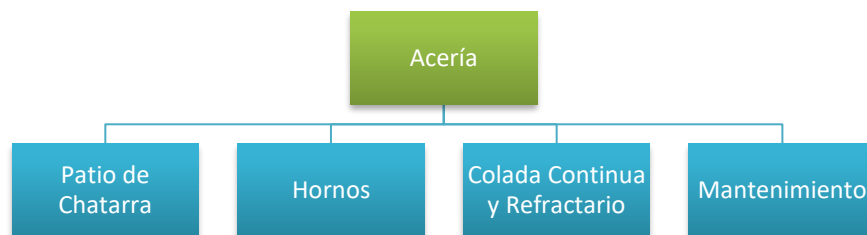


Ilustración 12: Esquema de Células de Acería.

Fuente: Aceros Aza.

5.4. Indicadores Acería

Con la visión completa del proceso productivo es necesario definir indicadores que permiten medir la productividad del área. Aza define dos conceptos claves para medir su producción y establecer parámetros de comparación nacional e internacional, estos son:

5.4.1. Productividad

Es la relación existente entre las toneladas fabricadas de palanquilla en un periodo de tiempo, que en este caso es horas. Obteniéndose Productividad [*Ton/h*].

5.4.2. Tap to Tap

Se define como el tiempo en [*minutos*] que toma realizar una colada completa, es decir, de vaciado a vaciado de acero desde Horno Cuchara a los tres moldes de Colada Continua. Este tiempo se descompone en dos partes *Power On* y *Power Off*.

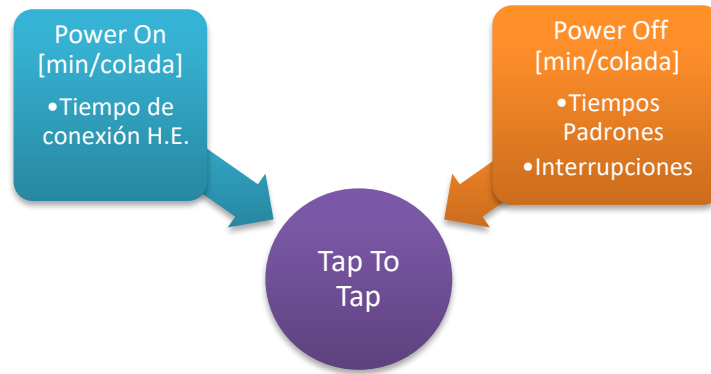


Ilustración 13: Tiempos correspondientes a Power On y Power Off.

Fuente: Elaboración propia en base a información brindada por Jefe de Mantenimiento de Acería respecto a descripción Tap To Tap.

Como se puede observar el tiempo *Power On* solo se define como el tiempo en minutos por cada colada, [min/col], de conexión del Horno Eléctrico, que corresponde al tiempo en el cual dicho equipo está en operación. En cambio, el tiempo *Power Off*, en minutos por colada, corresponde a *Tiempos Padrones* e *interrupciones*.

5.4.3. Tiempos y Categorías de *Power Off*

Se describe la distribución de tiempos respecto a *Power Off*.

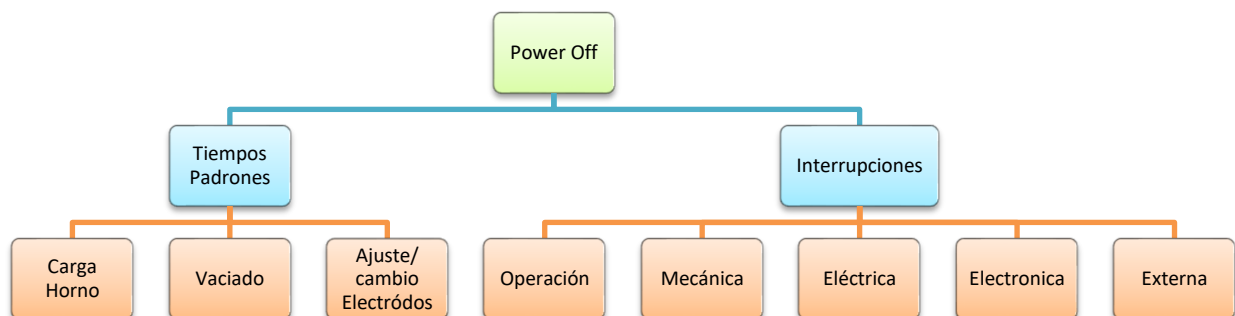


Ilustración 14: Tiempos Padrones e Interrupciones.

Fuente: Elaboración propia en base a información brindada por Jefe de Mantenimiento de Acería respecto a descripción de Power Off.



3.4.3.1. *Tiempos Padrones*

Son rangos de tiempo invariables que consideran actividades necesarias para el funcionamiento del Horno Eléctrico, y se encuentran registrados en el sistema. Existen tres:

- **Carga Horno Eléctrico:** Tiempo requerido en que el Horno Eléctrico recibe la carga de chatarra proveniente de la cesta de carga.
- **Vaciado Horno Eléctrico:** Tiempo requerido para el traspaso de acero fundido desde el Horno Eléctrico al Horno Cuchara.
- **Ajuste/cambio de electrodos:** Tiempo requerido para realizar un ajuste o cambio de electrodos en el Horno Eléctrico.

3.4.3.2. *Interrupciones*

Es todo tiempo extra que se extiende por sobre el límite de *Tiempos Padrones*. Existen cuatro categorías:

- **Operacionales:** Son aquellas de origen operacional, por ejemplo, sobrecarga de Horno Eléctrico e inadecuada operación de Puente Grúa, entre otras.
- **Mecánicas:** Son aquellas que se producen por fallas mecánicas en los equipos y maquinarias. Por ejemplo: Fuga de aceite en válvulas o cilindros hidráulicos y trabamiento de cadenas.
- **Eléctricas:** Son aquellas originadas por una falla eléctrica, por ejemplo, caída de voltaje y falla de circuitos controladores.
- **Electrónicas:** Son aquellas producidas por la falla de un dispositivo electrónico.
- **Externas:** Son aquellas que no clasifican para ninguna de las cuatro categorías anteriores.



5.5. Cultura y Herramientas de Mejora Continua

En Aceros Aza la “*Cultura de Mejora Continua*” tiene su origen en el año 2019 cuando se capacitó a los facilitadores e implementó por primera vez **Lean Manufacturing** en las secciones que componen la Acería. Desde ese entonces, se ha hecho uso de diversas herramientas promoviendo el liderazgo, la calidad de la producción y la administración. A través de estas mejoras se ha incrementado el compromiso por parte de los líderes y trabajadores al adquirir un mayor conocimiento respecto a los detalles del proceso, falencias y características del trabajo.

Hoy en día en las oficinas, pulpitos, talleres y patios se utilizan las siguientes herramientas de Mejora Continua:

5.5.1. HEIJUNKA Box

- **Objetivo:** Organizar y nivelar los recursos del área, tales como la agenda del Facilitador de Rutina, para definir las prioridades del negocio, desplegadas de forma uniforme dentro del sitio.
- **Beneficios:** Permite que el Facilitador de Rutina tenga una visión de todas sus actividades, organizando la agenda y dejándolas a la vista, además de alinear las expectativas de entrega con las otras áreas y una mejor ubicación de los recursos.
- **Herramientas de Apoyo:** Planeamiento de la semana siguiente en el cuadro de gestión a la vista. Cartones Stand By deben estar disponibles en los cuadros para otros tipos de demandas que serán programadas futuramente; Reuniones vía Outlook serán atendidas por el Facilitador de Rutina.

5.5.2. HEIJUNKA de pendientes

- **Objetivo:** Simplificar la gestión de pendientes en un corto plazo (hasta 30 días) de la célula a través de un cuadro de gestión de pendientes. Así, los softwares de gerenciamiento siguen dedicados a pendientes de más de un mes, proyectos, accidentes e incidentes.
- **Beneficios:** Centralización de pendientes, con actualización diaria, facilidad en facilitar la visualización de sobrecarga de demanda observada por todos los colaboradores de las áreas y áreas de apoyo.
- **Herramientas:** Las demandas deben ser escritas en un formulario y fijadas en un panel de Gestión o metálico llamado Heijunka de Pendientes para una determinada célula.



5.5.3. KAMISHIBAI

- **Objetivo:** Monitorear los ítems críticos del proceso, tales como, equipamiento, puesto de trabajo, célula. Se utilizan cuadros de gestión a la vista como base, permitiendo la toma de acciones preventivas y correctivas, por ejemplo: 5S, seguridad, producción/calidad e inspección Operacional.
- **Beneficios:**
 - Inspecciones direccionadas según criticidad.
 - Mayor rapidez en solución de desvíos.
 - Gestión visual de fácil entendimiento.
 - Accionamiento de cadena de ayuda, a través de gestión a la vista.
 - Mayor estabilidad del proceso.
 - Mayor autonomía de los equipos.
 - Evaluación de condiciones físicas del área.
- **Herramientas:** Cuadro de gestión a la vista; Tarjetas con preguntas; Materiales de escritorio.

5.5.4. Cadena de Ayuda

- **Objetivo:** Generar padrones sobre el flujo de acción de los operadores en situación de parada de maquina inminente, para que de esa forma el operador consiga accionar las personas adecuadas para resolver el problema rápida y ágilmente.
- **Beneficios:**
 - Mantener el foco del operador en la máquina.
 - Mantener la máquina en operación.
 - Reestablecer operación en el menor tiempo posible.
 - Aproximar el área de apoyo al área industrial.
- **Herramientas:** Flujograma disponible en gestión a la vista; Lista de teléfonos útiles. Cada área deberá elaborar su flujo de acuerdo con las demandas de su proceso.

5.5.5. Relato de condiciones y rechazo de tarea de riesgo (RTR)

- **Objetivo:** Garantizar al colaborador la realización de rechazos de tareas a aquellas que no ofrecen condiciones seguras. Promover que el colaborador relate las condiciones anormales para que liderazgo pueda buscar el restablecimiento de las condiciones normales de trabajo.



- **Beneficios:**
 - Prevención de lesiones
 - Disminución Impacto ambiental
 - Disminución en productos no conforme (Calidad) o de alto costo.
 - Agilidad en tratamiento de desvíos.
 - Proceso de tratamiento visible para toda la célula.
- **Herramientas:** El colaborador debe comunicar inmediatamente al facilitador al identificar el riesgo; Anomalías identificadas en otras herramientas, como preuso o Kamishibai deben utilizar una tarjeta de relato de condiciones; El registro de rechazo de tarea de riesgo (RTR) debe ser archivado para fines de comprobación legal.

5.5.6. Gestión Visual

- **Objetivo:** Comunicación y gerenciamiento de la célula operacional en una secuencia racional de desdoblamiento de la gestión de la célula como un todo.
- **Beneficios:**
 - Gestión en el lugar de los hechos (Gemba)
 - Reducción en la utilización de sistemas.
 - Agilidad y autonomía en las decisiones.
- **Herramientas:** Cuadro de gestión.

5.5.7. Análisis de Célula

- **Objetivo:** Direcccionar los esfuerzos del equipo identificando los principales desvíos y oportunidad de cada célula.
- **Beneficios:**
 - Visión consolidada de los desvíos y oportunidades de la célula.
 - Mayor rapidez de respuestas en la solución de problemas.
 - Participación de operadores en la resolución de problemas más críticos en la célula.

5.5.8. Auditoria de Estándar

- **Objetivo:** Establecer metodología de auditoria que garantiza la calidad de ejecución de los padrones generados, posibilitando el tratamiento de desvíos y ajuste de procedimientos.



- **Beneficios:**
 - Garantizar estabilización del proceso.
 - Prevenir fallas de proceso.
 - Comprobar el conocimiento del operador.
 - Posibilitar mejora en procedimientos.
- **Herramientas:** Espacio reservado para matriz que debe contener la relación entre auditores, operadores y padrones, y espacio de registro de información y conceptos.

5.5.9. Tratamiento de Fallas

- **Objetivo:** Asegurar la previsibilidad y solidez de los resultados, trayendo mayor estabilidad al proceso a través de la identificación y remoción de las causas de falla, ocurrencias indeseadas en un proceso.
- **Beneficios:**
 - Mayor velocidad en tratamiento de fallas.
 - Acciones de tratamiento de fallas dentro de gestión a la vista.
 - Reducción de etapas de tratamiento de fallas.
 - Operador más cercano al equipo.
- **Herramientas:** Disposición de cuaderno de tratamiento de fallas (formato A4) en cuadro de gestión a la vista; Formulario impreso.

5.5.10. Performance

- **Objetivo:** Realizar acompañamiento de los principales resultados, tendencias y desvíos de la célula, puesto de trabajo vinculados a los temas performance y costos. (OEE, ICs e IVs).
- **Beneficios:**
 - Simplificar rutina del operador.
 - Simplificar la gestión de operador.
 - Agilidad en priorización de toma de decisiones.
 - Visibilidad del escenario actual para el operador.
 - Permitir corrección de desvío durante el turno con acompañamiento hora a hora.



- **Herramientas:** Tablero para gestión y acompañamiento de ICs y/o IVs en puesto de trabajo; Cuadro de cierre de OEE.

5.5.11. Mejoras y KAIZEN

- **Objetivos:** Mejora continua del proceso para cambiar el nivel del resultado de la célula.
- **Beneficios:**
 - Utilización de recursos de forma estructurada para cambio de nivel de los resultados.
 - Respuesta más rápida y visible para el colaborador.
 - Gestionar los recursos de mejora de forma más simple y visible a todo el público.
- **Herramientas:** Cuadro de gestión de mejoras; Formulario A3 de mejoras.

5.5.12. Gemba Walk y Reuniones

- **Objetivo:** Garantizar el atendimiento de los procesos a través de mayor presencia de liderazgo en la fábrica de manera integrada (seguridad, calidad, costos, entregas y moral)
- **Beneficios:**
 - Mayor presencia de liderazgo junto a los operadores y el proceso.
 - Protección del operador y facilitador.
 - Agilidad en la resolución de problemas en la toma de decisiones – Ver y actuar.
 - Comunicación e alineamiento del equipo.
 - Priorización en toma de decisiones.
- **Herramientas:** Para llevar a cabo el Gemba es necesario contar con las actividades anteriormente nombradas: Kamishibai, Heijunka de Pendientes, Cuadro de Ritmo de Producción y Acompañamiento de O.E.E. por puesto de trabajo. Acompañamiento de T.F., Auditoria de Estándares, Cadena de Ayuda e Inspección Operacional.

5.5.13. Reunión de Cambio de Turno

- **Objetivo:** Hacer reflexión y resumen de las ocurrencias relevantes ocurridas durante el turno e impactos en el turno que se indican con foco en Seguridad y Performance.
- **Beneficios:**
 - Integrar las prácticas de cambio de turno RDS e DDS.



- Diseminar el conocimiento/actualizar al equipo en relación con las novedades recientes del área.
- Revertir resultados indeseables entre los turnos.
- Promover interacción de multiplicadores con todos los demás colaboradores.

5.5.14. Reunión de la Célula

- **Objetivo:** Presentar resultados mensuales, programa de Metas y Reconocimientos.
- **Beneficios:**
 - Mantener operadores en conocimiento de los resultados de la célula.
 - Generar exposición de los multiplicadores
 - Momento para el Facilitador de reconocer al equipo y los operadores los desempeños diferenciados.

5.5.15. Reunión de Estrategia Operacional

- **Objetivo:** redireccionar el área a las metas estratégicas de medio a largo plazo.
- **Beneficios:**
 - Equipo alineado con respecto a los desafíos y demandas del área.
 - Revisión de la eficacia de acciones y de rutina y proyectos.

5.5.16. Reunión de Estrategia de Negocio

- **Objetivo:** Desplegar informaciones sobre macroeconomía en Chile, mundo y mercado siderúrgico. Desplegar información sobre los resultados trimestrales con visión de mercado, tendencias, seguridad y financieros. Desplegar información sobre los principales proyectos en movimiento y alinear informaciones sobre resultados de unidad e informaciones relevantes sobre el escenario futuro.
- **Beneficios:**
 - Nivelación de información sobre resultados de la empresa, principales desafíos, prioridades y escenario futuro.
 - Aclaración de dudas sobre estrategias de mercado, concurrencia, nuevas entrantes, precios, insumos, etc.



Identificado y descrito el contexto industrial y cultural que vive Aza es posible visualizar un gran abanico de oportunidades de mejora que se relacionan precisamente con el proceso productivo y las herramientas utilizadas de Mejora Continua. Además, se aprecia que al ser Acería el área principal del proceso es esta la que necesita de un mayor control y estudio de cómo se están realizando sus distintos procesos y, además, la condición en la que están sus activos principales y cómo estos se están comportando respecto a frecuencia de fallas y duración de estas. Es precisamente ahí, donde se observa la principal oportunidad de mejora, en el estudio de los activos y a su vez, como estos están siendo mantenidos.

Para realizar lo anterior, el primer paso es realizar un análisis de criticidad de los activos de Acería. En la siguiente sección se presenta el desarrollo de dicho estudio.

6. Análisis de Criticidad de Acería

Como se vio previamente en el **capítulo 5**, el proceso productivo de Aza tiene cuatro fases, y es la segunda, Acería, la que representa el corazón de la fábrica. En esta, se transforma la chatarra ferrosa en un acero de gran calidad distribuido a lo largo de Chile.

Al igual que el proceso productivo, el área Acería se divide en células de trabajo, las cuales, tienen por objetivo lograr un manejo efectivo de los recursos y el proceso, y al mismo tiempo elevar la productividad. Cada célula cuenta con un amplio personal de trabajo, donde se distinguen líderes, operadores. También, se incluye y reconoce la célula de mantenimiento que se encarga de mantener los equipos disponibles para realizar las funciones requeridas y donde se encuentra a los mantenedores.

Debido a la alta demanda operacional que existe en la empresa ocurre un desgaste considerable de la maquinaria, lo que ocasiona distintas **interrupciones** a lo largo del proceso (véase sección **5.4. Indicadores Acería**). Por esto, la Célula de Mantenimiento se encuentra diariamente con altas cantidades de trabajo y de distintos niveles de exigencia. Dentro del trabajo a realizar se puede encontrar monitoreo de parámetros, mantenimiento planificado y preventivo, mantenimiento correctivo, entre otras actividades.

El fin de este segundo objetivo es obtener el proceso y equipo que presentan alto riesgo al momento de que le ocurra una **interrupción mecánica**. Para realizar esto, se llevará a cabo una metodología, que, paso a paso, permite encontrar aquellos procesos y activos determinantes. La

metodología se compone de 3 etapas, donde cada una tiene un resultado que posibilita continuar el trabajo en la etapa siguiente. La primera etapa obtiene **Candidatos de Equipo Crítico**, la segunda, **Índice de Severidad de los Candidatos**, y, finalmente, la tercera el **Equipo Crítico y Proceso Crítico**.

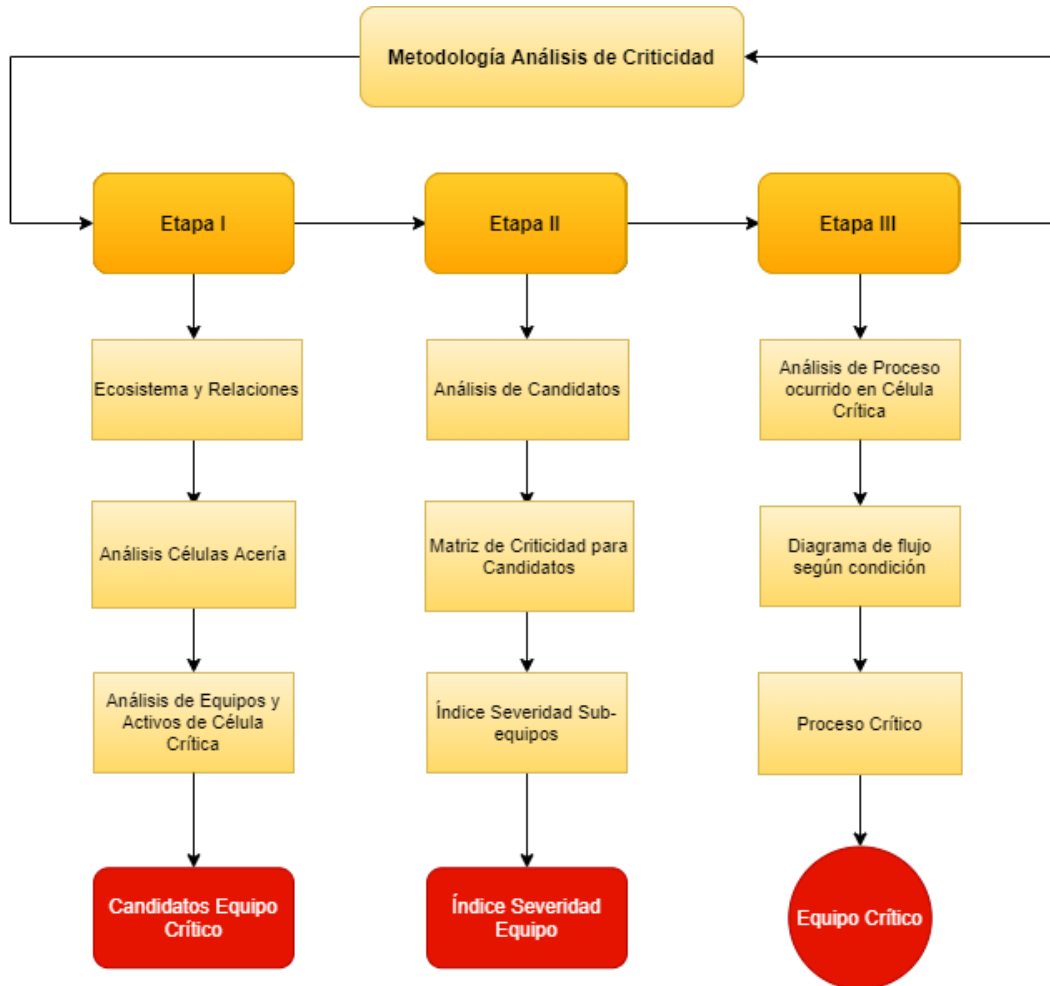


Ilustración 15: Metodología para realizar obtención del Equipo Crítico en el área de Acería.

Fuente: Elaboración propia, basada en los cursos MEC281 Fundamentos del Mejoramiento Continuo y IWM271 Fundamentos de Calidad.

Se define **Equipo Crítico** como aquel que puede causar un daño considerablemente grave en los trabajadores y/o la cadena productiva al presentar una falla, es decir, daño en extremidades, órganos, detener la producción, riesgos de seguridad, excesivos costos de mantenimiento, solo por nombrar unos pocos. De igual manera, se define **Proceso Crítico** como aquel que al detenerse afecta la producción en su totalidad, provocando parálisis de otros activos.



Para realizar la metodología, se hará uso del **Historial de Interrupciones Power Off de Enero del 2018 hasta mayo del 2020** [25] el cual contiene las interrupciones clasificadas por: equipo, sub - equipo, célula y tipo.

La Etapa I tiene como estrategia la elaboración de dos Diagramas de Pareto, el primero para **Frecuencia de Interrupciones** y segundo, para **Minutos de Interrupción Acumulados** en el periodo antes mencionado.

El primer diagrama permitirá obtener cual equipo tiene la mayor cantidad de interrupciones, sin embargo, la criticidad podría depender de más factores y verse afectada por el tiempo que duran estas interrupciones. Al mismo tiempo, podría verse el caso en que el 80% de las consecuencias que indica el diagrama de Pareto quede representado por un equipo, o por cinco equipos, entonces, ¿cómo saber cuál es el más crítico?

En respuesta a esta pregunta, se elabora el segundo diagrama y finalmente, el análisis del proceso. Así, se podrá obtener una imagen completa de lo que está ocurriendo y generar una decisión adecuada al problema.

6.1. Etapa 1: Identificar Candidatos al Equipo Crítico

En primera instancia se estudia el entorno del Equipo Crítico con el fin de comprender las partes que podrían ser potencialmente impactadas ante la situación descrita en los párrafos anteriores. Para ello, el Equipo Crítico toma el protagonismo y se ubica en el centro, y todas aquellas partes que pueden verse afectadas, rodean el núcleo del entorno.

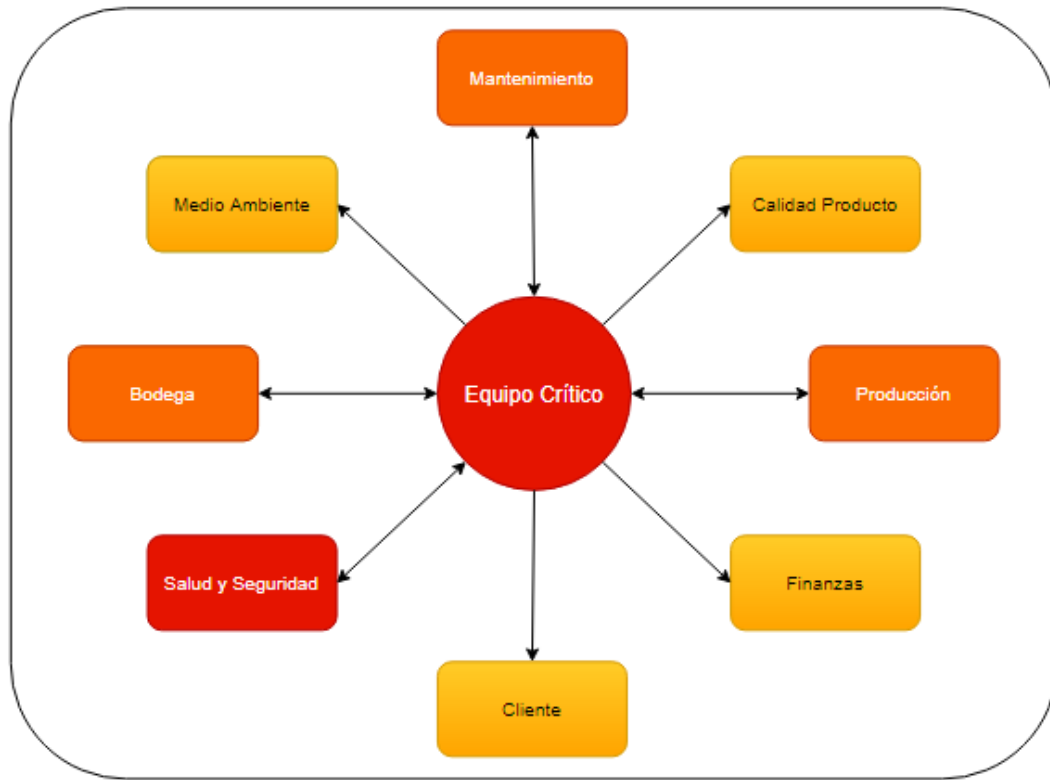


Ilustración 16: Entorno del Equipo Crítico.

Fuente: Elaboración propia, basada en el curso MEC281 Fundamentos del Mejoramiento Continuo.

El Equipo Crítico se ve rodeado por distintas partes que se relacionan directa o indirectamente con él. En el caso de mantenimiento, se tiene que la relación existente es directa y muy fuerte, ya que es esta célula la que debe intervenir inmediatamente para resolver el problema, por esto es por lo que dicha casilla tiene color naranja y doble flecha. En contraparte se tiene el caso del cliente, casilla amarilla, en donde la relación es más bien indirecta, ya que no es él quien resuelve el problema, pero si, puede verse afectado por un efecto en cadena, por ello es por lo que su casilla solo tiene flecha en un sentido. Respecto a Salud y Seguridad se tiene esta casilla es roja porque podría llegar a ser directamente afectada y en un nivel crítico.

En segunda instancia y en conocimiento de las partes que podrían verse afectadas ante la falla del Equipo Crítico, se debe conocer la situación en la que se encuentran las células de Acería. Para esto, se analiza el historial de interrupciones desde enero del 2018 hasta mayo del 2020. El cual, brinda la siguiente información en base a la concentración de interrupciones mecánicas luego de modelar el comportamiento por un gráfico circular:

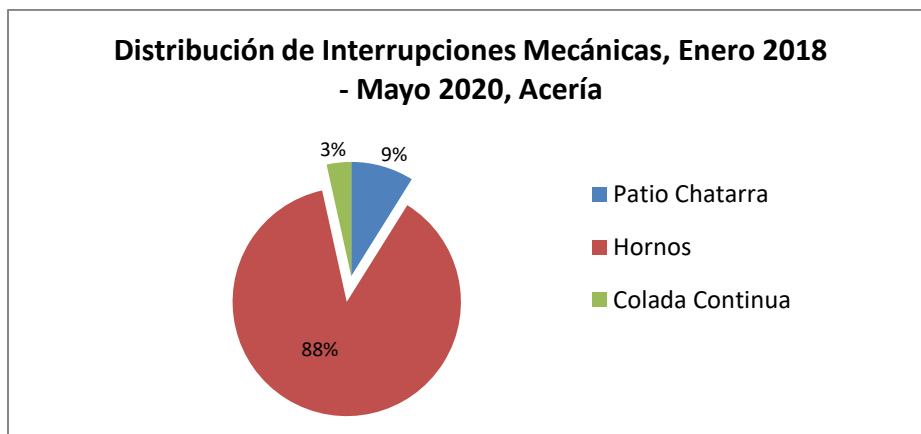


Ilustración 17: Porcentaje de interrupciones mecánicas distribuidas por células de Acería.

Fuente: Elaboración propia en base al Informe de *Power Off* de Mantenimiento.

A través del gráfico, es posible darse cuenta de que la mayor concentración de interrupciones ocurre en la célula **Hornos**, con un total de 1064 dentro de un universo de 1214, lo que equivale al 88%. Dicho esto, se obtiene información muy importante que permite discriminar y canalizar el estudio a dicha célula. Por otra parte, nace la interrogante de por qué existe esta diferencia tan abismante, abriéndose un abanico de posibilidades que pueden dar origen a esta situación, entre estas: efectividad del mantenimiento y sus costos, horas de uso de los activos, disponibilidad de repuestos y vida útil de los equipos. Preguntas que serán respondidas a lo largo del presente documento.

Identificada la zona de trabajo y conocida la situación de Acería, ahora se debe definir cuál es el equipo que genera la mayor cantidad de daños al fallar. Para realizar esto se decide por elaborar una Matriz de Criticidad, la cual permite obtener un resultado global de severidad del daño respecto a distintos parámetros de evaluación. Por consiguiente, se analizan los activos y equipos presentes en la célula Hornos, ya que es la que presenta la mayor concentración de detenciones y por ello es motivo de estudio. Como se cuenta con el historial de Interrupciones desde enero 2018 a mayo 2020 se procede a estudiar el comportamiento de dichas detenciones de origen mecánico.

La célula Hornos está constituida por un total de trece equipos que en su conjunto permiten realizar las funciones que dan origen a las Palanquillas de acero. Así, el total de 1214 *interrupciones* se divide entre el total de 13 equipos. A continuación, se presenta el primer diagrama obtenido.

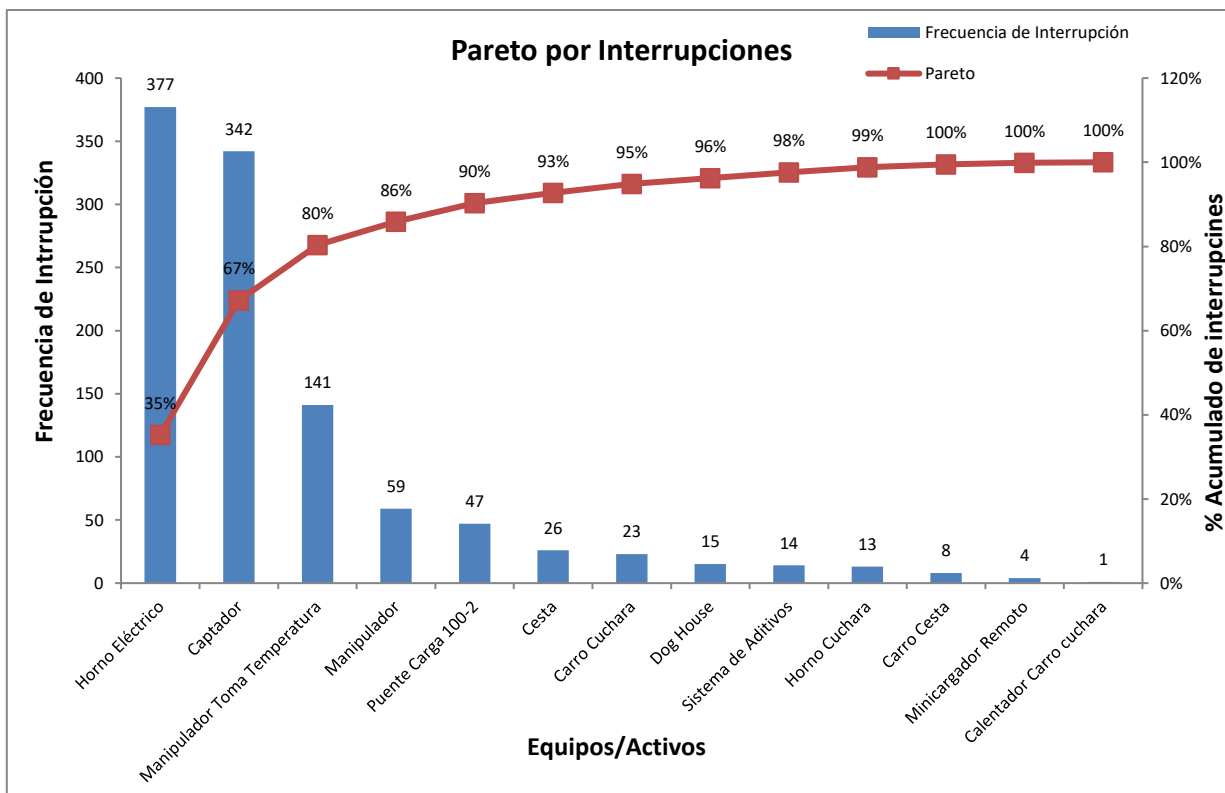


Ilustración 18: Diagrama de Pareto de frecuencia de interrupciones por equipo/activo de célula Hornos.

Fuente: Elaboración propia en base al Informe de *Power Off* de Mantenimiento.

El diagrama indica que son tres equipos (23%) los significativos que provocan la mayor cantidad de fallas (80%): **Horno Eléctrico**; **Captador de Gases**; **Manipulador Toma Temperatura**. Donde el primero alcanza una cantidad de 377 interrupciones equivalentes al 35% del total. Sin embargo, se puede observar que al sumar el primer y el segundo equipo hay una acumulación del 67% de las consecuencias. El 13% restante para llegar al 80% que indica la teoría lo asume el **Manipulador Toma Temperatura**, lo que señala que debido a su bajo peso percentil, este equipo no sería un candidato a la criticidad. Si se contrasta visualmente se ve un 35%, junto a un 32%, y un 13% muy lejano al par anterior.

Ahora bien, la Frecuencia de Interrupción es un resultado que señala la cantidad de veces que falla un equipo en un determinado tiempo, pero no es representativo del problema que se quiere resolver, porque como se mencionó anteriormente, puede que estas interrupciones sean de distinta durabilidad, yendo de un rango que comienza en segundos y que termina en horas. En resumen, si se considera solo este análisis se podría cometer un grave error, porque existe la posibilidad de que el

número de interrupciones sea muy grande y al mismo tiempo la duración de estas muy pequeñas, y viceversa, lo que brinda un resultado global que no es motivo urgente de estudio, ni representativo. Ante esta situación, se decide analizar los minutos acumulados en el mismo periodo anterior. En efecto, se elabora el segundo Diagrama de Pareto: Minutos Acumulados de Interrupción.

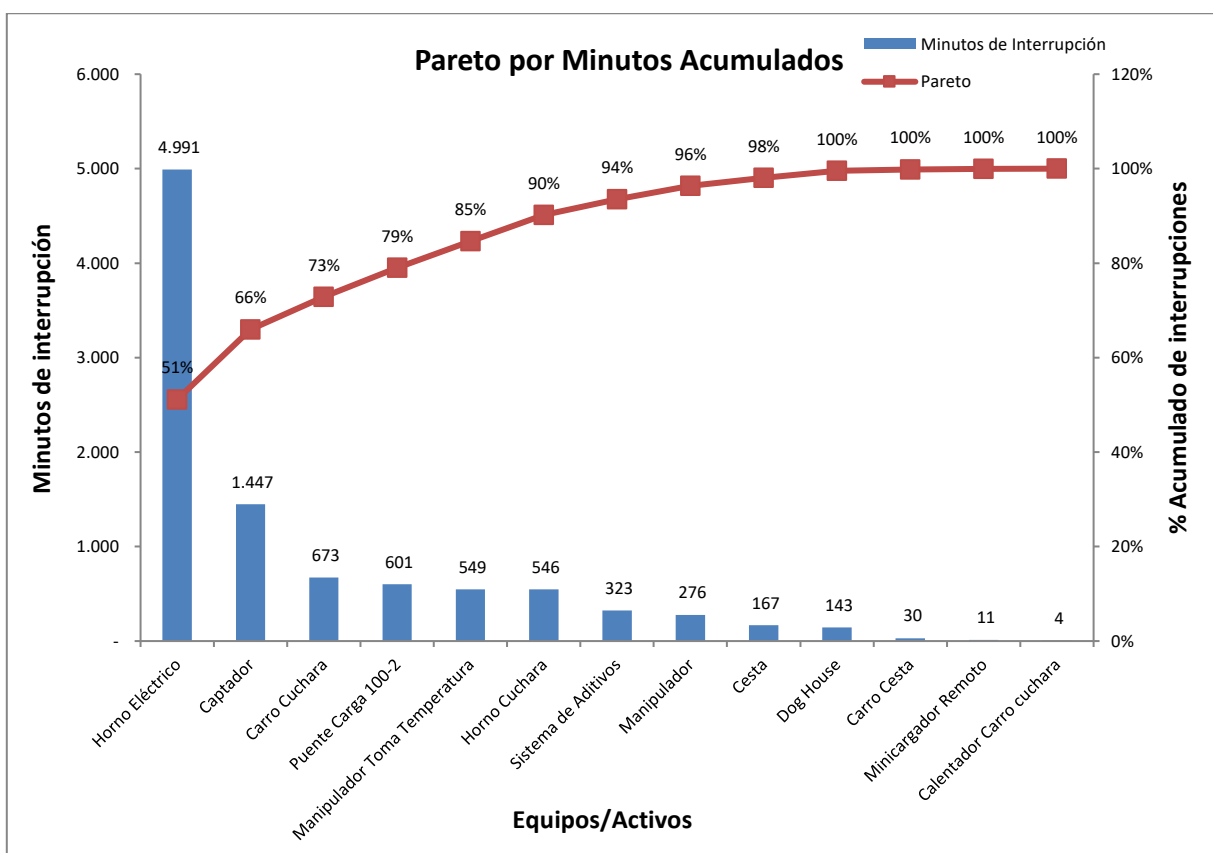


Ilustración 19: Diagrama de Pareto para minutos acumulados de interrupción por equipo/activo.

Fuente: Elaboración propia en base al Informe de *Power Off* de Mantenimiento.

Ahora, se obtiene que cuatro equipos (30,8%) son los causantes del 79% del total de minutos acumulados, donde se identifican: **Horno Eléctrico**; **Captador de Gases**; **Carro Cuchara**; **Puente Carga 100-2**. Realizando el mismo análisis que en el primer diagrama, se tiene que 79%, muy cercano a la teoría, se representa por los equipos mencionados. Sin embargo, estos tienen un comportamiento muy distinto: **Horno Eléctrico** acumula un 51%, **Captador** un 15%, mientras que entre **Carro Cuchara** y **Puente Carga 100-2** un 14%. Entonces, se puede establecer que **Carro**

Cuchara y *Puente Carga 100-2* no son los causantes principales de los problemas y, por ende, no son motivo de estudio.

Finalmente, se observa que los activos *Horno Eléctrico* y *Captador de Gases* son los equipos que se encuentran en ambos grupos, y, además, ocupan el primer y segundo lugar en acumulación de fallas y minutos, entonces, se puede concluir que estos son los mayores causantes de las consecuencias y, por lo tanto, candidatos al Equipo Crítico.

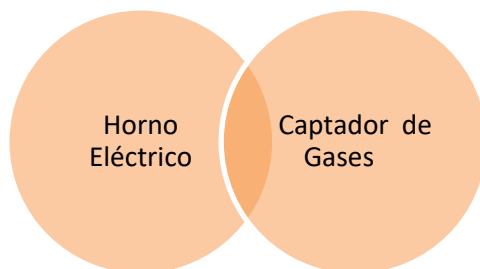


Ilustración 20: Candidatos a Equipo Crítico.

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos en Análisis de Criticidad.

6.2. Etapa 2: Análisis de Candidatos a Equipo Crítico

Con el objetivo de discriminar a los candidatos del Equipo Crítico es que se elabora la Matriz de Criticidad que cumple la función de clasificar la severidad del daño ocasionado ante una interrupción mecánica. En su desarrollo se definen tres Criterios de Severidad que clasifican el daño ocurrido:

1. **Salud:** Consecuencias referidas a daños de la salud de cualquier trabajador.
2. **Producción y Costos:** Consecuencias referidas a tiempo de paralización de producción y a costos no planificados.
3. **Medio Ambiente:** Consecuencias referidas a demandas y multas por daños en el medio ambiente y a comunidades vecinas.

Asimismo, se define una escala de daño de rango 1 a 10 que consta de 5 niveles. El procedimiento para seguir consiste en evaluar, uno por uno, los candidatos. Analizando el daño más crítico que podría ocurrir en cada uno de los criterios y en cada uno de los sub - equipos que componen el activo. Primeramente, se evalúa Salud, en segundo lugar, Producción y Costos, y en tercer lugar



Medio Ambiente. Para llevar a cabo dicha tarea, se utiliza nuevamente el historial de interrupciones de enero 2018 a mayo 2020, en el cual se dan a conocer los sub - equipos de cada activo.

Hecho esto, la estrategia a utilizar en esta segunda etapa es identificar el peor escenario de falla para cada sub - equipo y clasificar dicho acontecimiento según criterio y severidad. Esto entrega el resultado de Índice de Severidad que se define como:

$$\text{Índice Severidad Sub-equipo} = (\text{Salud}) \times (\text{Operación y Costos}) \times (\text{Medio Ambiente}) \quad (6)$$

Luego, para obtener la criticidad del equipo se utiliza la siguiente formulación:

$$\text{Índice Severidad Equipo} = \frac{\sum \text{Índice Severidad Sub-equipo}}{N^{\circ} \text{ Sub-equipos}} \quad (7)$$

En la formulación recién vista, se escoge por utilizar el promedio de los valores obtenidos para índice de seguridad, ya que genera una comparación coherente y representativa del caso de estudio entre un equipo y otro. Si bien, el producto de todos los subíndices también sería demostrativo, se opta por el promedio, ya que siempre se encontrará dentro del valor mínimo y máximo. No así el producto, que, sin embargo, no se descarta su uso para un futuro.

Una posible herramienta para el análisis de datos del caso es FMEA, que hace posible el estudio de las causas y sus efectos, a partir de un historial de fallas, sin embargo, en esta situación, donde cada sub - equipo presenta distintos modos de falla, los cuales deben ser indicados en el análisis FMEA, y donde, además, entre ambos activos y candidatos hay una cantidad total de 18 sub - equipos, se opta por una técnica de origen propio, pero basada en las metodologías FMEA y OEE, lo que deja sin afectar el trabajo futuro de los objetivos posteriores. Por otra parte, realizar un análisis de modos de falla es sumamente tentador, pero al mismo tiempo, se debe tener en cuenta que no se tiene certeza aún de cuál es el equipo con mayor criticidad y se abarcaría una profundidad que no responde al estudio que se está realizando. Es por esto, que se decidió por una metodología que reúne criterios de evaluación de FMEA y la forma de obtención de resultados de OEE, que genera una conexión entre los parámetros/criterios que se evalúan. Así, mediante la fusión de ambas técnicas se obtiene el paso a paso planteado.



Se hace necesario acotar, aunque muy brevemente, el accidente ocurrido el año 2002 en Acería, el cual involucra la explosión del Horno Eléctrico. En esta ocasión existió una perforación del panel puerta del H.E. ubicado en la Carcasa de este. Esta perforación permitió el libre flujo de agua de refrigeración hacia el interior, es decir, hacia el baño de acero líquido, y debido a la enorme diferencia de temperatura y composición química de ambas sustancias es que se produjo una gran explosión, ocasionando graves accidentes con pérdida de tiempo (ACPT) junto a considerables daños estructurales que llevaron a la detención de la planta por un tiempo determinado. Se menciona dicho acontecimiento, para que el lector tenga consciencia de los niveles de seguridad que se deben manejar dentro de una acería, y, además, para hacer hincapié en que, si se considerara solo el criterio de Seguridad/Salud, el Horno Eléctrico siempre sería el Equipo Crítico, ya que es el que más daños podría llegar a ocasionar.

Dicho lo anterior, se procede con el análisis de los candidatos aplicando los tres criterios ya mencionados.



6.3. Matriz de Criticidad

Tabla 1: Matriz de Criticidad utilizada para discriminar severidad del daño

N° de Severidad	Descripción de Criterios de Severidad		
	Salud	Producción y costos	Medio Ambiente
1-2	Sólo primeros auxilios requeridos	Sin paralización / Costo no planificado inferior a 5% del Costo Operacional	Daños mitigados por acción inmediata o por regeneración del medio ambiente / no compromete disponibilidad de recursos naturales / Emisión atmosférica poco visible externamente
3-4	Requiere hospitalización / Efectos temporales	Paralización hasta 4 horas / Costo no planificado superior a 5% del Costo Operacional	Demanda hasta 1 año o costo de 25% del EBITDA planificado mensual / Emisión atmosférica poco visible externamente
5-6	Lesiones deshabilitantes y de por vida	Paralización hasta 24 horas / Costo no planificado superior a 10% del Costo Operacional	Demanda hasta 5 años o costo superior a 25% del EBITDA planificado mensual / Exige comunicación a la comunidad con viviendas cercanas, sin evacuación o interrupción de servicios públicos / Emisión atmosférica visible externamente
7-8	Fatalidad individual evitable	Paralización hasta 30 días / Costo no planificado superior a 15% del Costo Operacional	Demanda hasta 10 años o costo superior a 25% del EBITDA planificado mensual / Exige evacuación de viviendas más cercanas o interrupción de suministro de servicios públicos por hasta 3 días / Emisión atmosférica visible o hídrica intermitente que afecta a la comunidad vecina
9-10	Fatalidad Múltiple evitable	Paralización de más de 30 días / Costo no planificado superior a 20% del Costo Operacional	Demanda por más de 10 años o costo superior al EBITDA planificado mensual / Exige amplia evacuación de viviendas cercanas o interrupción de suministro de servicios públicos por más de 3 días / Emisión atmosférica visible o hídrica continuas que afectan a la comunidad vecina

Fuente: Elaboración propia en base a *Matriz de Criticidad Automatizada* de AZA y Técnica FMEA para análisis de fallas.

6.3.1. Criticidad Horno Eléctrico

El Horno Eléctrico se compone de 14 sub - equipos, que, en su conjunto, realizan el proceso de fundición de chatarra. Dentro de estos, se reconocen algunos como Bóveda, Electrodo, Paneles, y Sistema Hidráulico. A continuación, se presentan los resultados del análisis hecho con la Matriz de Criticidad, utilizando el mismo formato de esta (colores con formato condicional según severidad).

Tabla 2: Resultados de Índice de Severidad para Sub-Equipos y Horno Eléctrico.

#	Sub-Equipo	Salud	Producción y Costos	Medio Ambiente	Índice Severidad Sub-equipo
1	Bóveda	10	10	2	200
2	Codo Fijo	8	8	2	128
3	Codo Móvil	1	5	5	25
4	Cojet	6	3	5	90
5	Delta Refractario	1	4	1	4
6	EBT	3	4	2	24
7	Electrodos	3	3	1	9
8	Estructuras	8	8	5	320
9	Inyectores Carbón	3	3	4	36
10	Paneles	10	10	6	600
11	Refrigeración	10	10	6	600
12	Silo Chamote	1	1	1	1
13	Sistema Hidráulico	8	6	8	384
14	Torres	3	3	1	9
				Índice Severidad Equipo	174

Fuente: Elaboración propia en base a *Matriz de Criticidad* e Interrupciones Críticas.

Se observa que los sub - equipos **1) Bóveda**, **10) Paneles** y **11) Refrigeración**, presentan una criticidad considerablemente alta, los valores corresponden a 200, 600 y 600, respectivamente en sus Índices de Severidad. Lo que se explica por la existencia del riesgo de explosión debido a la diferencia de temperatura que existiría entre el agua de refrigeración que circula en estas partes y el acero líquido que está al interior del Horno si ambos entraran en contacto. Este suceso ocasionaría graves daños en los tres criterios de evaluación, particularmente al personal y a Producción y Costos. De igual manera, los sub - equipos **8) Estructuras** y **13) Sistema Hidráulico**, tienen una criticidad elevada con un Índice de Severidad de 320 y 384, respectivamente. Estos valores pueden ser explicados por el riesgo existente ante una caída del Horno Eléctrico, ya que las **Estructuras** cumplen un rol fundamental al brindarle estabilidad y soporte al equipo mencionado, igualmente, por su parte, el **Sistema Hidráulico** hace posible los movimientos de traslación y basculación, por ende, si existiese



alguna falla crítica en este sistema, el Horno podría caerse y derramar todo el contenido de acero líquido de su interior, ocasionando grandes daños en los tres criterios de evaluación.

Finalmente se obtiene un *Índice de Severidad Horno Eléctrico* igual a 174.

6.3.2. Criticidad Captador de Gases

El Captador de Gases se compone de cuatro sub - equipos: Ductos Refrigerados, Dumpers, Filtro de Mangas, y Ventiladores. Al igual que anteriormente, cada uno de ellos es evaluado por la Matriz de Criticidad.

Tabla 3: Resultados de Índice de Severidad para Sub-Equipos y Captador de Gases

#	Sub-Equipo	Salud	Producción y Costos	Medio Ambiente	Índice Severidad Sub-equipo
1	Ductos Refrigerados	4	4	5	80
2	Dumpers	1	1	4	4
3	Filtro de Mangas	5	5	8	200
4	Ventiladores	5	4	5	100
Índice Severidad Equipo					96

Fuente: Elaboración propia en base a *Matriz de Criticidad* e Interrupciones Críticas.

Para este equipo se obtuvo un *Índice de Severidad* igual a 96. Si bien este número es menor al obtenido previamente, se debe considerar que su función es fundamental en la planta, ya que, si esta no es llevada a cabo correctamente, la planta puede verse en un escenario muy perjudicial económica, social y ambientalmente, llegando incluso a paralizar la producción por más de 30 días debido a incumplimientos legales que conciernen la administración de gases de combustión, gases de efecto invernadero y contaminantes.

El sub - equipo con mayor severidad es **3) Filtro de Mangas**, el cual, presenta su particularidad en el criterio de Medio Ambiente. Esto ocurre, como su nombre lo indica, porque cumple la función de filtrar los gases provenientes del Horno Eléctrico, mediante mangas. Si estas mangas no realizan su función, por distintos motivos, el material particulado, MP10 y menores, y el polvo fino no serían capturados en ellas, donde posteriormente se procesarían, sino que, sería liberado al ambiente, ocasionando graves consecuencias en las viviendas cercanas y al mismo tiempo en la planta.



Definido el contexto de los activos que componen la célula hornos, se puede pasar a un nivel de visión más global, el proceso productivo de la célula Hornos, el cual, presenta intrínsecamente riesgos de paralización, lo que indica, en consecuencia, que es necesario un análisis para conocer y determinar cuál es la etapa que requiere mayor atención. Dejando atrás la Matriz de Criticidad, ahora se procede a evaluar el proceso mediante el concepto de interdependencia que existe entre las etapas. Esto, brindará un complemento al análisis de los equipos, y así, será posible obtener finalmente el Equipo Crítico.

6.4. Etapa 3: Análisis del Proceso Productivo de Célula Crítica

Con las Etapas I y II realizadas se cuenta con los *Índices de Severidad* de los Candidatos a Equipo Crítico. Donde el Horno Eléctrico, hasta ahora, tiene el primer lugar de la lista. La estrategia de la Etapa III consiste en analizar el proceso realizado en la célula Hornos con el objetivo de obtener el Proceso Crítico y cómo esto afecta a los dos candidatos. Así, será posible, finalmente, definir el equipo que se estudiará.

El proceso de la célula Hornos se compone de cinco etapas, donde la principal es la fusión de la chatarra dentro del Horno Eléctrico.

Como se vio en el **Capítulo 5**, la acería tiene indicadores respecto del tiempo de encendido – **Power On** – y del tiempo de apagado – **Power Off** - de su equipo principal (Horno Eléctrico). Esto, explica porque el Horno presenta una diferencia abismante, marcando un 51%, en el tiempo total de interrupciones de todos los equipos de su célula. Lo que ocurre, es que la mayoría de las veces las detenciones de los otros equipos se ven reflejadas en una detención del Horno, lo que indica, nuevamente, que ese es el equipo que presenta mayor riesgo para la célula completa. Enseguida, se presenta un diagrama de flujo que contiene los cinco procesos, donde en cada uno se mencionan los equipos involucrados y cómo estos se relacionan cuando sus funciones no se pueden realizar. Cuando la actividad es llevada a cabo satisfactoriamente (**SI**) el proceso puede continuar a la siguiente etapa. De otra manera, el proceso sufre interrupciones (**NO**) en el contexto mecánico, las que llevan a una paralización del proceso.

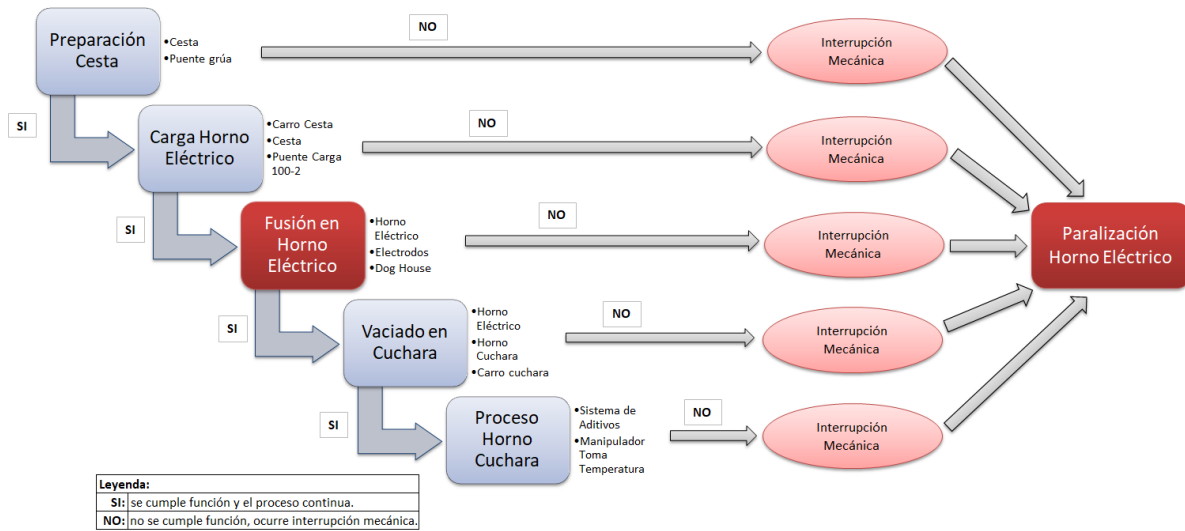


Ilustración 21: Diagrama del Proceso según cumplimiento de función.

Fuente: Elaboración propia, basada en la herramienta Diagrama de Flujo, VSM e inspecciones en terreno.

Ocorre que cada uno de los equipos presenta una interdependencia o interconexión con el Horno Eléctrico. Esto se debe a que, si cualquier etapa no se cumple, por motivos de interrupción mecánica dentro de uno de los equipos, el proceso no puede continuar, y como consecuencia deriva en una detención del Horno Eléctrico, porque este no podrá continuar su funcionamiento. Al observar las etapas previas al proceso de fusión se distingue con claridad que la cadena productiva se detiene. Ahora, si analizamos aquellas etapas posteriores, la situación es similar, por ejemplo, si el Proceso Horno Cuchara, en el cual se realiza el ajuste de mezcla, es interrumpido, el equipo afectado es nuevamente el Horno Eléctrico, porque no podrá continuar con su función para no generar un sobre procesamiento o sobreproducción en la línea de vaciado (EBT) e incluso, posteriormente en Colada Continua.

Finalmente, ante la situación planteada y analizada, es posible concluir con seguridad que el Equipo Crítico, en base a un análisis completo de proceso y de activos, es el **Horno Eléctrico**.



Ilustración 22: nombre del Equipo Crítico obtenido mediante análisis de proceso y activos de Acería.

Fuente: Elaboración propia en base a Análisis de Criticidad.

Identificado el Equipo Crítico se da por finalizado el **Objetivo dos: Análisis de Criticidad de Activos y Equipos** llevado a cabo en el área Acería.

El siguiente paso es el desarrollo del **Objetivo 3: Determinar la estrategia de mantenimiento del equipo crítico**. Para realizar dicha tarea, se comienza por una profunda descripción del Horno Eléctrico, donde se identificarán sus sub - equipos y componentes, junto a la función que cumple cada uno.

Posteriormente, se hará un levantamiento de la información correspondiente a planes de mantenimiento actuales, describiendo de manera general qué es lo que se hace. En continuación, se identificarán los principales canales de comunicación y la secuencia de actividades que conforman el proceso de mantenimiento. De esta manera, se obtendrá el Value Stream Map (VSM) actual del mantenimiento.

Luego, se analizará el VSM obtenido en términos de desperdicios (falencias), actividades y canales de comunicación. Con esta información, será posible identificar las fortalezas y también las debilidades del proceso, junto con los desperdicios de *Lean Maintenance*.

En el término de este objetivo, los desperdicios encontrados serán descritos, clasificados y priorizados según su impacto en el proceso, lo cual se hará utilizando la herramienta Matriz de Impacto.

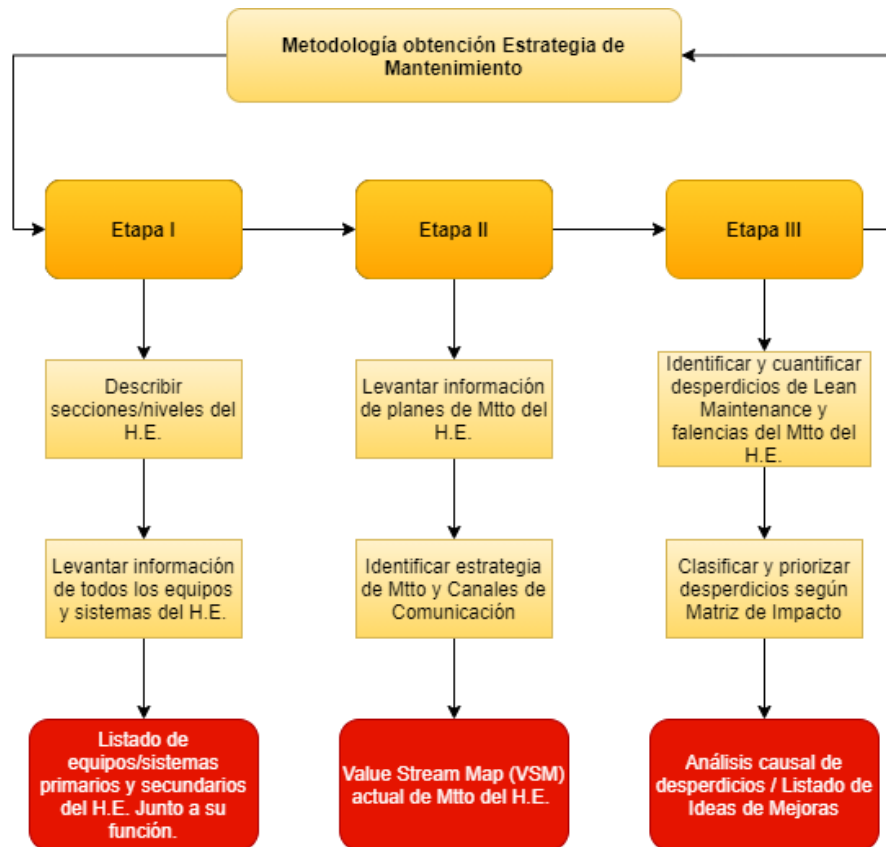


Ilustración 23: Metodología para identificar la estrategia de mantenimiento del H.E.

Fuente: Elaboración Propia, basada en los principios Lean Manufacturing.

Es interesante destacar que la metodología expresada anteriormente es de elaboración personal, la cual tiene su origen en variadas fuentes de información. Estas son: *Lean Maintenance*, *Lean Manufacturing*, *Mejora Continua*, *AZA*, y deducciones propias que llevan a combinar toda esta información y construir un diagrama que permite brindar un mejor entendimiento de la tarea que se quiere realizar.

Otro punto que es necesario comentar es que el **Objetivo 3** finaliza cuando se completan las tres partes de la **Etapa 2**. Respecto a la **Etapa 3** de la metodología planteada, es el puente que une el objetivo actual con el **Objetivo 4: Aplicar Plan Piloto para el mantenimiento del equipo crítico mediante la implementación de Metodología Lean Maintenance**. Dicha finalidad, abarcará ideas de mejora provenientes del análisis causal de desperdicios junto a un listado de planes a seguir.



7. Etapa I: Descripción Horno Eléctrico (H.E.)

El Horno Eléctrico recibe su nombre en referencia a la tecnología de funcionamiento utilizada, actualmente conocida como Fusión al Arco Eléctrico, la cual permite fusionar la chatarra ferrosa utilizada como materia prima y las distintas ferroaleaciones añadidas a la mezcla. La fusión se lleva a cabo por un arco eléctrico a través de electrodos de grafito.

El Horno Eléctrico es un activo de alta complejidad, en el cual, sus operadores y mantenedores deben estar altamente capacitados para ejecutar las tareas que conlleva este equipo para mantenerlo en óptimas condiciones de desempeño.

La configuración de H.E. se divide en tres secciones o niveles, que en su conjunto dan origen a la estructura general. En adición, el equipo está compuesto por diversos sistemas que brindan seguridad, calidad y efectividad a la ejecución del proceso.

7.1. Características Generales y Secciones del Horno Eléctrico

Para un mejor entendimiento, se mencionan las características generales del activo:

- Altura: 4000 [mm]
- Diámetro: 4900 [mm]
- Capacidad Acero Líquido: 100 [Ton]
- Peso: 250 [Ton]
- Consumo energético: 430 [Kwh/Ton]

A continuación, se presenta la descripción de las tres secciones o niveles principales que conforman el Horno Eléctrico.

7.1.1. Bóveda (Bóveda Espray)

Corresponde a la sección o nivel superior de la estructura del horno, conocida también como la cubierta. Es de sección cónica y contiene en su parte inferior ladrillo refractario, capaz de soportar grandes choques térmicos. Esta sección contiene el Delta Refractario y el grupo de electrodos que generan el arco eléctrico. Estos, se posicionan perpendicularmente al área transversal de la bóveda, mediante perforaciones que permiten su ensamble, además, esta estructura está sometida a constante refrigeración por agua gracias a un circuito que posee en su interior, de donde viene su apellido Spray.

7.1.2. Carcasa (Manifold)

Es la sección o nivel intermedio, donde se encuentra la mayor cantidad de paneles de refrigeración, encargados de mantener la temperatura de operación y de los gases dentro del rango de funcionamiento óptimo y así, evitar daños al producto, estructura y trabajadores. Esta parte, también es responsable de la aplicación de energía química como el oxígeno mediante dispositivos llamados Cojet, los cuales pasan a través de los paneles para tener contacto con el interior del compartimiento e inyectar el gas. La carcasa, también cuenta con una puerta de escoria, que permite la evacuación de la escoria cuando esta alcanza un nivel determinado, mejorando la calidad de la mezcla.

7.1.3. Cuba

Es la parte o nivel inferior del horno y se encarga de conservar el calor del acero líquido mediante ladrillos refractarios. Además, en su parte inferior se encuentra la desembocadura excéntrica de vaciado, conocida como EBT: Excentric Button Tapping. Mecanismo que permite vaciar el acero líquido por la parte inferior del horno y no por alguna de las secciones laterales, como el común de estos equipos, reduciendo así, el nitrógeno y la escoria del acero vertido, generando un aumento en la calidad del producto.

La imagen que enseguida se aprecia, da a conocer los distintos niveles y que hay en cada uno de ellos. Se visualizan los electrodos sujetos a sus mordazas y como estos pasan a través de la bóveda. Además, se observa como estos aumentan su temperatura a medida que se acercan al acero líquido.

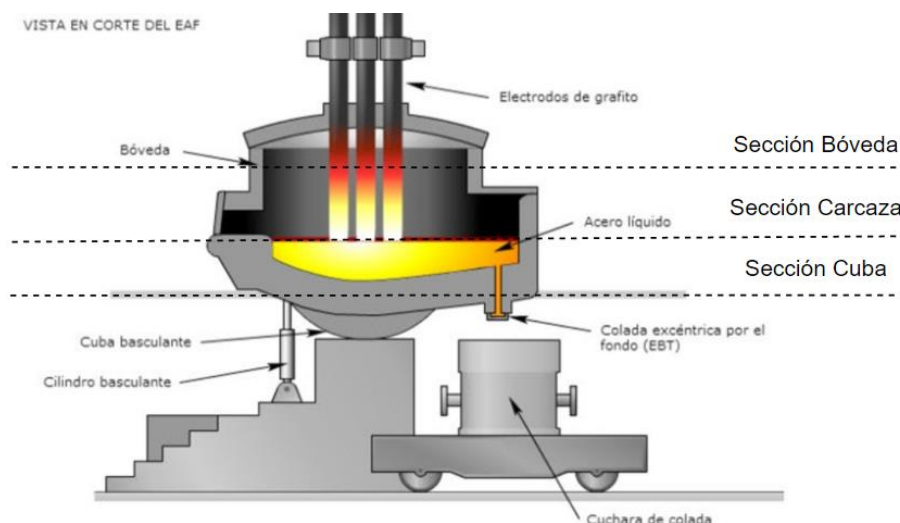


Ilustración 24: Corte longitud del Horno Eléctrico y sus secciones principales.

Fuente: Aceros Aza S.A.



En la parte inferior de la imagen se puede ver, por el lado izquierdo, el cilindro hidráulico que genera la basculación de la cuba, mientras que, por el lado derecho, se observa el EBT, que dispone de un sistema neumático para su apertura y cierre. Así, es posible generar un flujo continuo de acero líquido a la Cuchara cuando el H.E. es vaciado.

Por su parte, los electrodos se encuentran fijos al codo móvil que permite la traslación de estos, lo que corresponde a su montaje y desmontaje en el Horno Eléctrico y al posicionamiento de la Bóveda. Una vez montados, los electrodos pasan a través de la sección transversal de la Bóveda y quedan fijos mediante mordazas y perforaciones que los conectan con la chatarra en el interior del Horno.

7.2. Equipos y Sistemas Primarios del Horno Eléctrico

Los sub - equipos mencionados anteriormente en el **Análisis de Criticidad** se obtuvieron de la información del historial de interrupciones del periodo transcurrido entre enero 2018 y mayo 2020. Con el fin de profundizar y completar aquella información, ahora se realiza un levantamiento de todos los componentes del Horno Eléctrico, identificando equipos primarios y sub - equipos o equipos secundarios.

Se identifican 12 Equipos/Sistemas primarios, donde algunos, anteriormente, fueron distinguidos como sub - equipos y ahora se encuentran en condición de equipo primario, mientras que otros, siguen manteniendo su condición anterior. Por otra parte, la Cuba, Carcasa y Bóveda descritos como secciones principales, también se identifican como equipos primarios del Horno Eléctrico. La *imagen 17* muestra en un nivel más detallado los equipos y sistemas que conforman el equipo crítico. Se hace la distinción de Sistema de Aire y Sistema de Refrigeración, los cuales no se encuentran como parte enumerada en el dibujo. El sistema de Aire se refiere al sistema de abertura del EBT el cual no se aprecia en la *imagen 16* y tampoco en la *imagen 17*, y corresponde al sistema que permite, mediante aire presurizado y un cilindro neumático, la apertura y cierre de gaveta de EBT para que el acero sea completamente vaciado.

Respecto al Sistema de Refrigeración, este no se encuentra enumerado debido a que está presente en casi toda la composición del Horno: Paneles, Bóveda, Cuba, Carcasa, entre otros.

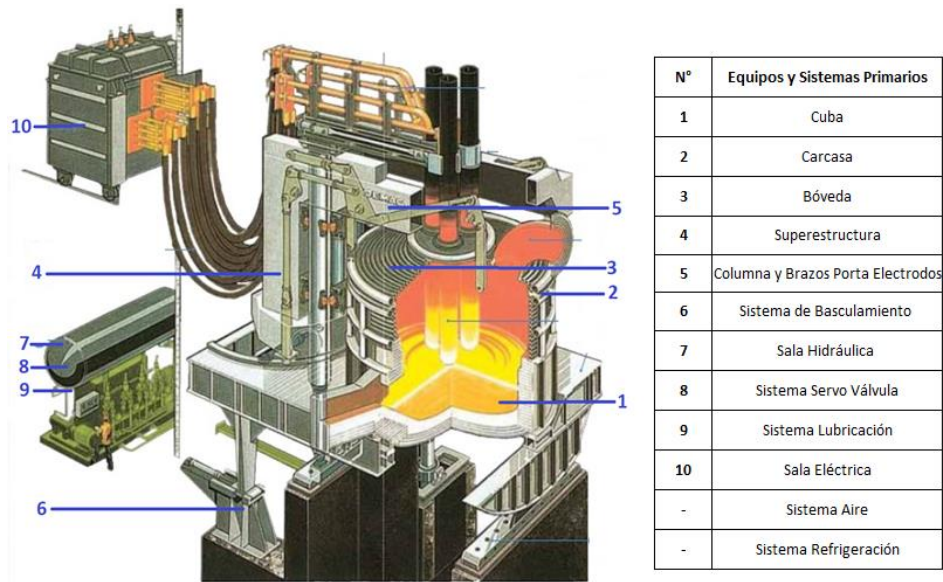


Ilustración 25: Equipos y Sistemas Primarios del Horno Eléctrico, junto a Sistema de Aire y Sistema de Refrigeración.

Fuente: Aceros Aza S.A.

Para completar la Etapa I de la metodología se realiza la *tabla 19* con todos los equipos primarios y sus respectivas funciones, y se mencionan, también, todos los equipos secundarios o sub - equipos pertenecientes a los primarios. Esta tabla se puede visualizar en la sección **Anexo**.



8. Etapa II: Revisión del Proceso de Mantenimiento

En esta segunda etapa la acción principal es generar un mapa de flujo de valor o VSM del Mantenimiento existente respecto al Horno Eléctrico en la célula Acería. Así, será posible identificar cada uno de los pasos que se requieren para la realización del mantenimiento, desde la orden de trabajo hasta su cumplimiento. Por otra parte, se obtendrá el orden secuencial de los pasos y quién es el responsable de cada una de las actividades. Luego, esta información será estudiada y se hará la búsqueda de desperdicios de Lean Maintenance presentes en el proceso. Posteriormente se analizarán y se propondrán ideas de mejora.

Antes de comenzar con la revisión del mantenimiento, es necesario definir un concepto, que sumado a Gestión del Mantenimiento (**Sección 4.3 Mantenimiento y su Gestión**) engloban esta sección. Éste recibe el nombre de Auditoría de Gestión Administrativa o De Gestión. Dentro de la investigación se ha encontrado la siguiente definición: *“La auditoría puede ser definida como el examen comprensivo y constructivo de la estructura organizativa de una empresa de una institución o departamento gubernamental; o de cualquier otra entidad y de sus métodos de control, medios de operación y uso que dé a sus recursos humanos y materiales”*.

Fuente: Wiilliam P. Leonard (2016) Auditoria Integral: Auditoría de Gestión. Recuperado de <https://sites.google.com/site/auditames/home/auditoria-de-gestion>

Definido el concepto global y comprendida la idea principal de la sección, se nombran las actividades necesarias para la obtención de información. Estas son:

- Reunión entrevista con Ingeniero Planificador de Mantenimiento de Acería.
- Reunión entrevista con Jefe de Célula de Mantenimiento de Acería.

Estas reuniones son previamente pauteadas, lo que genera una mejor canalización de ellas, mejorando el flujo de la información y la obtención de esta. Los tópicos analizados a lo largo de todas las entrevistas son:

- Flujo de Información de Mantenimiento.
- Tratamientos de Falla.
- Estructura del Mantenimiento.
- Softwares de Gestión.
- Tipos de Mantenimiento.
- Fortalezas y Debilidades del Mantenimiento.



- Cumplimiento de Mantenimiento.

8.1. 5W+2H del Mantenimiento del Horno Eléctrico

El primer paso para la generación del VSM es el levantamiento de información de mantenimiento del Horno Eléctrico. Esta tarea se realiza equipo por equipo utilizando la herramienta 5W+2H, la cual permite visualizar gran parte del mantenimiento a nivel general y además, obtener información a nivel particular de las actividades que se realizan por equipo, abarcando puntos como estrategia y frecuencia.

Para el caso de estudio, la herramienta **5W2H** se modifica en dos de sus siete interrogantes. Se sustituye **When** (Cuándo) por **Strategy and Frequency** (Estrategia y Frecuencia) y posteriormente, **Why** (Por qué) por **Communication Channel** (Canal de Comunicación). Esto se realiza con el objetivo de obtener la estrategia utilizada: Preventiva o Correctiva particularmente, y además, cada cuanto se ejecuta dicha estrategia. Por otra parte, se hace sumamente necesario saber cómo se comunica esta información, vía voz, vía software, por escrito, etc. Por ello, se decide agregar la sección Canal de Comunicación. En la siguiente tabla se refleja el uso de la herramienta **5W2H** para el Sistema de Basculamiento del H.E.



Tabla 4: Resultados de aplicación de Técnica 5W2H a Carcasa de Horno Eléctrico.

# ID	QUÉ	CÓMO	DÓNDE	QUIÉN	ESTRATEGIA / FRECUENCIA	CANAL DE COMUNICACIÓN
1	Cambio Carcasa: Estructura	Inspección visual: Se revisan uniones de soldadura mediante el uso de tintas penetrantes; Se realiza prueba de estanqueidad y revisión de válvulas de cierre.	Acería	Aza	Preventiva / Cada 2 meses: variable según condición debido a la operación	Vía SAP
2	Mantenimiento Paneles Refrigerados	Inspección visual: Los paneles se aíslan con masa refractaria para que el material no este en contacto con el acero líquido.	Acería	Aza	Preventiva / Semanal: variable según condición debido a la operación	Vía Radio
		En caso de perforación, el panel se deshabilita y se lleva a maestranza para reparación. Paneles se someten a prueba de estanqueidad cuando se cambian.	Maestranza	Maestranza	Correctiva / En caso de perforación	Vía Radio
3	Mantenimiento Cojet	Se realiza limpieza y cambio de Cojet.	Acería	Aza	Preventiva / Cada 3 meses	Vía SAP
4	Mantenimiento Accionamiento Puerta	Se realiza limpieza y lubricación.	Acería	Aza	Preventiva / Cuando Horno se detiene	Vía Radio
		Cambio de cilindro			Preventiva / Cada 1 año	Vía SAP
5	Sensores PT100	Se realiza inspección visual, limpieza, prueba de funcionamiento.	Acería	Aza	Preventiva / Cada 1 mes	Vía SAP
		Prueba de funcionamiento al inicio del turno semanal			Preventiva / Semanal	

Fuente: Planes de Mantenimiento SAP de Aceros Aza.

8.2. Estrategias de Mantenimiento y Canales de comunicación del Horno Eléctrico

Una vez aplicada la práctica 5W2H fue posible identificar que hay más de una estrategia para enfrentar todas las actividades de mantenimiento del activo. Se encontraron en particular tres tipos de estrategia preventiva y dos de correctiva, junto con una estrategia conocida por Aza como Preventiva de Rutina. A continuación, sus respectivas descripciones.

8.2.1. Estrategias de Mantenimiento

- **Preventiva Basada en el Tiempo**

Esta estrategia es programada previamente y su ejecución se lleva a cabo luego de un determinado tiempo de uso del equipo. En ese momento el equipo se detiene y se realizan una serie de actividades que permiten mejorar el estado actual de este. Puede ser ejecutada de manera mensual, trimestral, semestral y anualmente. Por ejemplo: Cambio de Carcasa.



- **Preventiva Basada en Operación**

Esta estrategia es programada previamente y su ejecución depende de un indicador determinado de operación, conocido como: Número de Coladas. Una vez cumplido el número límite, se detiene el equipo y se procede con la realización del mantenimiento. Por ejemplo: Cambio de Cuba.

- **Preventiva Rutinaria**

Son todas aquellas actividades que se realizan con frecuencia diaria y/o semanal. Son acciones de mantenimiento que realizan los operadores y mecánicos de manera natural en su espacio de trabajo. Por ejemplo: Revisión de presión de acumuladores en Sala Hidráulica.

- **Correctiva no Programada**

Es ejecutada al instante cuando ocurre una falla que requiere ser reparada de inmediato. Por ejemplo: Perforación de panel refrigerado en carcasa de Horno Eléctrico.

- **Correctiva Programada**

Se refiere a una Correctiva que puede esperar debido a que la falla ocurrida no es de carácter urgente. Por lo tanto, su ejecución se programa en un tiempo pronto. Por ejemplo: Inspección visual de bomba indica que hay filtración, si la filtración es menor y no afecta al sistema, se programa un mantenimiento posterior.

8.2.2. Canales de Comunicación

En adición, se identificaron los Canales de Comunicación utilizados para que se ejecuten las estrategias mencionadas anteriormente. Estos son:

- **Vía Radio:**

Este canal es utilizado para comunicar todo tipo de trabajos, tanto de Mantenimiento Correctivo, Preventivo y Rutinario. Pero a lo que respecta a esta sección, es el Mantenimiento Correctivo el que se avisa por este canal.

- **Vía SAP**

Este software notifica al mecánico cuando se debe realizar un Mantenimiento Preventivo. Esta notificación de Orden de Mantenimiento depende absolutamente del trabajo a realizar.



- **Vía Nivel 2**

Este software permite notificar todas las actividades de Mantenimiento Correctivo mediante un sistema de libro de notas. De esta manera el mecánico que realiza el trabajo notifica las acciones hechas, así el operador y/o mecánico interesado, y Jefe de Mantenimiento pueden leer la descripción realizada.

Dado que ha sido necesario mencionar los softwares como vías de comunicación, se hace mandatorio nombrar y describir cada uno de ellos. En lo que respecta a mantenimiento del Horno Eléctrico, se encuentran cuatro Softwares que apoyan a la Gestión del Mantenimiento.

8.2.3. Software de Gestión

- **SAP**

Sistema de Gestión para producción, ordenes de mantenimiento, materiales, compras, bodega. Sistema de empresa. Está presente en todas las áreas. Todo el personal tiene acceso al SAP, sin embargo, la profundidad que tenga este dentro del software depende de los roles de cada trabajador y de la actividad que requiera hacer y recursos que solicitar.

- **Nivel 2**

Sistema de gestión operacional. Recolecta toda la información referente a procesos. Es aquí donde se describen interrupciones, pérdidas metálicas y se lleva un control y monitoreo de indicadores a nivel de empresa como productividad, rendimientos, cantidad de coladas, consumo energético, de chatarra. En este sistema también se generan informes diarios y mensuales de Acería. Aquí también se conservan los datos históricos que sirven posteriormente para estudios de trazabilidad. Permite realizar gráficos de parámetros específicos y así obtener tendencias. Monitoreo en línea del proceso (en tiempo real). Sección Libro de Notas que permite describir aquellas actividades extraordinarias/desvíos. Mantenedores ocupan esta sección para tener claridad de que equipos se intervinieron y qué se hizo. Modalidad Conforme /no conforme.



▪ **Software Integrado de Tratamiento de Fallas**

Software que permite analizar las fallas ocurridas en los equipos. El funcionamiento de este software se activa por varios gatillos, los cuales se conocen como indicadores límites que generan la necesidad de hacer un tratamiento de falla. Estos son:

SEGURIDAD	Accidentes de alto potencial	CPT, SPT, CDM
MEDIO AMBIENTE	Ruido:	Noche: 50 dB
		Día: 65 dB
	Humos Visibles	≥ 1 Evento
CALIDAD	Particulado Promedio	≥ 5 mg/m ³
	Reclamo Cliente	≥ 1 Evento
	Chatarreo	≥ 10 t
OPERACIÓN	Perdidas Metálicas	≥ 5 t
	Devolución de Acero a HE	≥ 1 Evento
	Chatarreo por residuales	Todas
	Interrupciones	≥ 45 min
	Quiebra de Electrodo	≥ 1 Evento

Ilustración 26: Gatillos que generan la realización de un Tratamiento de Falla. Información proveniente de software Nivel 2.

Fuente: Aceros Aza S.A.

El Tratamiento de Falla es un proceso que tiene tres etapas: Apertura, Análisis y Plan de Acción.

- I. Apertura:** Se inicia el proceso, nombrando el desvío y caracterizándolo según su naturaleza y tipo.
- II. Análisis:** Segunda etapa y la de mayor importancia, ya que aquí, mediante la herramienta Diagrama de Ishikawa, se obtiene la causa - raíz del problema. Lo que da paso a la tercera etapa, la corrección.
- III. Plan de Acción:** Tercera y última etapa que recopila la información obtenida en las dos anteriores y permite elaborar un plan de acción para corregir el desvío.

Sintetizando, existen tres softwares que son primordiales a la hora del manejo de la información del mantenimiento. Estos, son de gran apoyo para la gestión del proceso, fortaleciendo el control de actividades, personal, interrupciones, repuestos, costos, entre otros.

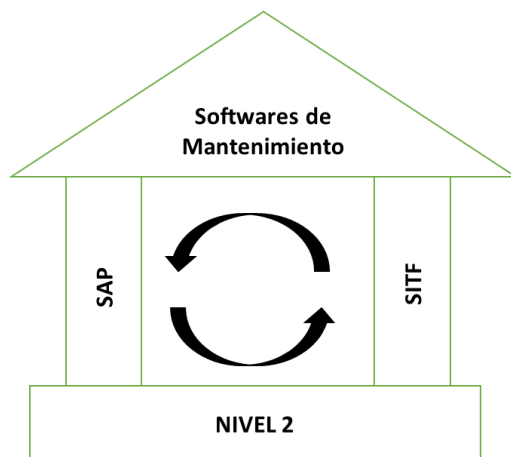


Ilustración 27: Conjunto de softwares que permiten el control de la gestión del mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia en base a herramientas de mejora continua e información de Aceros Aza S.A.

La imagen anterior representa los tres soportes que tiene la información del mantenimiento, es decir, la información respecto a ordenes de trabajo, solicitud de repuestos, costos de actividades y de repuestos, número de personal, horas de trabajo y todo lo involucrado referente al proceso. Es de suma importancia, y por eso se cierra esta sección de Softwares de Mantenimiento, con esta imagen, ya que estas herramientas permiten la canalización, análisis y el control de la información. En consecuencia, se pondrá énfasis al momento de realizar el análisis de desperdicios.

8.3. Estructura del Mantenimiento de Acería

Junto a lo mencionado, otro punto estudiado es la Estructura del Mantenimiento, ya que es fundamental saber cómo viaja la información de un punto a otro conociendo su origen y su final. Esto puede dar un buen apoyo a la propuesta de mejora que se generará, debido a que se conocerán las relaciones entre los distintos roles. En la siguiente imagen se da a conocer el organigrama de la célula de mantenimiento en acería.

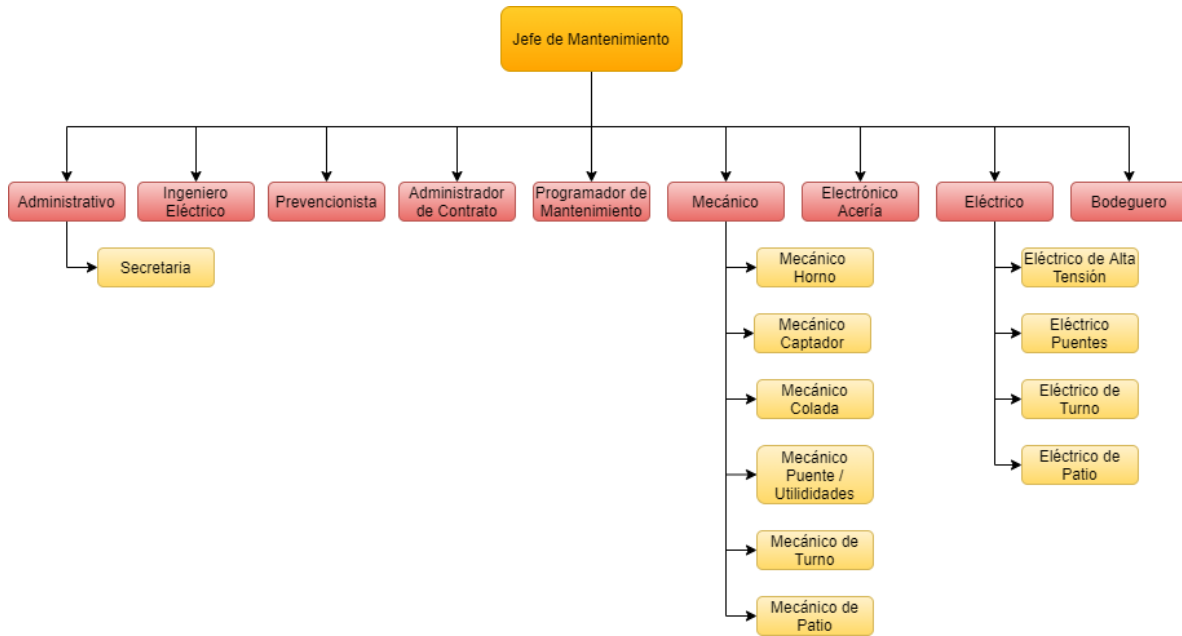


Ilustración 28: Organigrama de Célula de Mantenimiento, Acería.

Fuente: Aceros Aza S.A.

Al observar el organigrama actual del mantenimiento se puede apreciar que es bastante completo y tiene un total de 16 personas que se encargan de todas las actividades que el proceso conlleva. Sin embargo, hay un detalle que debe ser considerado, y es que toda la supervisión está a cargo del Líder de la célula que es el Jefe de Mantenimiento. Si bien esta situación es conveniente, no necesariamente es la más adecuada al proceso existente. Esto, podría deberse a la cantidad de trabajo que el Líder debe supervisar y ejecutar. Así, se plantea la posibilidad de revisar y cuestionar la estructura actual del mantenimiento con el motivo de mejorar el desempeño. Lo cual se decidirá en las secciones siguientes.

8.4. Macroprocesos del Mantenimiento del Horno Eléctrico

Como este Trabajo está orientado a agregar valor a la Gestión del Mantenimiento se opta por identificar y luego analizar los Macroprocesos del Mantenimiento, para ello, la herramienta que mejor se adapta a esta tarea es el Diagrama SIPOC, el cual permite obtener información clave y fundamental respecto a las actividades principales del mantenimiento del Horno Eléctrico.



En orden de identificar estos procesos, para el Horno Eléctrico existen tres casos de mantenimiento, variando según disponibilidad de repuestos, severidad de la falla y programación de actividades:

I. Mantenimiento Correctivo con repuesto instantáneo en Kit de reserva / no se requiere.

Este caso se refiere a cuando ocurre una falla que puede comenzar a ser reparada al instante, ya que se cuenta con el repuesto en el Kit de Reserva ubicado dentro de las instalaciones. En la misma línea de falla, ocurre el caso en el que no se requiere repuesto para la reparación, en esta situación se habla de un repuesto no necesario o requerido, por ejemplo, un reapriete o limpieza.

Tabla 5: Diagrama SIPOC de Mantenimiento Correctivo con repuesto disponible en Kit de Reserva.

SIPOC de Mantenimiento Correctivo con Repuesto en Kit de Reserva					
# Actividad	Proveedor	Entrada	Actividad	Salida	Cliente
1	➡ Inicio del Proceso: Hornero	Mal Funcionamiento del Equipo	Detección de falla	Información sobre Falla	Mecánico de turno
2	Mecánico de turno	Inspección del Equipo	Descripción de falla	Visualización de Mantenimiento Correctivo y repuesto en Kit de Reserva	Jefe de mantenimiento, Programador de mantenimiento y Bodeguero
3	Mecánico de turno / Equipo de mantenimiento	Procedimiento de reparación	Mantenimiento Correctivo del equipo	Prueba de funcionamiento: Ensayo / Error	Mecánico de turno, Jefe de Mantenimiento, Programador de mantenimiento y Operaciones
4	Mecánico de turno	Actividades realizadas	Notificación de actividades	Detalle de actividades realizadas y estado del equipo	Jefe de Mantenimiento y Programador de mantenimiento
5	Mecánico de turno y equipo	Mantenimiento realizado	Revisión final	Diagnóstico del equipo	➡ Fin del Proceso: Jefe de Mantenimiento, Programador de mantenimiento y Operaciones

Fuente: Elaboración propia, en base a información brindada por mecánicos, Planificador de Mantenimiento y Jefatura.

II. Mantenimiento Correctivo con repuesto requerido en Bodega.

Este mantenimiento representa la situación ocurrida cuando el repuesto requerido no está en el kit de reserva y se debe recurrir a bodega. En este caso, el mecánico realiza la solicitud de repuesto mediante una lista de repuestos que el bodeguero recibe y procesa. A continuación, el detalle de actividades y encargados.



Tabla 6: Diagrama SIPOC de Mantenimiento Correctivo con repuesto disponible en Bodega.

SIPOC de Mantenimiento Correctivo con Repuesto en Bodega					
# Actividad	Proveedor	Entrada	Actividad	Salida	Cliente
1	➡ Inicio del Proceso: Homero	Mal Funcionamiento del Equipo	Detección de falla	Información sobre Falla	Mecánico de turno
2	Mecánico de turno	Inspección del Equipo	Descripción de falla	Visualización de Mantenimiento Correctivo y lista de repuestos	Jefe de mantenimiento, Programador de mantenimiento y Bodeguero
3	Bodeguero	Lista de repuestos	Solicitud de Respuesto	Repuestos solicitados	Mecánico de turno
4	Mecánico de turno / Equipo de mantenimiento	Procedimiento de reparación	Mantenimiento Correctivo del equipo	Prueba de funcionamiento: Ensayo / Error	Mecánico de turno, Jefe de Mantenimiento, Programador de mantenimiento y Operaciones
5	Mecánico de turno	Actividades realizadas	Notificación de actividades	Detalle de actividades realizadas y estado del equipo	Jefe de Mantenimiento y Programador de mantenimiento
6	Mecánico de turno y equipo	Mantenimiento realizado	Revisión final	Diagnóstico del equipo	➡ Fin del Proceso: Jefe de Mantenimiento, Programador de mantenimiento y Operaciones

Fuente: Elaboración propia, en base a información brindada por mecánicos, Planificador de Mantenimiento y Jefatura.

III. Mantenimiento Preventivo/Predictivo

En este tercer caso existen dos tipos de mantenimiento. El primero, Preventivo, corresponde a la realización de ordenes de mantenimiento vía SAP, las cuales son levantadas por el mismo software cuando ocurre el momento en el cual se definió. El segundo, Predictivo, se gestiona de la misma manera, sin embargo, la información causal de este es distinta en ambos procesos, ya que, en el primer caso, la información útil es aquella referente al tiempo de operación o bien, al número de coladas. En el segundo, la información de utilidad es aquella referente a la condición del equipo.

Tabla 7: Diagrama SIPOC de Mantenimiento Preventivo generado vía software de gestión SAP.

SIPOC de Mantenimiento Preventivo vía SAP					
# Actividad	Proveedor	Entrada	Actividad	Salida	Cliente
1	➡ Inicio del Proceso: Mantenedor de área	Repuestos, materiales y servicios contratistas	Realización Orden de Mantenimiento vía SAP	Orden de Mantenimiento	Jefe de mantenimiento, Programador de mantenimiento, Bodeguero, Operaciones
2	Mantenedor de área	Descripción de la falla y/o estado del equipo	Programación de actividades de mantenimiento	Procedimiento de actividades a realizar	Equipo de mantenimiento, Jefe de mantenimiento, Programador de mantenimiento
3	Equipo de mantenimiento	Procedimiento de actividades	Mantenimiento Preventivo del equipo	Prueba de funcionamiento: Ensayo / Error	Mecánico líder, Jefe de Mantenimiento, Programador de mantenimiento y Operaciones
4	Mecánico líder	Actividades realizadas, tiempo y personal involucrado	Notificación de actividades y cierre de orden de mantenimiento	Descripción detallada del mantenimiento y estado del equipo	Jefe de Mantenimiento y Programador de mantenimiento
5	Mecánico de turno y equipo	Mantenimiento realizado	Revisión final	Diagnóstico del equipo	➡ Fin del Proceso: Jefe de Mantenimiento, Programador de mantenimiento y Operaciones

Fuente: Elaboración propia, en base a información brindada por mecánicos, Planificador de Mantenimiento y Jefatura.

IV. Parada de Mantenimiento Anual Acería – Horno Eléctrico

Existe un cuarto caso de mantenimiento, este corresponde al mantenimiento que se realiza anualmente en la acería, donde se ejecutan mantenimientos poco comunes y entran en la categoría de Correctivos Programados, estos tienen un alto consumo de recursos en forma de personal y materiales, y requieren detener la producción por un tiempo definido. Las actividades efectuadas se dividen en los distintos equipos de la acería, pero debido al enfoque de este estudio, se analizan aquellas realizadas en el Horno Eléctrico. A continuación, el Diagrama SIPOC de dicho proceso.



Tabla 8: Diagrama SIPOC de Parada de Mantenimiento Anual de Horno Eléctrico.

SIPOC de Parada Anual de Mantenimiento Acería - Horno Eléctrico					
# Actividad	Proveedor	Entrada	Actividad	Salida	Cliente
1	➡ Inicio del Proceso: Mantenedor de área	Repuestos, materiales y servicios contratistas	Elaboración Planes de Trabajo	Planes de Trabajo	Jefe de mantenimiento, Programador de mantenimiento, Bodeguero, Operaciones
2	Programador de Mantenimiento	Descripción de la falla y/o estado del equipo	Programación de actividades de mantenimiento	Carta Gantt de Actividades y Curva S de Uso de Recursos	Equipo de mantenimiento, Jefe de mantenimiento
3	Equipo de mantenimiento	Procedimiento de actividades	Mantenimiento del equipo	Prueba de funcionamiento: Ensayo / Error	Jefe de Mantenimiento, Programador de mantenimiento y Operaciones
4	Mecánico líder	Actividades realizadas, tiempo y personal involucrado	Notificación de actividades	Descripción detallada del mantenimiento y estado del equipo	Jefe de Mantenimiento y Programador de mantenimiento
5	Jefe de Mantenimiento, Programador de Mantenimiento	Mantenimiento realizado	Control y Revisión final	Diagnóstico del equipo	➡ Fin del Proceso: Jefe de Mantenimiento, Operaciones

Fuente: Elaboración propia, en base a información brindada por mecánicos, Planificador de Mantenimiento y Jefatura.

8.5. Mapas de flujo de valor del mantenimiento del Horno Eléctrico

En esta sección se construirá el VSM actual del proceso de Mantenimiento del Horno Eléctrico, basado en sus macroprocesos, es decir, en la Gestión del Mantenimiento. De esta manera, será posible unir gráficamente lo descrito con anterioridad: Planes de Mantenimiento, Canales de Comunicación y Estrategias. Este mapa del mantenimiento del Horno Eléctrico permitirá identificar las relaciones entre las actividades y la secuencialidad de estas. Además, como ya se ha mencionado, otra razón por la que se elaborará esta hoja de ruta actual es para visualizar todas las fortalezas y debilidades del proceso, y además, los desperdicios Lean Maintenance, que son el foco y el motivo de este trabajo, reducir al mínimo todas aquellas actividades que reducen o no agregan valor.

Las secciones anteriores han sido claves y de una importancia considerablemente alta, porque han permitido prever algunos problemas que existen dentro del proceso.

A modo de explicación, el motivo de la construcción de los mapas de todos los casos de mantenimiento para el Horno Eléctrico es analizarlos y obtener los desperdicios existentes. Posteriormente, estos desperdicios serán analizados a un nivel causa-raíz. Esto permitirá obtener la solución de estos desperdicios y así, obtener un mapa del proceso sin desperdicios, lo que equivale al futuro mapa de Mantenimiento.

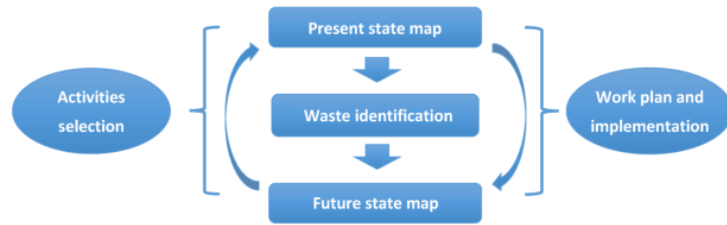


Ilustración 29: Explicación gráfica de secuencia de pasos para obtener la propuesta de plan de mejora.

Fuente: Recuperado de Duran, O., Capaldo, A., & Duran Acevedo, P. A. (2017). Lean maintenance applied to improve maintenance efficiency in thermoelectric power plants. *Energies*, 10(10), 1653.

Respecto a los VSM presentados a continuación, se hace la aclaración y explicación de que los tiempos no fueron medidos, esto se debe a la constante variación del tiempo de ejecución del mantenimiento, es decir, hubo semanas en que este fue realizado en tiempos de ocho horas diarias un día a la semana y hubo otras en que este es realizado en dos horas diarias todos los días de la semana. Además, sumado a que no existe notificación es complejo realizar una comparación. Como el objetivo principal de este proyecto es disminuir el tiempo de interrupciones mecánicas, tiempo que es posible extraer desde SAP, la medición de tiempos comenzará en la primera fase de implementación, fases que será posible revisar en las secciones futuras.

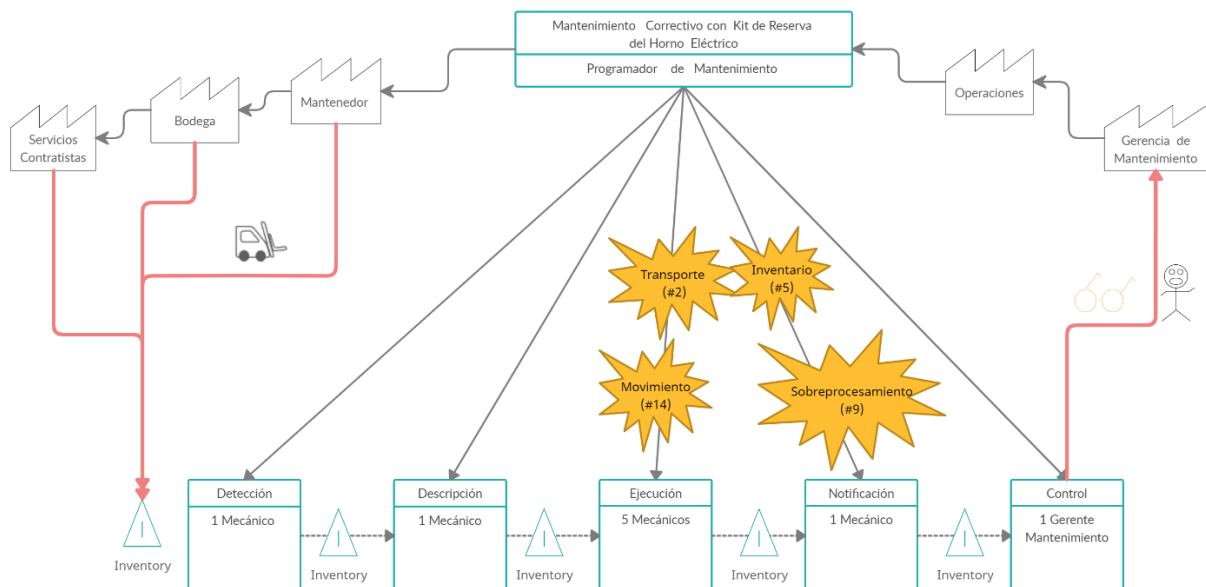


Ilustración 30: Mapa de Flujo de Valor del Mantenimiento Correctivo con repuesto en Kit de Reserva.

Fuente: Elaboración propia basada en el curso MEC281 Fundamentos del Mejoramiento Continuo e información obtenida en inspecciones en terreno y entrevistas con mecánicos, Planificador de Mantenimiento y Jefatura.

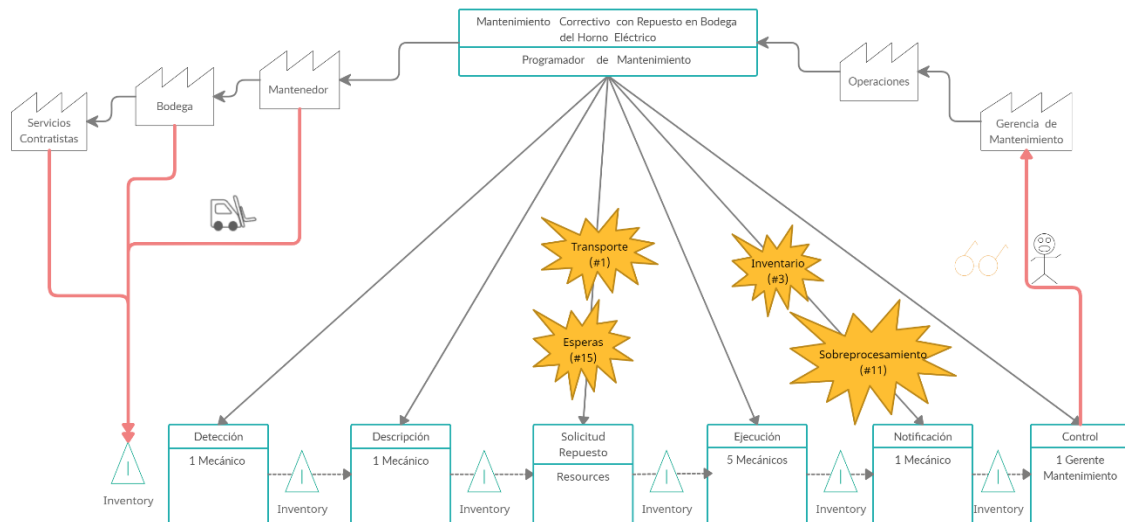


Ilustración 31: Mapa de Flujo de Valor del Mantenimiento del Horno Eléctrico con Repuesto en Bodega.

Fuente: Elaboración propia basada en el curso MEC281 Fundamentos del Mejoramiento Continuo e información obtenida en inspecciones en terreno y entrevistas con mecánicos, Planificador de Mantenimiento y Jefatura.

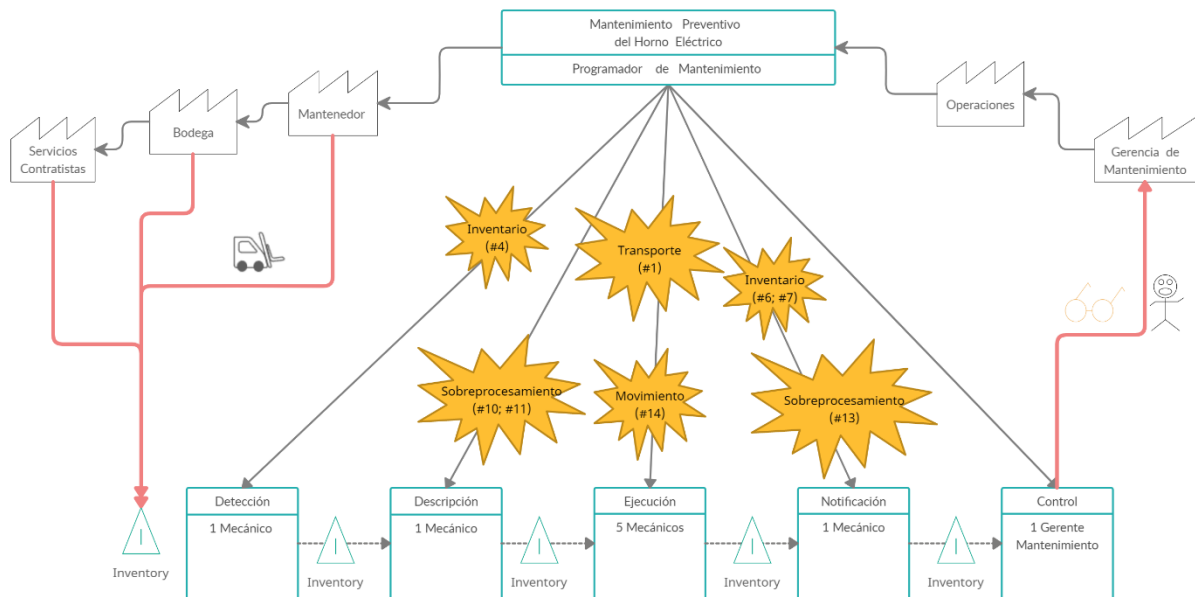


Ilustración 32: Mapa de Flujo de Valor del Mantenimiento Preventivo del Horno Eléctrico.

Fuente: Elaboración propia basada en el curso MEC281 Fundamentos del Mejoramiento Continuo e información obtenida en inspecciones en terreno y entrevistas con mecánicos, Planificador de Mantenimiento y Jefatura.

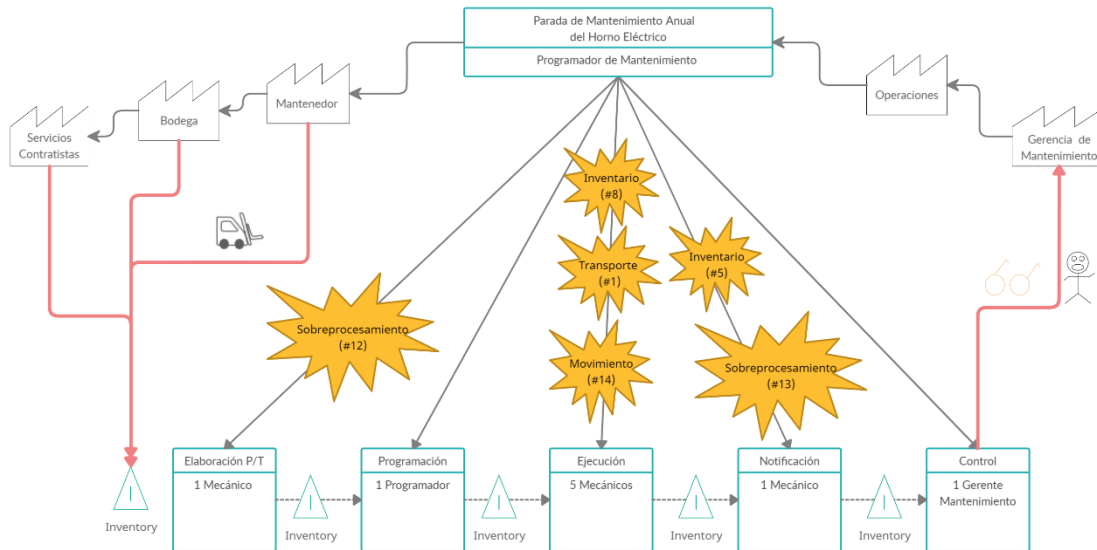


Ilustración 33: Mapa de Flujo de Valor de Parada de Mantenimiento Anual de Horno Eléctrico.

Fuente: Elaboración propia basada en el curso MEC281 Fundamentos del Mejoramiento Continuo e información obtenida en inspecciones en terreno y entrevistas con mecánicos, Planificador de Mantenimiento y Jefatura.

Así pues, se da por finalizado el **Objetivo 3: Identificar la estrategia de mantenimiento del equipo crítico**. Ahora, es posible continuar con el puente que une el **Objetivo 3** y **Objetivo 4**. Como se mencionó con anterioridad, este será la **Etapa 3** de la Metodología de Estrategia de Mantenimiento. Con los mapas dibujados de cada mantenimiento ahora es posible trabajar sobre los desperdicios Lean Maintenance.

9. Etapa III: Listado de desperdicios del proceso de mantenimiento del Horno Eléctrico.

En este capítulo se identifican y enumeran todos los desperdicios existentes en los cuatro casos de mantenimiento mencionados y mapeados anteriormente. Esta actividad, permite generar un listado de desperdicios que es analizado mediante dos criterios de impacto: Negocio y Cliente. De tal manera, será posible priorizar y obtener aquellos desperdicios que generan mayor efecto en ambos parámetros. Con estos resultados, lo siguiente corresponde al estudio causa - raíz de dichas falencias y, finalmente, un listado de ideas de mejora para fortalecer el proceso de mantenimiento.



Se decide por analizar el listado mediante una matriz de impacto como se dijo al inicio de la sección. Los criterios son dos: Impacto en Cliente; Impacto en Negocio. Cliente se refiere a todos aquellos mencionados en la sección de diagramas SIPOC: *Mecánico de Turno; Jefe de Mantenimiento; Programador de Mantenimiento; Bodeguero; Operaciones; Mecánico Líder; Equipo de Mantenimiento*. Por otra parte, Negocio significa todo aquel impacto que influye en los costos y/o ingresos cuando el proceso de mantenimiento es ejecutado. Es necesario mencionar que cada uno de los parámetros es medido mediante una escala de 1 a 10, donde 1 significa el menor impacto y 10 el mayor de todos. En la siguiente imagen, se dan a conocer los resultados obtenidos de la priorización según el efecto en los criterios establecidos. Por efectos de espacio se presenta solo un extracto de la tabla, el resto es presentado en la sección **Anexo**.



Tabla 9: Listado de desperdicios Lean Maintenance presentes en todos los tipos de mantenimiento del Horno Eléctrico con su respectiva asignación de impacto en criterios Cliente y Negocio.

ID	Tipo de desperdicio LM	Descripción del Desperdicio	Impacto en el cliente	Valor (1-10)	Impacto en negocio	Monto (\$)	Valor (1-10)
1	Transporte (Búsqueda)	Exceso de movimiento durante la ejecución de MP por búsqueda de herramientas que no están en almacén	1) Mayor tiempo en trabajos de Mantenimiento. 2) Aumento de riesgos de accidentes. 3) Disminución de Producción.	2	Disminución de utilidades	\$1.095.000	3
2	Transporte (Viajes)	Exceso de caminatas por búsqueda de herramientas al almacén.	1) Disminución de producción. 2) Mayor tiempo de mantenimiento.	4	Disminución de utilidades.	\$1.095.000	3
3	Inventario (Repuestos)	Repuestos no siempre están disponibles y otros están obsoletos	1) Disminución en disponibilidad de equipos. 2) Mayor tiempo de mantenimiento. 3) Costo por almacenaje.	6	Disminución de utilidades	No cuantificable en estado actual	8
4	Inventario (Órdenes de Trabajo)	Exceso de O/M vía SAP para un mismo equipo. Se identifican O/M en componentes secundarios y no en primarios del equipo en estudio.	1) Mantenedor utiliza más tiempo en software de gestión que en tareas mecánicas y/o no hace uso del software. 2) Dificulta evaluación de cumplimiento de mantenimiento. 3) Dificulta planificación de actividades	4	Disminución de utilidades	No cuantificable en estado actual	4
5	Inventario (Herramientas)	Herramientas no se encuentran en su lugar indicado. Se extravían.	1) Disminución de producción. 2) Mayor tiempo de mantenimiento por búsqueda. 3) Desorden de área de trabajo. 4) Riesgo de accidentes	6	Disminución de utilidades.	No cuantificable en estado actual	5
6	Inventario (Documentos)	GPR Desactualizado	1) Aumento de horas de mantenimiento. 2) Inventario de repuestos desactualizado. 3) Ineficiencia en almacenaje de repuestos.	6	1) Disminución de utilidades. 2) Gastos no planificados por compra de partes/repuestos no coherentes.	No cuantificable en estado actual	7
7	Inventario (Documentos)	Planos Desactualizados	1) Aumento de horas de mantenimiento. 2) Baja eficiencia en el proceso de Mantenimiento.	7	1) Disminución de utilidades. 2) Gastos no planificados por compra de partes/repuestos no coherentes.	No cuantificable en estado actual	8
8	Inventario (Herramientas)	Exceso de lanzas-cañería para quitar escoria pegada al horno.	1) Baja eficiencia en el proceso de Mantenimiento. 2) Confusión en uso de herramientas adecuadas y necesarias.	7	Aumento de Costos de Mantenimiento	No cuantificable en estado actual	7

Fuente: Elaboración Propia, basada en evaluación y priorización realizada mediante reunión con Jefatura.

Obtenida la tabla de desperdicios, se construye la matriz que permitirá discriminar cada uno de ellos. Esta, consta de 4 cuadrantes que varían según el impacto de 1 a 10. A continuación, se visualizan los resultados de dicha herramienta.

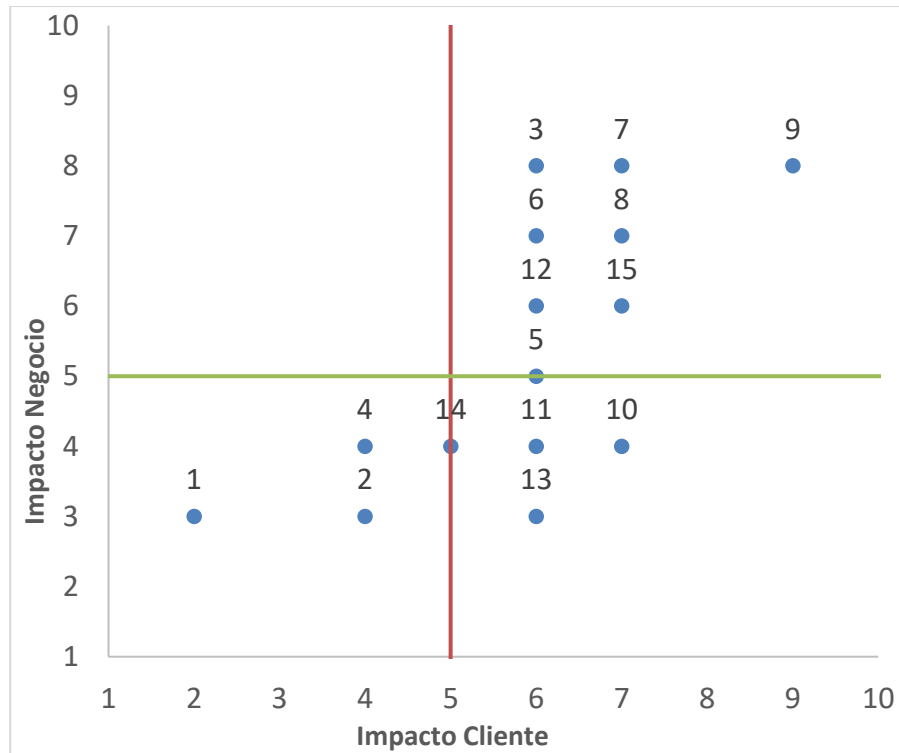


Ilustración 34: Clasificación de Desperdicios según impacto en Cliente y Negocio mediante el uso de la herramienta Matriz de Impacto.

Fuente: Elaboración propia, basada en resultados obtenidos luego de clasificación con Jefatura.

9.1. Análisis Causal de Desperdicios Críticos LM

La matriz de clasificación y priorización anteriormente utilizada se divide en los siguientes cuadrantes:

- **Cuadrante I:** Bajo impacto en cliente; Bajo impacto en negocio.
- **Cuadrante II:** Bajo impacto en cliente; Alto impacto en negocio.
- **Cuadrante III:** Alto impacto en cliente; Alto impacto en negocio (**cuadrante crítico**).
- **Cuadrante IV:** Alto impacto en cliente; Bajo impacto en negocio.

Como es posible deducir aquellos desperdicios que se encuentran en el **Cuadrante III** se definen como **desperdicios críticos** y deben ser tratados lo antes posible, ya que presentan un alto potencial de pérdidas en el cliente y en el negocio. Ahora, se hace necesario un estudio de estos desperdicios para descubrir y explicar su existencia y de esta manera encontrar una solución. Los **desperdicios críticos** obtenidos son 8:



- **#3:** Repuestos no siempre están disponibles y otros están obsoletos.
- **#5:** Herramientas no se encuentran en su lugar indicado. Se extravían.
- **#6:** GPR Desactualizado.
- **#7:** Planos desactualizados.
- **#8:** Exceso de lanzas-cañería para quitar escoria y residuos de Horno Eléctrico.
- **#9:** Baja frecuencia de uso de software SAP y baja frecuencia de notificación de actividades.
- **#12:** La información de planes de trabajo para Parada de Mantenimiento: Actividades, materiales, personal y tiempo es enviada al programador informalmente y no posee estándar. Algunas vías son: correo, celular.
- **#15:** Esperas por repuestos que son solicitados con condición de compra inmediata y departamento de compras no realiza acción.

9.1.1. Ishikawa de Desperdicios Críticos LM

En esta subsección se analizarán los desperdicios críticos uno por uno con la finalidad de obtener su causa - raíz, ya que de esta manera será posible encontrar una oportunidad de mejora asociada a la situación actual. Para llevar a cabo esta actividad se hace uso de la herramienta **Diagrama de Ishikawa o Cola de Pescado**. La razón por la cual se escoge esta herramienta y no otra, es debido a practicidad y metodología de ejecución, además AZA la utiliza para analizar problemas ocurridos en planta, los criterios son dos: 1) Estudiar mínimo **3M**; 2) Analizar mínimo tres Por qué. Finalmente, se establece que el último Por qué es equivalente a la Causa – Raíz del problema.

Mediante Ishikawa se puede relacionar un efecto con una causa, analizando distintos puntos de vista (**6M: Medio Ambiente; Mano de Obra; Método de Trabajo; Medición; Maquinaria**). En primer lugar, se identifican las categorías en las cuales el problema está presente. Luego, se realiza una lluvia de ideas, que posteriormente, se clasifican dentro de las **M's** ya seleccionadas. Clasificadas las Causas Directas, se realiza un análisis cualitativo de estas dejando aquellas que tengan más peso/importancia en el proceso. Esta parte, se realiza en conjunto de expertos como el Jefe de Mantenimiento y Programador de Mantenimiento. Finalmente, escogidas las Causas Directas con mayor efecto se aplica la técnica **Por qué – Por qué**, y así es como se obtiene la causa raíz del efecto en estudio.



Ilustración 35: Secuencia de actividades para obtención de Causas – Directas.

Fuente: Elaboración propia basada en plan de trabajo.

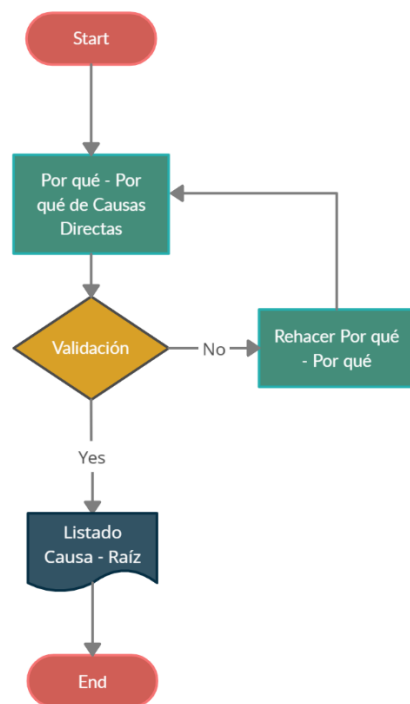


Ilustración 36: Secuencia de actividades para obtención de Causa - Raíz.

Fuente: Elaboración propia basada en plan de trabajo.

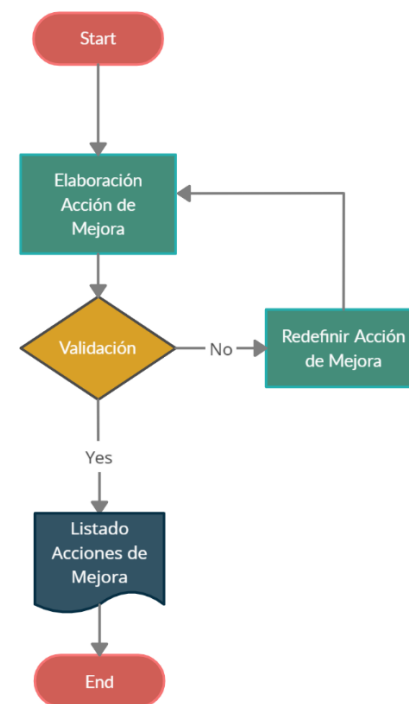


Ilustración 37: Secuencia de actividades para obtención de Acciones de Mejora.

Fuente: Elaboración propia basada en plan de trabajo.

A modo de generar un orden y mejorar la comprensión del trabajo, a continuación, se presenta solo un diagrama de Ishikawa, particularmente el correspondiente al desperdicio #3: “Repuestos no siempre están disponibles y otros están obsoletos”. El resto de los diagramas son presentados en la sección **Anexo**.

La metodología es la siguiente: se escogen mínimo 3M y máximo 6M para cada caso, los parámetros a evaluar son aquellos que más se adaptan y tienen influencia sobre el caso de estudio.



Ilustración 38: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #3 para encontrar origen de por qué los repuestos tienen baja disponibilidad o se encuentran obsoletos.

Fuente: Elaboración propia, basada en las 7 herramientas de la Calidad.

Es necesario mencionar que una muy buena herramienta de análisis también podría haber sido utilizada. Es el caso de la técnica **Comparación de Pares**. La explicación a esto es que dicha herramienta requiere un trabajo profundo de comparación entre las distintas Causas Directas, lo que conlleva a una utilización de tiempo que se escapa de lo contemplado para este trabajo.

9.1.2. Por qué – Por qué de Desperdicios

Como se dijo anticipadamente, esta herramienta se utilizará para obtener información respecto a por qué ocurren cada una de las Causas Directas obtenidas luego del filtro realizado junto a Jefatura de Mantenimiento. Se realiza un máximo de cuatro **Por qué's** y el último corresponde a la **Causa – raíz**. A continuación, se muestra la información obtenida al aplicar esta herramienta. Por motivos de tamaño y extensión, se seleccionan los primeros tres desperdicios #3; #5; #6 a modo de



presentar los resultados de la metodología aplicada. Lo mismo se hace para la sección siguiente, de esta manera, es posible mantener la coherencia de la información.

Tabla 10: Resultados obtenidos al aplicar técnicas de Análisis Ishikawa y Por qué - Por qué en desperdicio #3.

#ID	Desperdicio LM	Causa Directa	Por qué - Por qué
3	Repuestos no siempre están disponibles y otros están obsoletos	Falta capacitación	Mecánicos tienen bajas competencias para usar SAP
			No se les ha enseñado a usar SAP
			No hay persona a cargo de capacitación SAP
		Plan de trabajo inadecuado	Actividades no responden al problema existente
			Falta de evaluación del plan existente
			Objetivos no coherentes con necesidades del proceso.
		Bajo control de cumplimiento	No hay medición de repuestos entregados y no entregados
			No se ha definido como actividad prioritaria
			No hay plan de control de actividades

Fuente: Elaboración Propia, basada en resultados obtenidos luego de reunión con jefatura.

Como se puede observar para cada desperdicio se seleccionan tres **Causas Directas**. Luego, a cada una de ellas se le aplica la herramienta ya mencionada, hasta así llegar a la **Causa – Raíz** del desperdicio. Esta Causa, permite avanzar al siguiente paso: propuesta de **Acción de Mejora** para dar solución a la problemática existente. Antes de seguir con el último paso de este objetivo se lleva a cabo un proceso de validación de la información obtenida.

9.1.3. Validación de información

Esta subsección tiene la finalidad de validar la información obtenida previamente y para hacer esto existen varias maneras. Es común que en esta etapa del proyecto surjan dudas de cómo generar una validación coherente y práctica al proceso de realizado para aprobar los desperdicios encontrados. Es posible que en varios trabajos se utilicen algunos indicadores como, por ejemplo, tiempo, disponibilidad, cantidad de personas, entre otros. Sin embargo, debido a la ausencia de indicadores



respecto a los desperdicios encontrados y, además, que gran parte de este trabajo es cualitativo, los métodos de validación son los indicados como sigue:

- Entrevistas con personal responsable del problema: Jefatura de Mantenimiento, Programador de Mantenimiento, Mecánicos, Encargado de Bodega.
- Inspección visual del problema por un determinado tiempo.
- Inspección visual y de funcionamiento en Sistemas de Gestión donde se presentan los problemas.

Con esto dicho, es posible continuar con la muestra de información obtenida respecto al análisis de **Causa – Raíz** realizado previamente.

Tabla 11: Información obtenida y validada a partir de Causa – Raíz. Se adhieren los resultados de Acciones de Mejora originadas del desperdicio #3.

#ID	Causa - Raíz	Validación	Acción de Mejora
3	No hay persona a cargo de capacitación SAP	Se observa en terreno que mecánico no utiliza SAP para solicitar repuestos y va directo a bodega	Plan de Capacitación de realización de Orden de Mantenimiento a mecánicos del Horno Eléctrico
	Objetivos no coherentes con necesidades del proceso	Se observa que una baja disponibilidad de repuestos aumenta el tiempo de mantenimiento	Crear plan de necesidades y objetivos de Mantenimiento respecto a disponibilidad de repuestos
	No hay plan de control de actividades	Se comprueba mediante entrevista con bodeguero que sólo existen indicadores anuales respecto a entrada y salida de repuestos y que el problema radica en la elaboración de Orden de Mantenimiento	Crear plan de control de realización de Orden de Mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia, basada en inspecciones en terreno y reuniones con mecánicos y jefatura.

Realizado el análisis causal de desperdicios y, junto a la obtención de ideas (Acciones) de mejora se da por finalizado el puente de unión entre **Objetivo 3 y Objetivo 4**. En efecto, es posible comenzar con el **Objetivo 4: Aplicar Plan Piloto para el mantenimiento del equipo crítico mediante la implementación de Metodología Lean Maintenance**.



Luego de la validación de las **Causas – Raíz** se obtienen un total de 21 **Acciones de Mejora** realizables al Proceso de Mantenimiento del Horno Eléctrico. Para un mejor entendimiento, las **Acciones de Mejora** se clasifican en tres categorías que representan el orden de realización. Las categorías son:

- I. Plan de Necesidades y Objetivos:** Aquellas acciones que requieren redefinir o la creación de objetivos y necesidades del mantenimiento. Es la primera etapa para realizar.
- II. Plan de Acción:** Aquellas acciones que requieren instalaciones, implementaciones, elaboraciones de planes de trabajo, capacitaciones, contratar o asignar personal a una actividad. Es la segunda etapa para realizar.
- III. Plan de Control:** Aquellas acciones que requieren planes de control, medición, planes de comunicación, reuniones y administración de activos. Última etapa para realizar.

Posteriormente, luego de la categorización de las ideas se realiza una priorización de cada una de ellas basada en el método de Gestión del Cambio.

Fuente: Kotter John (1995) Liderando el Cambio. Recuperado de <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-gestion-del-cambio.html>

Se evalúan los siguientes criterios, uniendo el método anterior y los criterios importantes para Aza:

- **Resistencia al Cambio:** Se refiere al impacto que genera la acción en el comportamiento de las personas y sistemas.
- **Tiempo:** Se refiere al impacto que genera la acción en términos del recurso tiempo necesario para su ejecución.
- **Costo monetario:** Se refiere al impacto que genera la acción en términos del recurso dinero necesario para su ejecución.

Se define, entonces, una escala de 1 a 5, donde 1 es el menor impacto y 5 es el más alto. Finalmente, se obtiene el indicador de **Esfuerzo** que permite discriminar cuánto costaría realizar cada



acción. Para obtener el indicador mencionado, se realiza el producto de los tres parámetros arriba mencionados.

$$\text{Esfuerzo} = (\text{Resistencia al Cambio}) \times (\text{Tiempo}) \times (\text{Costo Monetario}) \quad (8)$$

Como paso a seguir, se definen 3 escalas de priorización. **Escala I** de 1 a 10; **Escala II** de 11 a 20; **Escala III** de 21 a 30, donde el rango corresponde al valor del **Esfuerzo**. Esta división de las acciones tiene la finalidad de planificar y estructurar la propuesta de trabajo que se creará en la siguiente sección.

10. Estrategia de Implementación Plan Lean Maintenance del Mantenimiento del Horno Eléctrico

Como se mencionó anteriormente, esta sección dará origen al Plan Piloto de implementación para abordar los desperdicios encontrados a lo largo de este trabajo. Para obtener el resultado final, se plantea la siguiente estrategia de abordamiento.

En primer lugar, se realiza la división de la propuesta en tres partes, a cada una se le aplicará la herramienta **5W2H** para obtener toda la información correspondiente. La primera, **Etapas 1: Categorización y clasificación de Acciones de Mejora**. Respondiendo de tal forma, la pregunta ¿Qué se hará?; La segunda, **Etapas 2: Construcción del Plan de Acciones de Mejora**. Abarcando lo que es secuencia de pasos y recursos necesarios, lo que da respuesta principalmente a la pregunta ¿Cómo se hará?; La tercera, **Etapas 3: Control del Plan de Acciones de Mejora**. Dicha etapa, contendrá actividades de control para llevar un monitoreo de la ejecución del Plan.

10.1. Etapa 1: Categorización y Clasificación de Acciones de Mejora

A continuación, se dan a conocer los listados de Acciones de Mejora obtenidos al clasificar las Ideas según esfuerzo. Se aprecian las tres escalas, cada una con su rango definido. Además, cada acción se encuentra identificada y con el esfuerzo que requiere su implementación.



Tabla 12: Listado de Acciones de Mejora distribuidas según las 3 escalas de esfuerzo, I, II y III.

# ID	Escala de Esfuerzo					
	1 a 10		11 a 20		21 a 30	
		Esfuerzo		Esfuerzo		Esfuerzo
1	Crear plan de necesidades y objetivos de Mantenimiento respecto a disponibilidad de repuestos	4	Instalación de Centros de Acopio (corto alcance) para herramientas de sencilla manipulación	12	Plan de Capacitación de realización de Orden de Mantenimiento a mecánicos del Horno Eléctrico	30
2	Crear plan de control de realización de Orden de Mantenimiento	8	Plan de Administración de Herramientas; Creación de Inventarios	12	Implementar programa 5s en H.E.	24
3	Plan de medición para el control y registro de herramientas	4	Asignar/Contratar temporalmente a persona para que actualice GPR	12	Asignar/Contratar temporalmente a persona para que realice capacitación SAP	30
4	Redefinir objetivos de Mantenimiento respecto a GPR e incorporar a Plan de Trabajo	4	Plan de Capacitación a personal del Horno Eléctrico para actualizar GPR	12		
5	Redefinir objetivos de Mantenimiento respecto a planos e incorporar a Plan de Trabajo	4	Asignar/Contratar temporalmente a persona para que actualice planos	12		
6	Definir tiempos y espacios para generar comunicación de necesidades de mantenedores	6	Elaborar un Plan de Comunicación entre Suministros y Mantenimiento	12		
7	Definir tiempos y espacios para generar comunicación de necesidades de mantenedores	6	Establecer un indicador que relacione objetivos de Suministros y Mantenimiento	12		
8	Redefinir objetivos de Mantenimiento e incorporar a Plan de Trabajo	4				
9	Crear indicador que permita visualizar la relación entre ordenes realizadas y ordenes notificadas.	6				
10	Crear Plan de Objetivos de Parada de Mantenimiento y agregar a Plan de Trabajo	4				
11	Elaborar Plan de Trabajo para Paradas de Mantenimiento anuales	8				

Fuente: Elaboración Propia, en base a la priorización de Acciones de Mejora.



Como se puede apreciar, existe un total de 21 **Acciones de Mejora**, las cuales, luego de la discriminación, se dividen en 3 listados. Se identifican 11 Acciones en la **Escala I**, 7 en la **Escala II**, y, 3 en la **Escala III**.

Hecho lo anterior y junto a la clasificación de las Acciones en base a su categoría se puede dar origen a la construcción del Plan.

10.2. Etapa 2: Construcción del Plan de Acciones de Mejora

En continuación, se procede a la construcción del plan, para ello, se reúne la información obtenida y se estructura de tal manera que se comenzará por aquellas acciones que pertenecen a la categoría **Necesidades y Objetivos**, posteriormente, se realizarán todas aquellas acciones pertenecientes a categoría **Plan de Acción**, y, finalmente, aquellas que se encuentran en la categoría **Plan de Control**.

El orden o secuencia de pasos decidido es debido a la robustez del Plan. La estrategia planteada permite primero identificar y visualizar las necesidades de mantenimiento y sus objetivos. Luego en base a esto, será posible elaborar una **Acción de Mejora** coherente y práctica para cumplir el objetivo previamente establecido.

Por último, se crea el plan de control con el motivo de controlar y medir las actividades planteadas en la sección intermedia y seguir el cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente.

La descripción de las etapas y sus plazos correspondientes son los siguientes:

- **Etapa 2.2.:** Comienza al inicio del plan y tiene una duración de 30 días.
- **Etapa 2.3.:** Comienza al término de la primera etapa y tiene una duración de 30 días.
- **Etapa 3.3.:** Comienza al término de la segunda etapa y tiene una duración de 30 días.

En seguida se muestran los resultados de la primera etapa del Plan de Acción (**Etapa 2.2.**):



Tabla 13: Resultados obtenidos luego de aplicar herramienta 5W2H a primera etapa del Plan de Mejora, específicamente a actividades dentro de la categoría “Necesidades y Objetivos”.

Etapa 2.1.: Necesidades y Objetivos	5W2H Propuesta de Acciones de Mejora						
	# ID	Qué (Acción de Mejora)	Por qué ¿Cuál es el objetivo?	Cómo	Recursos	Dónde	Quién
	1	Crear plan de necesidades y objetivos de Mantenimiento respecto a disponibilidad de repuestos	Los repuestos deben estar disponibles para mantener o mejorar productividad	Mediante reunión con Jefe y Programador de Mantenimiento y Mecánico lider H.E.	Pizarra, Computador	Acería	Jefe y Programador de Mantenimiento; Mecánico lider H.E.; Ayudante
	2	Redefinir objetivos de Mantenimiento respecto a GPR e incorporar a Plan de Trabajo	GPR desactualizado puede generar largos tiempos de detención y costos no previstos en mantenimiento	Mediante reunión con Jefe y Programador de Mantenimiento y Mecánico lider H.E.	Pizarra, Computador	Acería	Jefe y Programador de Mantenimiento; Mecánico lider H.E.; Ayudante
	3	Redefinir objetivos de Mantenimiento respecto a planos e incorporar a Plan de Trabajo	Planos desactualizados retardan actividades y aumentan el error al ejecutar tareas de mantenimiento	Mediante reunión con Jefe y Programador de Mantenimiento y Mecánico lider H.E.	Pizarra, Computador	Acería	Jefe y Programador de Mantenimiento; Mecánico lider H.E.; Ayudante
	4	Redefinir objetivos de Mantenimiento respecto al uso de SAP e incorporar a Plan de Trabajo	Un adecuado uso de SAP permitirá realizar Ing. en Mantenimiento, logrando prevenir y predecir fallas	Mediante reunión con Jefe y Programador de Mantenimiento y Mecánico lider H.E.	Pizarra, Computador	Acería	Jefe y Programador de Mantenimiento; Mecánico lider H.E.; Ayudante
	5	Crear indicador que permita visualizar la relación entre ordenes realizadas y órdenes notificadas.	Una adecuada notificación permitirá realizar Ing. en Mantenimiento al tener control de repuestos, actividades y costos	Haciendo uso de SAP y STRATEC. Creando un indicador en STRATEC y contadores en SAP	Software SAP y STRATEC; Computador	Acería	Encargado de SAP y STRATEC; Jefe de Mantenimiento; Ayudante
	6	Crear Plan de Objetivos de Parada de Mantenimiento y agregar a Plan de Trabajo	Un adecuado Plan de Objetivos permitirá que las actividades realizadas se puedan estructurar y controlar de mejor manera	Mediante reunión con Jefe y Programador de Mantenimiento y Mecánico lider H.E.	Pizarra, Computador	Acería	Jefe y Programador de Mantenimiento; Mecánico lider H.E.; Ayudante
	7	Establecer un indicador que relacione objetivos de Suministros y Mantenimiento	Evitar que mantenedor reciba repuestos con especificaciones técnicas incoherentes a solicitud realizada	Mediante uso de STRATEC. Creando indicador en software	Software STRATEC; Computador	Acería	Encargado de STRATEC; Jefe de Mantenimiento; Ayudante

Fuente: Elaboración Propia, basada en la herramienta 5W2H de Mejora Continua e información obtenida luego de reuniones con Jefatura.

Se hace necesario mencionar que las actividades observadas son prerequisite de la etapa siguiente, “**Planes de Acción**”. Algo importante que mencionar es que durante esta primera parte de la propuesta no existen costos, solo consta de reuniones de planificación y programación. Así, será posible establecer todas las metas requeridas y los caminos a seguir dentro de la organización de la empresa. Planificado todo y con objetivos definidos, se puede seguir con la siguiente etapa de la propuesta, la cual se muestra a continuación:



Tabla 14: Resultados obtenidos luego de aplicar herramienta 5W2H a segunda etapa del Plan de Mejora, específicamente a actividades dentro de la categoría “Plan de Acciones”.

Etapa 2.2.: Planes de Acción	5W2H Propuesta de Acciones de Mejora						
	# ID	Qué (Acción de Mejora)	Por qué ¿Cuál es el objetivo?	Cómo	Recursos	Dónde	Quién
	8	Plan de Capacitación de realización de Orden de Mantenimiento a mecánicos del Horno Eléctrico	Tener un control y poder analizar la información respecto a repuestos, costos, actividades, personal, efectividad del proceso	Mediante capacitación realizada por interno/externo al mecánico respecto al uso de SAP: Elaboración de orden, Solicitud de Repuestos, Notificación y cierre	Software SAP; Computador	Acería	Personal interno o externo; Mecánico de H.E.; Ayudante
	9	Asignar/Contratar temporalmente a persona para que realice capacitación SAP	Enseñar a mecánicos el uso y los objetivos de SAP	Mediante contratación de externo o asignación de personal interno para que realice dicha tarea	Software SAP; Computador	Acería	Jefe y Programador de Mantenimiento; Mecánico líder H.E.; Ayudante
	10	Instalación de Centros de Acopio (corto alcance) para herramientas de sencilla manipulación	Para que mecánicos tengan herramientas disponibles en caso de emergencia y para acciones rápidas de mantenimiento	Mediante instalación de cajas de herramientas cercanas a puntos de falla recurrentes, considerando límites de seguridad	Herramientas; Cajas metálicas 1000x1000x500 [mm]	Nivel 6000; Patio Horno	Jefe y Programador de Mantenimiento; Mecánico líder H.E.; Ayudante
	11	Plan de Administración de Herramientas; Creación de Inventarios	Tener un control y registro de herramientas existentes, así es posible tener claridad de que es lo que se necesita, que sobra y estado de cada una	Mediante un levantamiento de herramientas existentes; Creación de inventarios; levantamiento de necesidades de mecánicos	Documentos para inventarios; Computador	Talleres H.E.; Patio Horno	Mecánico Líder H.E. y ayudante
	12	Asignar/Contratar temporalmente a persona para que actualice GPR	Actualizar GPR para realizar trabajos que lo requieran, solicitud de repuestos, información técnica, mejoras	Mediante contratación de externo o asignación de personal interno para que realice dicha tarea	Computador; Excel	Acería	Personal interno o externo; Mecánico de H.E.; Ayudante
	13	Plan de Capacitación a personal del Horno Eléctrico para actualizar GPR	Mantener actualización de GPR	Mediante capacitación realizada por personal interno respecto a uso de GPR, cómo completar información, cómo actualizar	Computador, Excel	Acería	Personal interno; Mecánico de H.E.; Ayudante
	14	Asignar/Contratar temporalmente a persona para que actualice planos	Actualizar Planos para realizar trabajos que los requieran, Solicitud de repuestos, información técnica, mejoras	Mediante contratación de externo o asignación de personal interno para que realice dicha tarea	Computador, Autocad	Acería	Personal interno o externo; Mecánico de H.E.; Ayudante
	15	Implementar programa 5s en H.E.	Generar estándar de orden, clasificación y organización de recursos utilizados para H.E.	Mediante la aplicación del programa 5s en Patio H.E: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke.	Atriles; Pintura demarcadora; Letreros; Soporte Letreros	Patio H.E.	Mecánico H.E.; Ayudante
16	Elaborar Plan de Trabajo para Paradas de Mantenimiento anuales	Estandarizar documentación para información de Parada de Mantenimiento: Recursos, Personal, Costos, Actividades, Duración	Mediante documentación elaborada respecto a los objetivos definidos	Computador; excel; Word	Acería	Jefe y Programador de Mantenimiento; Mecánico líder H.E.; Ayudante	
17	Elaborar un Plan de Comunicación entre Suministros y Mantenimiento	Generar canal de comunicación eficiente entre Suministros y Mantenimiento para que necesidades de ambos departamentos estén relacionadas	Mediante documentación elaborada para controlar que la comunicación ha sido realizada y los plazos se cumplan	Software SAP; Computador	Acería	Jefe y Programador de Mantenimiento; Encargada de Contratos; Mecánico líder H.E.; Ayudante	

Fuente: Elaboración Propia, basada en la herramienta 5W2H de Mejora Continua e información obtenida luego de reuniones con Jefatura.

Esta etapa se diferencia de la anterior ya que ahora si existen costos asociados a las actividades. Los cuáles serán descritos en el próximo y último objetivo. Además, las tareas que aquí se observan son totalmente de creación y ejecución. Se propone también un plazo de 30 días para la creación de Planes y su lanzamiento. Esto, porque luego de transcurrido el tiempo de lanzamiento, debe comenzar la tercera fase de la propuesta, es decir, todas aquellas actividades de control.

10.3. Etapa 3: Elaboración de Planes de Control de Acciones de Mejora

Llegada la última etapa, se presentan los resultados obtenidos de los **Planes de Control** elaborados para tener un seguimiento de las acciones realizadas en **etapa 2** y, además, ver el cumplimiento de los objetivos propuestos en la **Etapa 1**:



Tabla 15: Resultados obtenidos luego de aplicar herramienta 5W2H a segunda etapa del Plan de Mejora, específicamente a actividades dentro de la categoría “Plan de Control”.

Etapa 2.3.: Planes de Control	5W2H Propuesta de Acciones de Mejora						
	# ID	Qué (Acción de Mejora)	Por qué ¿Cuál es el objetivo?	Cómo	Recursos	Dónde	Quién
	19	Crear plan de control de realización de Orden de Mantenimiento	Controlar el cumplimiento de notificación y cierre de ordenes de mantenimiento	Mediante documentación y evaluación periodica de ordenes de mantenimiento	Software SAP; Computador	Acería	Jefe y Programador de Mantenimiento; Mecánico líder H.E.; Ayudante
	20	Plan de medición para el control y registro de herramientas	Controlar el cumplimiento de registro de herramientas solicitadas	Mediante documentación y evaluación periódica de inventario de herramientas	Computador	Acería	Jefe y Programador de Mantenimiento; Mecánico líder H.E.; Ayudante
	21	Definir tiempos y espacios para generar comunicación de necesidades de mantenedores	Estar consciente de necesidades de mantenedores para poder satisfacerlas y suministrar lo requerido	Mediante reuniones periodicas	Computador; pizarra	Acería	Jefe y Programador de Mantenimiento; Mecánico líder H.E.; Ayudante

Fuente: Elaboración Propia, basada en la herramienta 5W2H de Mejora Continua e información obtenida luego de reuniones con Jefatura.

Como etapa final de esta Propuesta de Mejora, se propone aplicar, transcurrido los 30 días anteriores, el **Plan de Control** para llevar un registro y ver si es necesario realizar modificaciones al plan actual y/o aplicar mejoras. En sección **Anexo** se presenta una plantilla de control. Este análisis es muy importante y no postergable, ya que todo plan necesita ser evaluado luego de ser lanzado y ver cuáles son los puntos débiles para fortalecerlos. De esta manera, se puede aplicar la metodología de calidad, “*Circulo de Deming*”.

Elaborada la propuesta, ahora es necesario indicar el alcance de ella. Si volvemos al **Capítulo 4: Lean Maintenance**, particularmente a la **subsección 4.4.2. Propuesta de Hoja de Ruta de Lean Maintenance**, se puede ver que esta tiene cinco etapas, de las cuales, cuatro son desarrolladas en este proyecto. En la etapa **Pull** existe un punto llamado “*Lean Pilot Project Simulation*”, el cual es el último punto que se realiza en este Trabajo de Título, de esta manera es posible hacer la unión con los objetivos establecidos, y dar marcha a la propuesta y poder controlarla. Por otra parte, la robustez y longitud del proyecto cumple los estándares que permiten a este trabajo ser presentado. Sin embargo, las secciones futuras serán presentadas a modo de recomendación en compañía de otro proyecto que es posible y necesario realizar. Con esto, se da por finalizado el **Objetivo 4: Aplicar Plan Piloto para el mantenimiento del equipo crítico mediante la implementación de Metodología Lean Maintenance**. Y así, se da paso a la elaboración del **objetivo 5: Realizar una evaluación económica de la estrategia propuesta**.



11. Análisis Económico de Proyecto

Esta sección del proyecto expresa los costos asociados a la propuesta de mejora elaborada anteriormente. Existe un total de 21 actividades, sin embargo, solo tres tienen costos monetarios asociados a su ejecución.

11.1. Costos

La primera etapa del proyecto tiene costo nulo, ya que es solo definir las necesidades y los objetivos de la Célula de Mantenimiento. No se necesita compra de materiales o insumos, por lo tanto, su costo total asciende a \$0 pesos.

Al llegar a la segunda etapa del proyecto, donde se encuentran los planes de acción, es posible deducir que estos si necesitan recursos para ser llevados a cabo. Se hace necesaria la compra de materiales como pintura; atriles; herramientas; letreros; entre otros. A continuación, se presenta el detalle monetario para cada **Acción de Mejora** a realizar.

Tabla 16: Detalle de costos para realización de 5s en Horno Eléctrico, específicamente en sector Patio C Horno Eléctrico.

# ID	Item	Proveedor	Cantidad	Costo	Sub Total
1	Atriles D	Cotización AZA	2	\$ 300.000	\$ 600.000
2	Atriles A y F	Cotización AZA	2	\$ 200.000	\$ 400.000
3	Atriles B y C	Cotización AZA	2	\$ 500.000	\$ 1.000.000
4	Pintura	Cotización AZA	1	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000
5	Letreros	Cotización AZA	10	\$ 30.000	\$ 300.000
6	Capacho	Cotización AZA	2	\$ 300.000	\$ 600.000
				Total	\$ 4.100.000

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones realizadas por empresa contratista.

Se realiza el desglose de costos para la actividad anterior porque es la única que requiere un nivel de detalle más profundo. Respecto a las otras, no se hace necesario tal nivel de separación por materiales a comprar, ya que sólo se requiere a una persona que realice las tareas. Es decir, el principal costo es HH (Horas Hombre). Este recurso tiene un valor de \$20.000 [\$/hora] y con un total de 40 [horas] semanales el costo asciende a \$800.000 pesos mensuales.

Posteriormente, se realiza la evaluación de las otras Acciones de Mejora y se obtiene un total de \$4.620.000, se aclara que la casilla en rojo representa que aquella acción no es viable luego de una evaluación con jefatura de mantenimiento. A continuación, se indica el detalle:



Tabla 17: Detalle de costos asociados a la segunda etapa de implementación del proyecto: Planes de Acción.

# ID	Etapa	Acción de Mejora	Costo (\$)
8	Etapa 2.2.: Planes de Acción	Plan de Capacitación de realización de Orden de Mantenimiento a mecánicos del Horno Eléctrico	\$ -
9		Asignar/Contratar temporalmente a persona para que realice capacitación SAP	\$ 800.000
10		Instalación de Centros de Acopio (corto alcance) para herramientas de sencilla manipulación	
11		Plan de Administración de Herramientas; Creación de Inventarios	\$ -
12		Asignar/Contratar temporalmente a persona para que actualice GPR	\$ 800.000
13		Plan de Capacitación a personal del Horno Eléctrico para actualizar GPR	\$ -
14		Asignar/Contratar temporalmente a persona para que actualice planos	\$ -
15		Implementar programa 5s en H.E.	\$ 4.100.000
16		Elaborar Plan de Trabajo para Paradas de Mantenimiento anuales	\$ -
17		Elaborar un Plan de Comunicación entre Suministros y Mantenimiento	\$ -
			\$ 5.700.000

Fuente: Elaboración Propia, basada estudio de costos realizado con Jefatura y área de suministros de Aza.

Finalmente, la última etapa del proyecto **Planes de Control** no requiere inversiones ni gastos en materiales, ya que todo lo necesario ya se encuentra dentro de las instalaciones de la empresa. De esta manera el costo requerido asociado a las acciones asciende a \$0 pesos.

A continuación, se adjunta tabla resumen de costos por etapa del proyecto:



Tabla 18: Resumen de costo total del proyecto.

# ID	Etapa	Costo Total (\$)
1	Necesidades y Objetivos	0
2	Planes de Acción	\$ 5.700.000
3	Planes de Control	0
		\$ 5.700.000

Fuente: Elaboración Propia, basada estudio de costos realizado con Jefatura y área de suministros de Aza.



11.2. Beneficios

Elaborada la primera parte del Análisis Económico de la propuesta, ahora corresponde el desarrollo de la segunda, los beneficios económicos que se obtendrán al realizar el Plan de Mejora aquí elaborado.

Como se escribió en el inicio, el objetivo general de este trabajo es: ***“Realizar una propuesta de mejora de disponibilidad del equipo crítico mediante una disminución del tiempo de interrupciones de este en el área Acería de empresa del rubro siderúrgico”***. Es por esto por lo que, la propuesta elaborada se enfoca en el aumento de la efectividad del proceso de mantenimiento, lo que se ve reflejado en una disminución del tiempo que conllevan las distintas actividades del proceso de mantenimiento, entre estas, búsqueda de herramientas, realización de órdenes de mantenimiento, reservas de repuestos, entregas de repuestos, revisión de repuestos y notificación de actividades, entre otras.

En el contexto de acería, la cual mide su desempeño en términos del indicador Power Off, el cual, a su vez, se divide en distintas categorías de Interrupciones se encuentran dos posibles escenarios en donde se obtendrían beneficios económicos, estos son:

- 1) Beneficios por una disminución del tiempo de **“Interrupción Mecánica de H.E. por Colada”**
- 2) Beneficios por una disminución del tiempo de **“Parada de Mantenimiento Preventivo Mecánico Semanal de H.E.”**.

A continuación, se presenta el detalle de cada escenario:

11.2.1. Interrupción Mecánica de H.E. por Colada

Sabiendo que existe un Power Off Mecánico de 0,52 [*min/col*] acorde al informe de Power Off del año 2021, es posible estimar que con una reducción de tiempo de 0,03 [*min/col*] lo que es equivalente a un 11% del total de minutos, se lograría un beneficio anual de 10.800 *USD*.



Tabla 19: Detalle de reducción de tiempo de interrupción por Colada de H.E.

Interrupción Mecánica de H.E. por Colada		
Power Off Mecánico	0,52	[min/col]
Interrupciones mecánicas HE	0,27	[min/col]
Reducción de tiempo	0,03	[min/col]
Interrupciones mecánicas HE *	0,24	[min/col]
Beneficio	1,80	[USD/col]
Beneficio Diario	40,91	[USD/día]
Beneficio Mensual	900,00	[USD/mes]
Beneficio Anual	10.800,00	[USD/año]

Fuente: Elaboración propia, basada en reunión con Jefatura e informe *Power Off 2021*.

11.2.2. Mantenimiento Preventivo Semanal del H.E.

Actualmente el mantenimiento preventivo del H.E. es realizado semanalmente con una duración de 8 horas, lo que es equivalente a 480 *minutos*, la propuesta planteada, permitiría aumentar la velocidad del mantenimiento, reduciendo así, su tiempo en 10 *minutos*. Lo que equivale a un beneficio anual de 7.200 *USD*.

Tabla 20: Detalle de reducción de tiempo de Mantenimiento Preventivo Semanal H.E.

Mantenimiento Preventivo Semanal H.E.		
Duración	8,00	[hr]
Duración	480,00	[min]
Reducción	10,00	[min]
Duración nueva	470,00	[min]
Beneficio	600,00	[USD]
Beneficio Mensual	2.400,00	[USD/mes]
Beneficio Anual	7200,00	[USD/año]

Fuente: Elaboración propia, basada en reunión con Jefatura e informe *Power Off 2021*.



Con esta información es posible dar por terminado el último objetivo específico de este trabajo, **“Realizar Evaluación Económica de Propuesta”**.



12. Conclusiones Generales

El trabajo realizado presenta información que es clave para la compañía, abarcando desde la planeación del mantenimiento hasta su cumplimiento. Los distintos estudios presentados permiten visualizar la mayoría de los puntos débiles del proceso de mantenimiento.

Enfocándose principalmente en lo que es la Gestión del Mantenimiento este escrito resalta puntos que llevan mucho tiempo sin ser tratados dentro de la compañía, como el control de actividades, notificación y cierre de órdenes, solicitud de repuestos, entre otros.

En un comienzo el objetivo principal se define como **“Realizar una propuesta de mejora de disponibilidad del equipo crítico mediante una disminución del tiempo de interrupciones de este en el área Acería de empresa del rubro siderúrgico”**, lo cual será posible comprobar una vez implementada la propuesta y con el correspondiente proceso de control. Sin embargo, ya es posible visualizar que los resultados serán positivos, porque siendo muy conservador con las reducciones de tiempo de interrupción ya se visualizan ahorros de aproximadamente 30.000.000 [CLP/año].

Adicionalmente, es importante destacar que en un comienzo se pensó que la información que iba a gobernar el trabajo serían tiempos de falla, tiempos de reparación y otros indicadores de este estilo, sin embargo, durante el desarrollo fue posible identificar que una de las principales falencias es la falta de notificación de actividades y por ende la obtención de la información mencionada se vio muy compleja. En base a estos descubrimientos, es que el trabajo tomó su curso propio y se decidió, junto a jefatura de mantenimiento, por mejorar la Gestión de este en primera instancia, es decir, generar la documentación necesaria para ingresar la información correspondiente y de esta manera esta quedará siempre disponible para ser evaluada y analizada.

Por otra parte, se concluye a nivel global que la metodología utilizada, Lean Maintenance, es muy asertiva y precisa al momento de encontrar falencias crónicas dentro de un proceso, ya que, mediante el mapeo de este, estas se hacen muy visibles. En complemento, las herramientas Ishikawa y 5-why's, son de suma utilidad como paso a seguir una vez identificada la red de desperdicios, ya que permiten llegar a la profundidad de la situación identificando así la causa – raíz de la problemática existente.

Otro punto concluyente es que un análisis de criticidad siempre debería ser realizado en base a la mayor cantidad de criterios posibles, en este trabajo se utilizó Seguridad, Medio Ambiente, y Costos, sin embargo, también podría añadirse en un futuro análisis, el criterio de Calidad del Producto, lo que brindaría aún más amplitud y precisión al análisis.



Existe una métrica, conocida como OEE y que es el cuarto paso de la Hoja de Ruta Propuesta de Lean Maintenance. Este indicador no se trabajó en este proyecto, pero, sin pasarlo por alto, es muy importante que, en su continuación, si se haga, ya que brindará información clave que permitirá el seguimiento del proyecto y a la vez su rendimiento y proyección.

Un último punto que se debe mencionar es la Seguridad, ya que los componentes mecánicos fallan y seguirán fallando, pero cuando se trata de la seguridad de una persona, este simplemente no puede fallar.



13. Conclusiones Específicas

A continuación, se presentan las conclusiones específicas del trabajo realizado junto a los puntos más importantes y destacables. Las conclusiones se dan a conocer en términos de los objetivos planteados al comienzo del escrito:

- Lo expuesto en el **primer objetivo** permite concluir que, a través de un levantamiento de la información correspondiente a proceso productivo y activos de acería, se logra un profundo conocimiento de las distintas etapas del proceso de manufactura del acero proveniente de chatarra ferrosa. Junto a lo anterior, se identifica con claridad que Acería es el centro de la planta debido al proceso ocurrido en aquella área y, que disponen del equipo más importante de la fábrica, el Horno Eléctrico. Los indicadores de esta área permiten medir el comportamiento de la producción y compararlo en un nivel internacional, estos son: Tap To Tap y Productividad. Haciendo posible también, clasificar Tiempos Padrones e Interrupciones.
- En adición a lo anterior, se realizó un extenso levantamiento de la cultura de Mejora Continua, adquiriendo así, un gran entendimiento de la cultura y políticas comportamentales y organizacionales de Acería. Donde se destacan actividades como **Gemba Walk** y **Hora de Seguridad**, que generan relaciones humanas potentes entre Liderazgo, Operadores y Mantenedores, generando así, instancias de confianza en que ellos puedan informar anomalías ocurridas durante el proceso y también ideas de mejora. Por otra parte, se obtiene una profunda comprensión de los conceptos Lean Manufacturing, Mantenimiento y su Administración, y, en consecuencia, como los principios de Lean Production se pueden aplicar al Mantenimiento, dando origen a Lean Maintenance. Siendo este último, la gran **oportunidad de mejora** detectada que se ve representada en los objetivos siguientes con el uso de herramientas como **VSM** e **Ishikawa**.
- Se indica también que hubiese sido muy provechoso haber realizado una evaluación de la cultura de Mejora Continua, indicando que tan efectivas están siendo las herramientas y técnicas utilizadas para controlar y monitorear el proceso. Esto no se realizó, ya que se escapaba del foco del trabajo, sin embargo, es un punto importante para considerar para futuros trabajos.



- Con relación al **segundo objetivo**, fue posible desarrollar un estudio de criticidad muy completo e integro de los activos de Acería y de la cadena productiva llevada a cabo en la misma área. El análisis realizado permite obtener un diagnóstico del estado actual en Acería respecto a las interrupciones ocurridas en la célula Hornos. Junto a lo anterior, se realizó una evaluación de la información obtenida en el informe de Power Off y el resultado fue el esperado, el Horno Eléctrico es el equipo crítico considerando cantidad de interrupciones y además su duración. Por otra parte, se introduce el concepto de Seguridad, el cual brinda aún más peso al resultado de equipo crítico.
- Debido al análisis anterior, es posible concluir el Horno Eléctrico es el activo que más atención requiere dentro de la Acería, esto se debe a su gran potencial de generación de accidentes graves con pérdidas de tiempo, pérdidas estructurales, daños ambientales y de equipos. Asimismo, se relacionan dos estudios distintos, Activos por separado y Proceso, lo que permite contrastar la información y obtener un resultado aún más preciso, representativo y verosímil al relacionar todas las variables presentes.
- Al cerrar el **tercer objetivo**, se adquiere un acabado entendimiento del conjunto de partes que dan origen al Horno Eléctrico y como estas se relacionan entre sí, cumpliendo cada una, una función específica. Igualmente es posible entender como estos sistemas necesitan de distintas fuentes de energía para su funcionamiento, lo que ya brinda indicios de la complejidad del mantenimiento que debe ser efectuado.
- Posteriormente, mediante un levantamiento de Planes de Mantenimiento del H.E. se logró obtener la estrategia de mantenimiento empleada en el activo crítico, la cual es una combinación de tipos de mantenimiento que varían según el sistema/parte del activo. Esto, es debido a las funciones que cumple cada uno de los sistemas y su frecuencia de uso. Además, se adquiere un detallado conocimiento del funcionamiento de los Softwares de Gestión SAP, Nivel 2 y Tratamiento de Falla. Donde fue posible encontrar diversas falencias.
- La última parte de este objetivo fue fundamental, la utilización del conjunto de herramientas: 5W2H; Diagramas SIPOC; VSM; 5-Whys; Ishikawa; Las cuales permiten ampliar y mejorar la visibilidad de todas aquellas actividades que no agregan valor al proceso, producto y/o cliente. Luego, mediante un análisis profundo de esta información, se obtiene el Listado de Desperdicios que ralentiza la Gestión del Mantenimiento del H.E. Posteriormente, con la



Matriz de Impacto se discriminan estos y se obtienen los Desperdicios Críticos que brindan una visión del enfoque que se debería hacer en este trabajo. Finalmente, se obtienen las Acciones de Mejora que son el centro de la Propuesta de Mejora y con ellas se podrá fortalecer todos los puntos débiles y también, seguir mejorando las fortalezas para robustecer aún más el proceso.

- Es necesario mencionar que hubiese sido de gran apoyo para la compañía realizar un análisis FMEA al Horno Eléctrico, ya que de esa manera se podrían identificar todos los modos de falla y sus causas, obteniendo así aquellos que son más críticos para luego comenzar un plan de acción al respecto.
- En relación con el **cuarto objetivo**, se concluye que el Plan Propuesto es coherente con las necesidades actuales de la célula de Mantenimiento y que será de gran apoyo tanto al mantenedor como a Jefatura, por una parte, permite al Mantenedor tener claridad y conexión con Jefatura y a su vez, Jefatura podrá tener un correcto control de lo que hacen los mantenedores. De esta manera, será posible llevar la información en detalle y actualizada. Asimismo, se logra sintetizar y canalizar las Acciones de Mejora para que sean ejecutadas dentro de plazos correspondientes y puedan ser recibidas y realizadas de la mejor manera posible.
- La Propuesta elaborada también aporta con seguridad al proceso de Mantenimiento, ya que disminuye riesgos en acciones diarias de mantenimiento, aumentando la planificación y visualización de objetivos a cumplir. De esta manera se espera que se reduzcan en cantidad los viajes y acciones innecesarias que ponen en riesgo al mantenedor y a sus colaboradores.
- Finalmente, el **quinto objetivo** aporta información respecto al recurso económico requerido para elaborar la propuesta. Esto se hace de una manera detallada en cada acción. Así, será posible discriminar mediante criterio de costos si la Acción es viable o debe ser postergada. Esto es muy importante ya que permite contabilizar el proyecto y contrastar la urgencia y necesidad que se tiene frente a su ejecución.



14. Recomendaciones

14.1. Propuesta de RCM a Sistemas Críticos del Horno Eléctrico

La propuesta a continuación presentada, es en paralelo a la propuesta ya conocida, y no es una hoja de ruta, sino que se trata de falencias generales encontradas en el proceso de mantenimiento y, además, puntos críticos que tiene el proceso de productivo y el mantenimiento.

Esta idea de mejora nace de la **sección 5: Análisis de Criticidad Acería**, particularmente de la subsección **5.3.1. Criticidad Horno Eléctrico** en la cual se analiza cada componente del H.E. respecto al potencial que tiene al generar una falla en sus componentes. Durante este proceso de estudio de los componentes se obtuvo que los sistemas llamados **Paneles** y **Sistema de Refrigeración** tienen un **índice de severidad** igual a 600, siendo este el valor más alto existente al comparar todos los componentes del H.E.

En base a lo anteriormente mencionado se explica la oportunidad de mejora existente. El proceso productivo de AZA, particularmente Acería, es extremadamente agresivo y destructivo, donde la temperatura de fusión de la chatarra dentro del H.E. oscila entre un rango de 1500 – 1600 °C. Por otra parte, como se vio en los componentes del H.E., el acero líquido se encuentra en la Cuba, y la parte que sigue sobre la Cuba es la Carcasa o Manifold de refrigeración. Esta carcasa está compuesta de diversos componentes, pero los más importantes son los paneles. Y es justamente la parte más baja de los paneles la que está más cercana al baño de acero líquido, por lo tanto, presenta un mayor sufrimiento debido a la temperatura existente.

Durante la estadía en planta, se ha podido observar varias fallas de estos paneles y al mismo tiempo cómo la reparación de estos o la acción de cambio de panel es potencialmente riesgosa para el proceso y los operadores, generando incluso accidentes en la historia de la planta. Junto a esto, se observa también que la gestión de este sistema presenta algunas falencias, por ejemplo: el inventario no está actualizado, existe una desorganización respecto al lugar donde se encuentra cada uno, y tampoco hay una clasificación efectiva de estos, y otro factor muy importante, es que a veces el stock de estos es muy pequeño.

En este contexto, se visualiza una idea de mejora la cual es presentada como una propuesta de **RCM** a la Carcasa. En adición a lo mencionado, esta segunda propuesta se une a la primera en el mismo contexto de Lean Maintenance, ya que este utiliza técnicas **RCM** para abordar su metodología. Entonces, dicho lo anterior y manteniendo la misma línea del trabajo, se propone realizar un programa **RCM** para el equipo llamado Carcasa, la cual cumple la función de extraer calor del H.E. y mantener



la temperatura de funcionamiento estable, conservando la seguridad de operadores, estructura y activos. Los Paneles tienen cuatro modos de falla, estos pueden ser: Rebote, Arco Eléctrico, Shock Térmico. Cada uno de ellos se distingue por la forma en que sucede la interrupción y como afecta al activo. Dicho esto, se deja la recomendación planteada.

14.2. Mejora de Gatillos de Tratamiento de Falla

Se ha comprobado que existen fallas recurrentes dentro del proceso que no son tratadas con la urgencia que deberían. Los Gatillos existente son aquellos que dicen que un Tratamiento de Falla se ejecutará solo cuando:

- Interrupción sea igual o mayor a 40 minutos.
- Cuando ocurren accidentes con Pérdida de Tiempo.
- Cuando existe una pérdida metálica mayor a 3 toneladas.
- Cuando existe ruido en patio de chatarra mayor a 65 decibeles.
- Cuando ocurre ignición dentro de nave Acería.

Ante esto, se recomienda que aquellas fallas/interrupciones que ocurran más de 2 veces dentro de un periodo de 7 días sean tratadas inmediatamente por este medio. De esta manera, sería posible agendar reparaciones de ser necesarias, cambio de equipos o alguna acción para solucionar la situación y evitar detenciones del proceso, daños en personas y equipos.

14.3. Matriz de Habilidades para personal de Horno Eléctrico

Se recomienda realizar un levantamiento de actividades de mantenimiento críticas, por ejemplo: cambio de Paneles en proceso. De esta manera sería posible saber las actividades críticas y luego, tener conocimiento de las habilidades relacionadas a la actividad. Con esta información, es posible realizar un plan de capacitación para personal de H.E. y de esta manera, todos saben cómo actuar frente a situaciones críticas y de alto riesgo. Previnendo así accidentes, daños en personas y equipos, y detención del proceso no planificada.



14.4. Plan de entrenamiento para Actividades Críticas

Una vez realizada la Matriz de Habilidades del punto anterior, se recomienda realizar un programa de capacitación/entrenamiento a todo el personal del H.E. Para ello, se dispone de cuatro mecánicos con gran experiencia en estas actividades, como lo son Isaac Arias, Dagoberto Martínez, Antonio de Lucca y Rodrigo Torres. Mecánicos con vasta cantidad de vivencias, reparaciones, paradas de planta y manejo de personas. Esto abre una oportunidad de mejora sumamente importante y aprovechable por aquellos de menos experiencia en dichas tareas y situaciones. Asimismo, este plan de entrenamiento puede realizarse mediante rotaciones de 3 meses por etapa. Donde cada etapa correspondería a una pasantía bajo el liderazgo de cada uno de los mecánicos mencionados anteriormente.



15. Referencias

- [1] Levitt, J. (2008). Lean maintenance. Industrial Press Inc.
- [2] Smith, R., & Hawkins, B. (2004). Lean maintenance: reduce costs, improve quality, and increase market share. Elsevier.
- [3] Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). The machine that changed the world: The story of lean production—Toyota's secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry. Simon and Schuster.
- [4] Graz Technische Universität. (2017-2018). *Lecture Notes Quality Management*.
- [5] Abdullah, F. M. (2003). Lean manufacturing tools and techniques in the process industry with a focus on steel (Doctoral dissertation, University of Pittsburgh).
- [6] Fundamentos De Mejora Continua (2020). *Capítulo 4: Procesos y Capítulo 5: Pensamiento Lean*.
- [7] Mostafa, S., Dumrak, J., & Soltan, H. (2015). Lean maintenance roadmap. *Procedia Manufacturing*, 2, 434-444.
- [8] Deac, V., Cârstea, G., Bâgu, C., & Pârvu, F. (2010). The modern approach to industrial maintenance management. *Informatica Economică*, 14(2), 133.
- [9] Gómez Fernández, J. F., & Crespo Márquez, A. (2012). Maintenance management in network utilities: framework and practical implementation.
- [10] Amendola, L. (2003). Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento. Departamento de Proyectos de Ingeniería Universidad Politécnica de Valencia.
- [11] Sowmya, K., & Chetan, N. (2016). A review on effective utilization of resources using overall equipment effectiveness by reducing six big losses. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 2(1), 2394-4099.
- [12] Almeanazel, O. T. R. (2010). Total productive maintenance review and overall equipment effectiveness measurement. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 4(4).
- [13] Paredes Rodríguez, F. (2005). Lean Maintenance “El nuevo enfoque para optimizar el mantenimiento”.
- [14] Okpala, C. C. (2014). Tackling muda—the inherent wastes in manufacturing processes. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 5(IV), 11.



- [15] CHARRAY, C. (2000). Mantenimiento Predictivo: una técnica que reduce o elimina averías inesperadas. *DYNA*, 75(1), 28-34.
- [16] Olarte, W., Botero, M., & Cañón, B. (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. *Scientia et technica*, 2(45), 223-226.
- [17] Pistarelli Alejandro J. (2010). *Manual de Mantenimiento Ingeniería, Gestión y Organización*.
- [18] Fumagalli, L., Macchi, M., Colace, C., Rondi, M., & Alfieri, A. (2016). A Smart Maintenance tool for a safe Electric Arc Furnace. *IFAC-PapersOnLine*, 49(31), 19-24.
- [19] Gadzik, B. (2009). INTRODUCTION OF TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE IN STEELWORKS PLANTS. *Metalurgija*, 48(2).
- [20] Liliana, L. (2016, June). A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 161, No. 1, p. 012099). IOP Publishing.
- [21] Muhammad, S. (2015). Quality improvement of fan manufacturing industry by using basic seven tools of quality: A case study. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 5(4), 30-35.
- [22] Jhon Moubray (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*.
- [23] Moore, R., & Rath, R. (1999). La combinación del TPM y del RCM. Estudio de un caso práctico. *Portland, Oregón*.
- [24] Guariente, P., Antonioli, I., Ferreira, L. P., Pereira, T., & Silva, F. J. G. (2017). Implementing autonomous maintenance in an automotive components manufacturer. *Procedia Manufacturing*, 13, 1128-1134.
- [25] Aceros AZA (2020). *Historial de Interrupciones Power Off Acería mayo 2018 – mayo 2020*.
- [26] Duran, O., Capaldo, A., & Duran Acevedo, P. A. (2017). Lean maintenance applied to improve maintenance efficiency in thermoelectric power plants. *Energies*, 10(10), 1653.
- [27] Betancourt, D. F. (16 de agosto de 2016). *Diagrama de Causa y efecto como herramienta de calidad*. Recuperado el 17 de marzo de 2021, de Ingenio Empresa: www.ingenioempresa.com/diagrama-causa-efecto.
- [27] Betancourt, D. F. (18 de abril de 2018). *Los 5 Por qué: Análisis de causa raíz basado en preguntas*. Recuperado el 17 de marzo de 2021, de Ingenio Empresa: www.ingenioempresa.com/los-5-por-que.



[28] Betancourt, D. F. (04 de agosto de 2017). *Diagrama SIPOC: Qué es, para qué sirve y cómo se hace*. Recuperado el 17 de marzo de 2021, de Ingenio Empresa: www.ingenioempresa.com/diagrama-sipoc.

[29] Betancourt, D. F. (28 de mayo de 2018). *5W2H para la planificación: ¿Qué es y cómo se hace?*. Recuperado el 17 de marzo de 2021, de Ingenio Empresa: www.ingenioempresa.com/5w2h.

[30] Betancourt, D. F. (02 de agosto de 2018). *Ciclo de Deming (PDCA): Qué es y cómo logra la mejora continua*. Recuperado el 17 de marzo de 2021, de Ingenio Empresa: www.ingenioempresa.com/ciclo-pdca.



16. Anexo

Tabla 21: Listado de Equipos y Sistemas primarios y secundarios, junto a la función que cumple cada uno de ellos.

N°	Equipos y Sistemas Primarios	Equipos Secundarios	Función(es) Equipo/Sistema Primario
1	Cuba	1.1. Estructura 1.2. Refractario 1.3. Sistema EBT	- Recibir chatarra en proceso de carga. - Almacenar acero líquido a alta temperatura mediante Refractario. - Vaciar acero líquido mediante Sistema EBT.
2	Carcasa	2.1. Sistema de Refrigeración 2.2. Puerta Escoria 2.3. Sensores PT100	- Mantener temperatura de fusión en el rango óptimo de funcionamiento mediante Sistema de Refrigeración y Sensores (monitoreo continuo). - Botar desecho de escoria por Puerta Escoria. - Mantener temperatura de gases en rango óptimo de funcionamiento.
3	Bóveda	3.1. Anillo Externo 3.2. Alimentación/Retorno agua	Sellar H.E. mediante Bóveda.



		3.3. Estructura 3.4. Ducto Refrigerado 3.5. Delta Refractorio	- Refrigerar H.E. mediante Sistema de Refrigeración. - Liberar gases de combustión. - Sujetar electrodos mediante Delta Refractorio. - Conectar electrodos con interior de H.E.
4	Superestructura	4.1. Conjunto de rodillos guía 4.2. Conjunto Elevación bóveda 4.3. Conjunto Giro de Torre	- Movilizar Bóveda para carga y descarga de chatarra de H.E. - Movilizar estructura para montaje y desmontaje de electrodos.
5	Columna y Brazos Porta Electrodo	5.1. Columnas 5.2. Fijación/Aislamiento de Brazos /Columnas 5.3. Brazos Conductores	- Sujetar electrodos mediante mordazas. - Soportar esfuerzos debido al peso de los electrodos.
6	Sistema de Basculamiento	6.1. Estructura 6.2. Accionamiento Basculamiento	Bascular H.E. para que la totalidad del acero líquido sea vaciado.
7	Sala Hidráulica	7.1. Estanque 7.2. Bombas Principales 7.3. Filtro e IDC 7.4. Bloque de Distribución	Brindar energía hidráulica necesaria para el funcionamiento de todos los equipos que utilizan aceite como fluido de trabajo



			(movimiento de bóveda, basculación de H.E.)
8	Sistema Servo Válvula	8.1. Estanque 8.2. Bombas Principales 8.3. Filtro e IDC 8.4. Bloque de Distribución	▪ Regular subida de los electrodos en función de la corriente generada para arco eléctrico.
9	Sistema Lubricación	9.1. Conjunto Rodillos Guía 9.2. Conjunto Elevación Bóveda 9.3. Conjunto Giro Torre	▪ Disminuir fricción en todos los equipos que contienen partes móviles. ▪ Proteger estructura de partes móviles.
10	Sala Eléctrica	10.1. Sub - estación 10.2. Paneles Eléctricos	▪ Recibir energía eléctrica de la matriz Industrial. ▪ Adaptar valores de voltaje y corriente a valores requeridos para el proceso.
11	Sistema Aire	11.1. Sistema EBT	▪ Brindar aire presurizado para apertura y cierre de Gaveta de EBT.
12	Sistema Refrigeración	12.1. Sistema Refrigeración 12.2. Alimentación/Retorno Agua 12.3. Bóveda	▪ Refrigerar el H.E. para mantenerlo a una temperatura óptima de funcionamiento.



		12.4. Ducto Refrigerado 12.5. Brazos Conductores 12.6. Carcasa	▪ Proteger la seguridad de los trabajadores. ▪ Proteger los equipos y activos que están sometidos a altas temperaturas. ▪ Extraer el calor de los gases de combustión.
--	--	--	--

Fuente: GPR Horno Eléctrico brindado por Aceros Aza.



Tabla 22: Continuación del listado presentado en *Tabla 9* de desperdicios encontrados de metodología Lean Maintenance.

ID	Tipo de desperdicio LM	Descripción del Desperdicio	Impacto en el cliente	Valor (1-10)	Impacto en negocio	Monto (\$)	Valor (1-10)
9	Sobreprocesamiento: Uso deficiente de Software de Gestión (Notificación)	Baja frecuencia de uso de software SAP y baja frecuencia de notificación de actividades.	1) Información de O/M no confiable: Tiempo, recursos y actividades. 2) Dificulta predicciones de falla. (Ingeniería en Mantenimiento). 3) Dificulta el Control de Cumplimiento de Mantenimiento.	9	Aumento de Costos de Mantenimiento	No cuantificable en estado actual	8
10	Sobreprocesamiento: Uso deficiente de Software de Gestión (Orden de Trabajo)	Uso inapropiado del Software SAP: Se crean O/M Correctivas programadas por "simplificar" el proceso de creación de órdenes de MP.	1) Información no confiable para realización de control de cumplimiento. 2) Generación de Ordenes Correctivas en vez de Preventivas	7	Costos se mantienen igual	No cuantificable en estado actual	4
11	Sobreprocesamiento: Uso deficiente de Software de Gestión (Solicitud de Repuestos)	Solicitud de repuestos se realiza erróneamente al solicitar repuestos de equipos distintos en la misma orden.	1) Dificulta evaluación de costos de mantenimiento. 2) Dificulta control de repuestos por equipo.	6	Costos se mantienen igual	No cuantificable en estado actual	4
12	Sobreprocesamiento: Uso deficiente de Software de Gestión (Planificación)	Información de planes de trabajo para Parada de Mantenimiento: Actividades, materiales, personal y tiempo es enviada al programador informalmente y no posee estándar. Algunas vías son: correo, celular.	1) Programación de Tareas de paradas errónea. 2) Problemas de coordinación de recursos, actividades y/o tiempos. 3) Baja efectividad en el proceso.	6	Costos se mantienen igual	No cuantificable en estado actual	6
13	Sobreprocesamiento: Uso deficiente de Software de Gestión (Notificación)	Diagramas de Pareto de frecuencia y duración de interrupciones tienen baja confiabilidad debido al proceso de selección del tipo de interrupción en software Nivel 2: Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Externa.	1) Dificultad en análisis de costos por interrupción. 2) Dificulta convivencia entre operadores y mantenedores. 3) Predicciones no confiables.	6	Costos se mantienen igual	No cuantificable en estado actual	3
14	Movimiento (Búsqueda)	Excesivo desorden de herramientas e insumos usados repetitivamente.	1) Mayor tiempo de trabajos de Mantenimiento. 2) Disminución de Producción. 3) Riesgo de Accidentes. 4) Confusión de uso de herramientas.	5	Disminución de Utilidades	\$1.095.000	4
15	Esperas (Repuestos)	Esperas por repuestos que son solicitados con condición de compra inmediata y departamento de compras no realiza acción	1) Disminución en disponibilidad de equipos. 2) Mayor tiempo de mantenimiento.	7	Disminución de utilidades.	No cuantificable en estado actual	6

Fuente: Elaboración propia, basada el curso MEC281 Fundamentos del Mejoramiento Continuo y en etapas de proyectos DMAIC.



Ilustración 39: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #5 para encontrar origen de por qué herramientas no se encuentran disponibles para el uso.

Fuente: Elaboración propia, basada en las 7 herramientas de la Calidad.

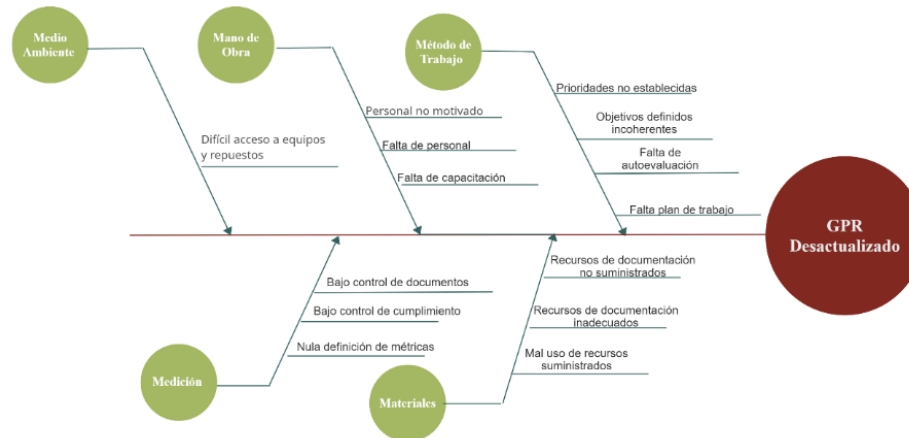


Ilustración 40: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #6 para encontrar origen de por qué GPR no está actualizado.

Fuente: Elaboración propia, basada en las 7 herramientas de la Calidad.

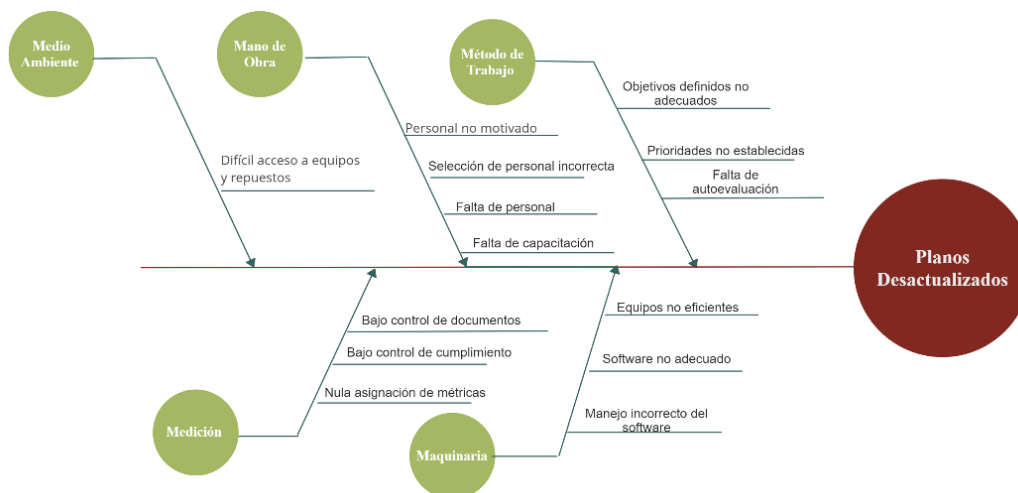


Ilustración 41: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #7 para encontrar origen de por qué los Planos no está actualizados.

Fuente: Elaboración propia, basada en las 7 herramientas de la Calidad.

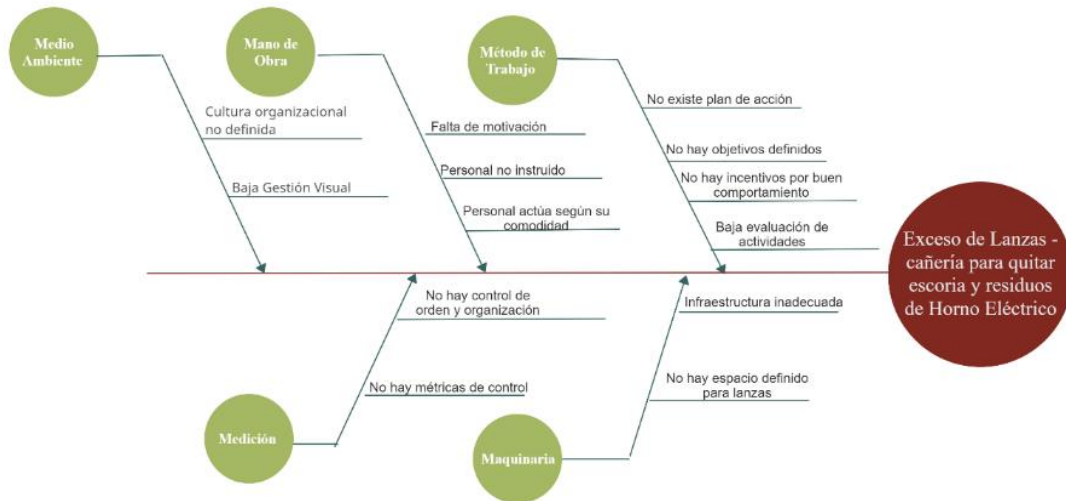


Ilustración 42: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #8 para encontrar origen de por qué existe una cantidad innecesaria de lanzas quita escoria y residuos.

Fuente: Elaboración propia, basada en las 7 herramientas de la Calidad.

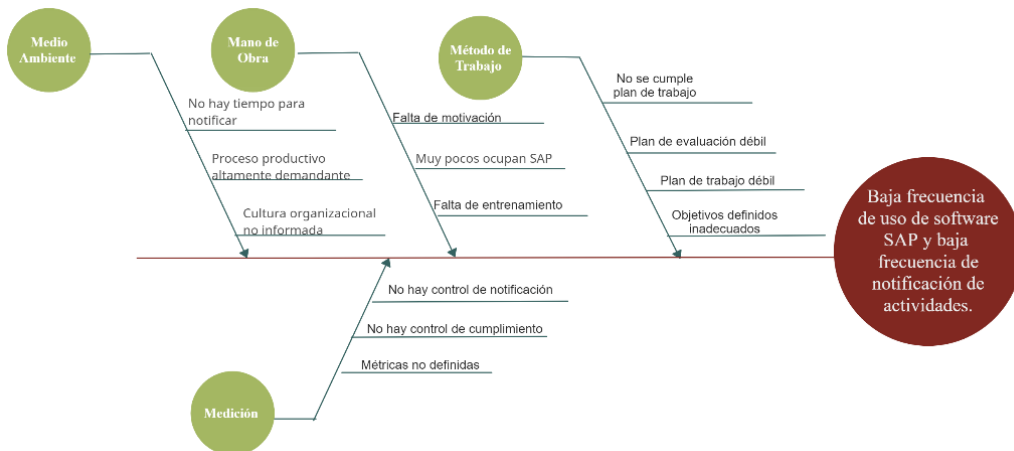


Ilustración 43: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #9 para encontrar origen de por qué mecánicos de mantenimiento no utilizan SAP para notificar actividades de Mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia, basada en las 7 herramientas de la Calidad.

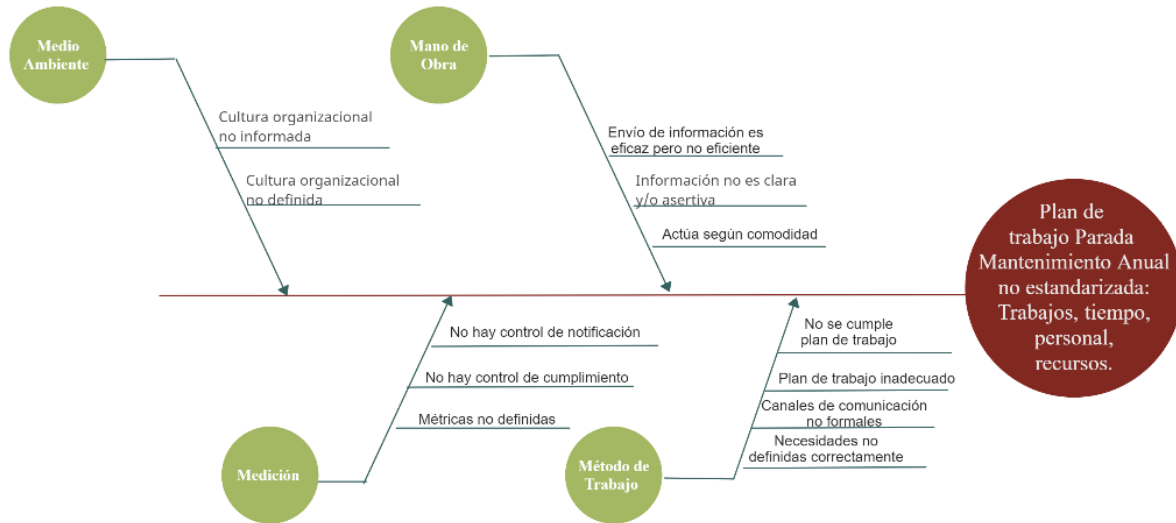


Ilustración 44: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #12 para encontrar origen de por qué la información requerida para planificar Parada de Mantenimiento Anual no está estandarizada.

Fuente: Elaboración propia, basada en las 7 herramientas de la Calidad.

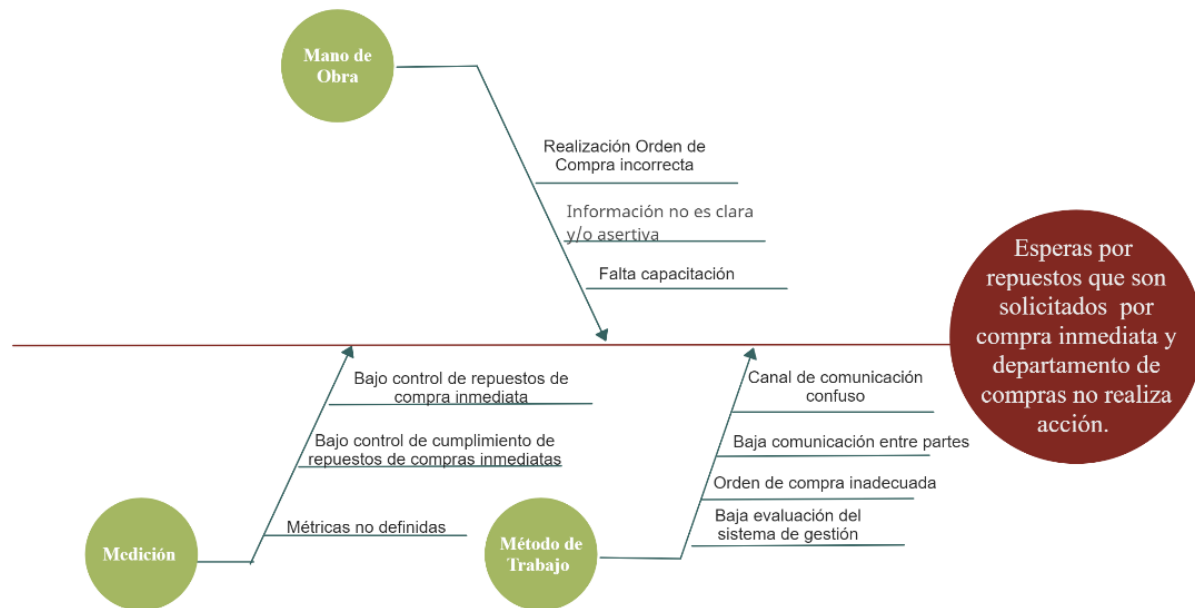


Ilustración 45: Diagrama de Causa - Raíz de desperdicio #15 para encontrar origen de por qué los repuestos solicitados con compra inmediata no son adquiridos bajo esa condición.

Fuente: Elaboración propia, basada en las 7 herramientas de la Calidad.



Tabla 23: Primera parte de listado de Causas Directas y Por qué - Por qué de los desperdicios Lean Maintenance encontrados (Continuación *Tabla 10*).

#ID	Desperdicio LM	Causa Directa	Por qué - Por qué
3	Repuestos no siempre están disponibles y otros están obsoletos	Falta capacitación	Mecánicos tienen bajas competencias para usar SAP
			No se les ha enseñado a usar SAP
			No hay persona a cargo de capacitación SAP
		Plan de trabajo inadecuado	Actividades no responden al problema existente
			Falta de evaluación del plan existente
			Objetivos no coherentes con necesidades del proceso.
		Bajo control de cumplimiento	No hay medición de repuestos entregados y no entregados
			No se ha definido como actividad prioritaria
			No hay plan de control de actividades
5	Herramientas no se encuentran en su lugar indicado. Se extravían.	Falta de Motivación	Mecánicos no sienten responsabilidad y compromiso por manejo de herramientas
			Herramientas se quedan en su lugar de uso y no en su almacén
			Malos hábitos de comportamiento de mecánicos
		Métricas no definidas	No hay información de cantidad de herramientas
			No hay información del uso de herramientas
			Medición de uso de herramientas no es un objetivo
		Faltan inventarios para documentación	No se sabe quién ocupa qué herramienta
			No existe documentación para el uso de herramientas
			Documentación no ha sido creada por jefaturas
6	GPR Desactualizado	Falta de personal	Actividad lleva mucho tiempo sin ser realizada
			No se ha asignado responsable
			Falta personal para asignar responsable de actividad
		Falta de capacitación	Mecánicos no se sienten capacitados para hacer GPR
			Nadie ha instruido al personal para realizar actividad
			Instruir al personal no está dentro de las prioridades de Célula de Mantenimiento
		Plan de trabajo inadecuado	Nadie toma iniciativa para realizar actividad
			Camino a seguir no es claro
			Falta de autoevaluación del plan de trabajo

Fuente: Inspecciones en terreno y reuniones con Jefatura de Mantenimiento.



Tabla 24: Segunda parte de listado de Causas Directas y Por qué - Por qué de los desperdicios Lean Maintenance encontrados.

#ID	Desperdicio LM	Causa Directa	Por qué - Por qué
7	Planos Desactualizados	Falta de capacitación	Mecánicos no se sienten capacitados para hacer planos
			Nadie ha instruido al personal para realizar actividad
			No está dentro de las prioridad de Célula de Mantenimiento
		Falta de personal	Actividad lleva mucho tiempo sin ser realizada
			Existe apoyo, pero es poco para las actividades a realizar
			Falta dibujante con mayor disponibilidad para realizar actividad
		Objetivos no definidos adecuadamente	Actividad lleva mucho tiempo sin ser realizada
			No se ha definido como necesidad de Célula de Mantenimiento
			Falta comunicación entre mantenedores y jefatura
8	Exceso de Lanzas - cañería para quitar escoria y residuos de Horno Eléctrico	Personal desmotivado	Personal actua según su propia comodidad
			Falta comunicación de necesidades entre jefatura y personal
			Existe una desconexión entre necesidades y actividades a realizar
		Falta evaluación de actividades	Jefatura evalua sólo algunas actividades y no aquellas de organización
			Ha existido por bastante tiempo una gran acumulación y desorden de lanzas
			Plan de trabajo no indica que sea una prioridad el orden y organización
9	Baja frecuencia de uso de software SAP y baja frecuencia de notificación de actividades	Falta de entrenamiento	Mecánicos no saben como notificar y deciden no ocupar software
			No han recibido capacitación respecto al software
			No hay persona a cargo de capacitación de software SAP
		Objetivos no definidos adecuadamente	Necesidades de los mecánicos no están siendo contempladas
			Falta de comunicación entre mecánicos y jefatura
			Plan de trabajo no está claramente definido
		No hay control de notificación	No se sabe cuantas actividades son notificadas en un determinado tiempo
			No se han establecido métricas respecto a notificación
			No existe un plan de medición respecto a las actividades

Fuente: Inspecciones en terreno y reuniones con Jefatura de Mantenimiento.



Tabla 25: Tercera parte de listado de Causas Directas y Por qué - Por qué de los desperdicios Lean Maintenance encontrados.

#ID	Desperdicio LM	Causa Directa	Por qué - Por qué
12	Información de Plan de Trabajo para Parada de Mantenimiento es enviada informalmente y no posee estándar	Se envía información eficaz, pero no eficientemente	Información es dispersa, no clara y desorganizada
			Personal actúa según su propia comodidad
			No hay instrucciones claras de parte de jefaturas
		Plan de trabajo inadecuado	No existe un canal de comunicación común y definido
			No se ha definido un canal de comunicación desde jefaturas
			No se ha definido un Plan de Trabajo/Acción
15	Esperas por repuestos que son solicitados con condición de compra inmediata y departamento de compras no realiza acción.	Baja evaluación del Sistema de Gestión	Mantenedores no reciben repuestos solicitados
			Falta de comunicación entre mantenedores, bodega, jefatura
			Jefatura realiza baja evaluación a las actividades del Plan de Trabajo
		Bajo control de repuestos de compra inmediata	No hay registro de repuestos que no son gestionados inmediatamente
			No existe indicador que permita obtener repuestos entregados y no entregados
			No se han establecido las métricas respecto a las necesidades de Mantenimiento

Fuente: Inspecciones en terreno y reuniones con Jefatura de Mantenimiento.



Tabla 26: Primera parte de listado de Causa Raíz, Validación de Causa Raíz y su correspondiente Acción de Mejora (Continuación de *Tabla 11*).

#ID	Causa - Raíz	Validación	Acción de Mejora
3	No hay persona a cargo de capacitación SAP	Se observa en terreno que mecánico no utiliza SAP para solicitar repuestos y va directo a bodega	Plan de Capacitación a mecánicos del Horno eléctrico y mecánicos que actúen en Horno eléctrico
	Objetivos no coherentes con necesidades del proceso	Se observa que una baja disponibilidad de repuestos aumenta el tiempo de mantenimiento	Crear plan de necesidades y objetivos de Mantenimiento
	No hay plan de control de actividades	Se comprueba mediante entrevista con bodeguero que sólo existen indicadores anuales respecto a entrada y salida de repuestos y que el problema radica en la elaboración de Orden de Mantenimiento	Crear plan de control de realización de Orden de Mantenimiento
5	Malos hábitos de comportamiento de mecánicos	Se observa como mecánicos utilizan herramientas y las dejan en distintos lugares de las instalaciones	Instalación de Centros de Acopio (corto alcance) para herramientas de sencilla manipulación
	Medición de uso de herramientas no es un objetivo	Se comprueba que el uso de herramientas no tiene un indicador que permita controlar el movimiento de estas	Plan de medición para el control y registro de herramientas
	Documentación no ha sido creada por jefaturas	Se comprueba visualmente que no existe inventario para controlar el uso de herramientas por parte de jefatura	Plan de Administración de Herramientas; Creación de Inventarios
6	Falta personal para asignar responsable de actividad	Se comprueba visualmente que no hay ninguna persona a cargo de realizar esta actividad	Asignar/Contratar temporalmente a persona para que actualice GPR
	Instruir al personal no está dentro de las prioridades de Célula de Mantenimiento	Se observa durante un tiempo de dos meses que no hay planes de capacitación para personal de mantenimiento	Plan de Capacitación a personal del Horno Eléctrico para actualizar GPR
	Falta de autoevaluación del plan de trabajo	Se comprueba visualmente que jefatura realiza baja evaluación respecto actividades faltantes	Redefinir objetivos de Mantenimiento e incorporar a Plan de Trabajo

Fuente: Inspecciones en terreno y reuniones con Jefatura de Mantenimiento.



Tabla 27: Segunda parte de listado de Causa Raíz, Validación de Causa Raíz y su correspondiente Acción de Mejora.

#ID	Causa - Raíz	Validación	Acción de Mejora
7	No está dentro de las prioridades de Célula de Mantenimiento	Se comprueba visualmente que esta actividad lleva meses sin ser realizada y que no existe un plan para hacerla	Redefinir objetivos de Mantenimiento respecto a planos e incorporar a Plan de Trabajo
	Falta dibujante con mayor disponibilidad para realizar actividad	Se comprueba durante un tiempo de dos meses que solo existe una persona encargada de planos y no trabaja tiempo completo	Asignar/Contratar temporalmente a persona para que actualice planos
	Falta comunicación entre mantenedores y jefatura	Se comprueba que objetivos no involucran actualización de Planos	Definir tiempos y espacios para generar comunicación de necesidades de mantenedores
8	Existe una desconexión entre necesidades y actividades a realizar	Se comprueba mediante reunión con Jose Lara, Jefe de Hornos, que la situación existe y no ha sido considerada previamente	Definir tiempos y espacios para generar comunicación de necesidades de mantenedores
	Plan de trabajo no indica que sea una prioridad el orden y organización	Se comprueba que existe plan 5s en Hornos pero no respecto a esta situación	Implementar programa 5s en H.E.
9	No hay persona a cargo de capacitación de software SAP	Se comprueba que proyecto existe pero no se ha postergado por necesidades de mantenimiento	Asignar/Contratar temporalmente a persona para que realice capacitación SAP
	Plan de trabajo no está claramente definido	Se comprueba que no es prioridad que exista una notificación de actividades por parte de mecánicos.	Redefinir objetivos de Mantenimiento respecto al uso de SAP e incorporar a Plan de Trabajo
	No existe un plan de medición respecto a las actividades	Se comprueba visualmente que no existe Plan de Medición que indique relación entre actividades realizadas y actividades notificadas	Crear indicador que permita visualizar la relación entre ordenes realizadas y ordenes notificadas.

Fuente: Inspecciones en terreno y reuniones con Jefatura de Mantenimiento.



Tabla 28: Tercera parte de listado de Causa Raíz, Validación de Causa Raíz y su correspondiente Acción de Mejora.

#ID	Causa - Raíz	Validación	Acción de Mejora
12	No hay instrucciones claras de parte de jefaturas	Se comprueba visualmente que Jefatura da orden de enviar Planes de Trabajo pero no especifica cómo hacerlo	Crear Plan de Objetivos de Parada de Mantenimiento y agregar a Plan de Trabajo
	No se ha definido un Plan de Trabajo/Acción	Se comprueba que no existe un plan de trabajo para este caso. Se hace lo que se ha hecho siempre	Elaborar Plan de Trabajo para Paradas de Mantenimiento anuales
15	Jefatura realiza baja evaluación a las actividades del Plan de Trabajo	Se comprueba que no existe un plan de evaluación de parte de Mantenimiento a Bodega	Elaborar un Plan de Comunicación entre Suministros y Mantenimiento
	No se han establecido las métricas respecto a las necesidades de Mantenimiento	Se comprueba que existe una desconexión entre los indicadores de Suministros y las necesidades Mantenimiento	Establecer un indicador que relacione objetivos de Suministros y Mantenimiento

Fuente: Inspecciones en terreno y reuniones con Jefatura de Mantenimiento.



Plan de Control de Procesos							Fecha:	
Descripción del Proceso:		Cliente del Proceso:		Requerimiento Crítico del Cliente		Nombre del Archivo:		
Diagrama de Flujo del Proceso		Control / Revisión						
		Indicadores de Proceso	Estándares de Desempeño	Item a controlar	Frecuencia de control	Responsabilidad	Plan de Contingencia	Comentarios
# REV	Fecha	Descripción de revisión					Hecho por	Aprobación

Ilustración 46: Sugerencia de Plan de Control para Propuesta de Mejora.

Fuente: Curso Mejora Continua, UTFSM.