PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

"IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DEL MANTENIMIENTO ESBELTO EN EL OVERHAUL DEL TREN X'TRAPOLIS"

Memoria para optar al Título de:

INGENIERA CIVIL MECANICA

ALUMNA : Bárbara Ponce Pozo.

PROFESOR GUIA : Rigoberto Guardia D.

PROFESOR CO-GUIA: Orlando Durán A.

Agradecimientos

"Vive como si fueras a morir mañana, Aprende como si fueras a vivir para siempre" Mahatma Gandhi.

A mis padres Álvaro Ponce y Paula Pozo, por darme la libertad y confianza de decidir sobre mi vida y futuro desde tan pequeña, por motivarme siempre a cumplir mis sueños. Por ser mi modelo para seguir, por su amor incondicional y por el sacrificio que realizaron para darme una buena educación.

A mis hermanos Álvaro y Carola, que a pesar de la distancia física siempre están presentes conmigo, acompañándome y dándome su apoyo en los momentos que los necesito junto a mí.

A mis abuelos Carlos Ponce y Eliana Bravo, por su amor, compañía y por recibirme durante los primeros años de mi vida universitaria en su casa y hacerme sentir en mi propia casa. A mi tía Paula, por su apoyo y amor incondicional durante toda mi vida y en especial en mis años universitarios.

A todos mis amigos en especial a Boris Fuentes y Solange Fuentes, por ser mi segunda familia, apoyarme y acompañarme en todo este proceso desde el primer día de universidad, a mis compañeros de trabajo en especial a mi amigo y guía Fernando Vargas, por iniciarme en el mundo laboral, apoyarme y guiarme en el desarrollo de esta tesis.

A todos los profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica por aportar un granito de arena en mi formación, y en especial a mi profesor guía Rigoberto Guardía, por sus consejos, enseñanzas y confianzas.

INDICE

1.		Res	sume	ən	10
2.		Abs	strac	t	12
3.		Intr	oduo	cción	14
	3.	.1	Em	presa	14
	3.	2	Pro	blemáticablemática	14
		3.2	.1	Incumplimiento del contrato de mantenimiento	15
		3.2	.2	Sobre costos	
		3.2	.3	Multas	
		3.2	.4	Credibilidad ante el cliente.	
	3.	.3	Obj	etivos	18
		3.3	.1	Objetivo General	18
		3.3	.2	Objetivos Específicos.	
	3.	4	Alc	ances	18
4.		Ма	rco t	eórico	19
	4.	.1	Filo	sofía Lean o Esbelto	19
		4.1	.1	Historia de Lean o "Esbelto": Según Socconini (2008)	19
	4.	.2	Los	siete despilfarros	
		4.2	.1	Actividad con valor añadido (VA):	25
		4.2	.2	Actividad sin valor añadido (NVA):	
	4.	.3	Her	ramientas de filosofía Lean	34
		4.3	.1	Mapa de valor (Value Stream Mapping, VSM)	34
		4.3	.2	Eventos Kaizen	
		4.3	.3	5'S	38
	4.	4	Par	eto	40
		Prir	ncipi	o del 80/20	40
	4.		-	grama de causa-efecto	
5.		Me	todo	logía	44

	5.1	Eta	pas de la investigación	44
6.	. Ide	entific	ación de la Situación Actual	45
	6.1 E	Descr	ipción del proceso	45
	6.2	Car	ntidad total de componentes	47
	6.3	lder	ntificación del equipo de trabajo	48
	6.3	3.1	Organigrama	49
	6.4	Map	oa de proceso	49
	6.5	Lea	d time actual	51
	6.6	Tier	mpo método actual	51
	6.7	Tak	t time	53
	6.8	Aná	alisis de la situación actual	54
7.	. Im	pleme	entación de Herramienta Lean5	57
	7.1	Mar	oa de Valor	57
	7.1	1.1	Recolección de datos	57
	7.1	1.2	Cadena de Valor	58
	7.1	1.3	Mapa de Valor Actual	62
	7.2	Eve	ento Kaizen	65
	7.2	2.1	Primer evento Kaizen: proceso de observación	68
		2.2 ento:	Análisis de los despilfarros encontrados y plan de acción del primer	88
	7.2	2.3	Segundo evento Kaizen: Implementación 5's y proceso de observación	
	7.2 eve	2.4 ento	Análisis de los despilfarros encontrados y plan de acción del segundo	73
		2.6. ento	Análisis de los despilfarros encontrados y plan de acción del tercer	77
	7.2	2.7.	Cuarto evento Kaizen: Observación de proceso y registro de mejoras	78
	7.2	2.8.	Definir el problema	80
	7.2	2.9.	Formar el equipo	80

	7.2	.10. Describir el problema	80
	7.2	.11. Definir la causa-raíz; implementando los 5 ¿Por qué's? e Ishikawa	84
	7.2	.12. Acciones de contención:	90
8.	Lev	antamiento de datos	90
1	3.2	Actividades que no añaden valor al proceso	90
	3.3	Actividades con valor y sin valor añadido en el mantenimiento reductor	93
	3.4	Actividades que no añaden valor al proceso de ruedas	96
1	3.5	Causa-raíz problemas taller de ruedas	98
9.	Aná	álisis de resultados	.102
10	. Eva	aluación Económica	.109
	10.1 I	Multas	.110
,	10.2	Costo de horas personas operaciones Alstom:	.110
,	10.3	Costo de contrato externo:	.111
,	10.4	Resumen de costos total	.112
11	. Cor	nclusión	113
12	. Red	comendaciones	.114
13	. Bib	liografía	.115
14	. Ane	exos	.116
	Anex	o A: Descripción de los equipos de mantenimiento de la IM5A	.116
	Anex	o B: Tabla de Pareto Talleres	.121
	Anex	o C: Tabla de diagrama de Pareto Ishikawa	.121
1	Anex	o D: Tabla de Figura Pareto (Equipos)	.122
	Anex	o E: Hoja de observación de proceso	.123
1	Anex	o F: Herramientas del mantenimiento de los equipos del Overhaul	.124
4	Anex	o G: Desechos del Overhaul	.127
	Anex	o H: Tarjetas de identificación de material	.128

Α Ι			_
Anexo I	1 ′.≀	21	1
ΛΙΙΘΛΟ Ι	10	ハ	J

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Proyección de kilometraje según odómetro del 01-01-19. (El promedio de	е
recorrido del tren al mes es de	17
Tabla 2: Simbología que se utilizan en un mapa de valor	36
Tabla 3: Cantidad total de componentes	47
Tabla 4: Evolución de tiempos métodos.	52
Tabla 5: Tiempo de implementación y cantidad de trenes mensuales	53
Tabla 6: Tiempos esperados reductor	58
Tabla 7: Tiempos reales reductor	58
Tabla 8: Resumen de tiempos ciclo esperados y reales mantenimiento reductor	60
Tabla 9: Tiempos esperados ruedas	60
Tabla 10: Tiempos reales ruedas	60
Tabla 11: Resumen de tiempos ciclo esperados y reales mantenimiento reductor.	62
Tabla 12: Programación segundo evento Kaizen	68
Tabla 13: Plan de acción primer evento Kaizen.	70
Tabla 14: Programación segundo evento Kaizen	71
Tabla 15: Criterios de selección de las herramientas que no se utilizan en los talle	eres.
	72
Tabla 16: Plan de acción segundo evento.	74
Tabla 17: Programación segundo evento Kaizen	74
Tabla 18: Identificación de líneas de marcaje del piso	76
Tabla 19: Plan de acción tercer evento	78
Tabla 20: Programación segundo evento Kaizen	78
Tabla 21: Historial de desgarros de ejes.	83
Tabla 22: Los por qué's de servicios defectuosos	84
Tabla 23: Los por qué's de retrabajos	85
Tabla 24: Los por qué's tiempos de espera	85
Tabla 25: Los por qué's de mal funcionamiento de maguinaria	85

Tabla 26: Los por qué's de tiempos de preparación de torno	86
Tabla 27: Los por qué 's de tiempos de preparación de ruedas	86
Tabla 28: Los por qué 's de tiempos de regulaciones.	86
Tabla 29: Material de los ejes y ruedas	87
Tabla 30: Acciones de contención en taller de ruedas	90
Tabla 31: Tiempo de un operador en actividades generales que no añaden valor.	91
Tabla 32: Análisis de tiempos con y sin valor añadido real en mantenimiento redu	ıctor.
	94
Tabla 33: Plan de acción con propuestas de mejora para taller de ruedas	99
Tabla 34: Problemas de máquinas taller ruedas	101
Tabla 35: Resultados obtenidos en taller de reductor.	102
Tabla 36: Resultados obtenidos en taller de ruedas.	102
Tabla 37: Tiempo total de Overhaul y cantidad de trenes mensuales	107
Tabla 38: Resultados en tiempos métodos.	108
Tabla 39: Costo de multas por retraso de mantenimiento	110
Tabla 40: Costos de HP personal Alstom mensual	110
Tabla 41: Costos de contrato externo en meses adicionales	
Tabla 42: Resumen de costes total	112
Tabla 43: Costo de reparación maquinas taller ruedas	114
Tabla 44: Pareto talleres.	121
Tabla 45: Pareto de Ishikawa	121
Tabla 46: Pareto equipos.	122
Tabla 47: Herramientas del mantenimiento.	126
Tabla 48: Desechos de Overhaul.	127
Tabla 49: Odómetro del 01-01-19 provectado	130

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de trabajo filosofía "Lean Maitenance"	.22
Figura 2: Principio fundamental de Lean	.26
Figura 3: Diagrama del 80/20	.41
Figura 4: Diagrama esquemático de Ishikawa	.43
Figura 5: Lay-out GR	.45
Figura 6: Organigrama de la IM5A	.49
Figura 7: Mapa de proceso IM5A	.50
Figura 8: Secuencia de tareas de la IM5A	.51
Figura 9: Evolución de tiempo método	.52
Figura 10: Pareto HP por talleres	.55
Figura 11: Pareto HP dedicadas a cada equipo	.56
Figura 12: Mapa de valor actual mantenimiento reductor	.63
Figura 13: Mapa de valor actual mantenimiento ruedas	.64
Figura 14: Frecuencias de eventos Kaizen	.66
Figura 15: Mapa de documentación llenada por operarios	.75
Figura 16: Flujo de proceso de calado y decalado de ruedas	.81
Figura 17:Flujo de proceso de mecanizado de ruedas	.82
Figura 18: Análisis de Ishikawa para el problema de tiempos de montaje y	
desmontaje	.87
Figura 19: Análisis de Ishikawa para el problema de tiempo de mecanizado de	
ruedas	.88
Figura 20: Total de horas persona sin valor añadido por un operario	.91
Figura 21: Total de horas persona sin valor añadido proyectada en 16 operarios	.92
Figura 22:Porcentaje de despilfarros generales horas persona totales de IM5A	.93
Figura 23: Cantidad de horas con y sin valor añadido actividades mantenimiento	
reductor	.94
Figura 24: Cantidad de Horas Persona totales en reductor, con y sin valor añadido.	. 95
Figura 25: HP en actividades sin valor añadido en reductor	.95
Figura 26: Actividades CVA y SVA mecanizado de una rueda	.97

Figura 27: HP en actividades sin valor añadido	97
Figura 28: Pareto de diagrama de Ishikawa en taller de ruedas	100
Figura 29: Implementación de 5's estantes de herramientas	103
Figura 30: Antes de 5's en reductor	103
Figura 31: Después de 5's en reductor	104
Figura 32: Antes de 5's en ruedas	104
Figura 33: Después de 5's en ruedas	105
Figura 34: Resultados en HP Reductor	106
Figura 35: Resultados en HP Ruedas	106
Figura 36: Secuencia de tareas de la im5a	107
Figura 37: Resultado en tiempo método	108
Figura 38: Curva de proyección de costo de HP de operarios	111
Figura 39: Bogie motriz	117
Figura 40: Bogie remolque	118
Figura 41: Dispositivo de arrastre, bogie motriz	118
Figura 42: Sistema de arrastre caja-bogie	119
Figura 43: Suspensión primaria y caja de grasa	119
Figura 44: Suspensión secundaria y amortiguadores	120
Figura 45: Hoja de registro de datos evento Kaizen	123
Figura 46: Tarjeta de identificación material no conforme	128
Figura 47: Tarjeta de identificación material conforme	128
Figura 48: Tarjeta de identificación material en proceso	129

1. Resumen

El objetivo del presente trabajo fue realizar la implementación de herramientas de mantenimiento esbelto o "lean maintenance" para lograr la optimización del proceso de Overhaul de Bogies del tren "X'trapolis 100". El Overhaul se estaba realizando en 20 días hábiles y lo planificado por el departamento de industrialización fue 13 días hábiles, el retraso en la entrega del servicio tiene como consecuencia sobrecostos, multas e incumplimiento del contrato de mantenimiento.

Se realiza una investigación sobre la filosofía del mantenimiento esbelto, comenzando por la historia de sus inicios y evolución, posteriormente definiendo que es "Esbelto" o "Lean", cuál es su modelo de trabajo y mentalidad; principalmente enfocada en la identificación y eliminación de los 7 despilfarros, diferenciando cuál es una actividad que tiene valor añadido y cuáles son las actividades que no añaden valor al proceso. Se describen las herramientas "Lean" que utilizaremos en el proceso de investigación e implementación.

La hipótesis de este trabajo es, que a través de la implementación de las herramientas mantenimiento esbelto disminuiremos los días de mantenimiento, realizando un análisis de despilfarros, y proponiendo e implementando las mejoras al proceso.

Se comenzó el análisis identificando la situación actual del taller de gran revisión, describiendo el proceso general, los equipos del tren a intervenir, actividades de mantenimiento y también la identificación del equipo de trabajo.

Para definir el alcance de nuestro trabajo, y establecer los equipos del tren responsables de los retrasos (cuellos de botella), se realizó una recolección de datos de la plataforma SAP (Sistemas, Aplicaciones y Productos) de horas personas cargadas a cada equipo del tren durante el Overhaul de Bogie del cuarto tren. Mediante un análisis de Figura "Pareto" se identificaron los dos cuellos de botella, que son el mantenimiento de las ruedas y del reductor.

Establecido el alcance de nuestra investigación, se desarrollaron las metodologías de implementación de herramientas "Lean", comenzando con la realización de un mapa de valor de la situación actual, estableciendo la cadena de valor, y comparando los tiempos actuales reales con los tiempos planificados.

Con la información proporcionada por los mapas de valor de cada equipo se detectan las áreas de oportunidad de mejora en donde llevaremos a cabo la realización de eventos Kaizen, donde se realizan procesos de observación, separando las actividades que añaden valor y las que no del proceso. Posterior a cada evento Kaizen se lleva a cabo una reunión de equipo, donde se analizan los despilfarros encontrados durante el día, y se crean planes de acción para implementar en los respectivos talleres durante los siguientes eventos.

De las acciones que fueron propuestas se implementaron las 5's para los talleres de ruedas y reductor, se realizó una simplificación de la documentación, se definieron métodos y otros.

Durante los procesos de observación se detectaron desviaciones en el proceso de ruedas, que no eran cuantificables en tiempos método ya que eran muy variables, por lo que se realizó un análisis de la causa-raíz de los problemas en el taller de ruedas, a través de la metodología de los 5 ¿porqués? y análisis de Ishikawa. Una vez conocida la causa-raíz, se realizan acciones de contención a los problemas.

Con la implementación de las herramientas "Lean", se logró reducir el tiempo de entrega del Overhaul de 20 días a 15 días hábiles.

Finalmente se realizó una evaluación económica del ahorro que se generó a la empresa, entendiendo como ahorro, los costos a los cuáles Alstom no tendrá que incurrir gracias a la optimización del mantenimiento, que son multas, costos de contratos externos, y horas personas de los operarios Alstom.

Se llevan a cabo las sugerencias para lograr el "lead time" de 13 días hábiles que involucran un gasto en reparación de maquinaria que tendría que efectuar Alstom, y es el gerente y líder del proyecto el que deberá tomar la decisión, apoyándose en la evaluación económica que se presenta en este trabajo.

2. Abstract

The objective of this work was to implement lean maintenance tools to optimize the process of Overhaul of Bogies of the train "X'trapolis 100". The Overhaul was being carried out in 20 working days and what was planned by the industrialization department was 13 working days. The delay in the delivery of the service has as a consequence cost overruns, fines and breach of the maintenance contract.

An investigation is carried out on the philosophy of lean maintenance, starting with the history of its beginnings and evolution, later defining what is "Lean", what is its work model and mentality; mainly focused on the identification and elimination of the 7 wastes, differentiating which is an activity that has added value and which are the activities that do not add value to the process.

The "Lean" tools that we will use in the research and implementation process are described.

The hypothesis of this work is, that through the implementation of the tools lean maintenance we will diminish the days of maintenance, realizing an analysis of wastes, and proposing and implementing the improvements to the process.

The analysis began by identifying the current situation of the large revision workshop, describing the general process, the train equipment to be intervened, maintenance activities and also the identification of the work team.

To define the scope of our work, and to establish the train teams responsible for the delays (bottlenecks), a data collection was made from the SAP (Systems, Applications and Products) platform of human hours loaded to each train team during the Bogie Overhaul of the fourth train. By means of a "Pareto" figure analysis, the two bottlenecks were identified, which are the maintenance of the wheels and the gearbox.

Once the scope of our research was established, the methodologies for implementing "Lean" tools were developed, starting with the creation of a value map of the current situation, establishing the value chain, and comparing the actual current times with the planned times.

With the information provided by the value maps of each team, the areas of opportunity for improvement are detected where we will carry out the realization of kaizen events,

where observation processes are carried out, separating the activities that add value and those that do not from the process. After each kaizen event a team meeting is held, where the waste found during the day is analyzed, and action plans are created to be implemented in the respective workshops during the following events.

Of the actions that were proposed, the 5's for the wheel and reducer workshops were implemented, documentation was simplified, methods were defined and others.

During the observation processes, deviations in the wheels process were detected, which were not quantifiable in method times since they were very variable, so an analysis of the root cause of the problems in the wheels workshop was made, through the methodology of the 5 whys and Ishikawa analysis. Once the root cause is known, actions are taken to contain the problems.

With the implementation of the "Lean" tools, the delivery time of the Overhaul was reduced from 20 days to 15 working days.

Finally, an economic evaluation was made of the savings generated for the company, understanding as savings the costs that Alstom will not have to incur thanks to the optimization of maintenance, which are fines, external contract costs, and personal hours of Alstom operators.

Suggestions are made to achieve the 13 working day lead time involving machinery repair costs that Alstom would have to incur, and it is the manager and project leader who will have to make the decision, based on the economic evaluation presented in this paper.

3. Introducción

3.1 Empresa

Alstom, es una empresa de origen francés, que se dedica a la fabricación y mantenimiento de trenes y sistemas de señalización, para el transporte de pasajeros a nivel mundial.

Actualmente se encuentra en 60 países, contando con 105 sitios y empleando a 38.900 personas. La demanda global de movilidad está en aumento, y la misión de Alstom es "apoyar la transición hacia sistemas de transporte sostenibles globales que sean inclusivos y respetuosos con el medio ambiente" (www.alstom.com).

Alstom ofrece una gama completa de equipos y servicios, desde trenes de alta velocidad, metros, tranvías y señalización entre otros.

En Chile sus principales clientes son EFE "Empresa de Ferrocarriles del Estado" y Metro de Santiago, con más de 500 coches vendidos desde los años 70.

3.2 Problemática

En Alstom, el proyecto de Material Rodante del taller Limache, tiene un contrato de mantenimiento por un total de 30 años con Metro de Valparaíso por el tren X'trapolis 100. Este incluye mantenimiento Preventivo, Correctivo y Overhaul, siendo este último un hito de venta adicional para el contrato, impactando directamente en el resultado financiero del proyecto.

El manual de mantenimiento realizado por la fábrica del tren X'trapolis 100, especifica que el Overhaul desde ahora denominado IM5A debe ser realizada cada 1.400.000 km de recorrido por tren, aproximadamente cada 12 años de servicio, contando que un tren recorre un total aproximado de 120.000 km anuales.

El contrato especifica que el mantenimiento se debe realizar en la cota con una tolerancia de +/-10% del kilometraje, por lo tanto, como máximo debe ser realizado al kilómetro 1.540.000.

Por lo establecido en el contrato, el departamento de industrialización de Alstom, realiza una proyección de kilometraje, obteniendo como resultado el cálculo de tiempo por 17 meses para la realización de la IM5A en la flota completa de 27 X'trapolis, estableciendo el tiempo con un rango de seguridad y tomando como máximo kilometraje para el fin de la IM5A 1.450.000 km.

En consecuencia, de lo establecido en el contrato y la proyección de kilometraje, el Lead Time (LT), tiempo proyectado que transcurre desde el inicio del proceso de mantenimiento hasta la entrega del servicio al cliente es de 13 días hábiles por tren, debiendo realizar 1,5 trenes por mes.

Actualmente por diversos factores que más adelante se analizarán, los primeros 4 trenes se han realizado en 20 días hábiles de producción, realizando 1 tren por mes.

Por lo tanto, proyectando la situación actual 20 días hábiles por tren, para la flota completa de 27 trenes, tendrá como consecuencia:

3.2.1 Incumplimiento del contrato de mantenimiento.

Se incumpliría el contrato de mantenimiento en un total de 11 trenes realizando en estos la IM5A después de la cota máxima de +10% del kilometraje, sobrepasando los 1.540.000 kilómetros de recorrido por tren, que podemos visualizar a continuación en la Tabla 1 con las cotas en color amarillo.

3.2.2 Sobre costos

Se realizaría el mantenimiento en más meses de lo que se planificó, generando sobrecostos en horas personas, incluyendo tanto a técnicos de Alstom como contrato externo.

3.2.3 Multas

Por incumplimiento con el contrato de mantenimiento con Metro Valparaíso, Alstom debería pagar multas por día de retraso del Overhaul desde que se cumple el 1.540.000 de kilometraje del tren.

3.2.4 Credibilidad ante el cliente.

Para Alstom, es muy importante la imagen que tiene el cliente sobre la calidad y servicio de nuestro trabajo. El no cumplimiento con el contrato de mantenimiento puede afectar a Alstom en futuras licitaciones de nuevos proyectos, tanto con Empresas Ferrocarriles del Estado (EFE) como para con Metro de Santiago y también con la renovación de los actuales contratos.

Nov-20 Dec-20	Oct-20 Nov	Sep-20	Aug-20	Jul-20	Jun-20	May-20	Apr-20	Mar-20	Feb-20	Jan-20	Dec-19	Nov-19	Oct-19	Sep-19	Aug-19	Jul-19	Jun-19	May-19	Vacaciones	Mar-19	Feb-19	REGISTRO KM 01-01-19	TREN
1,684,394 1,694,394	1,674,394 1,684	1,664,394	1,654,394	1,644,394	1,634,394	1,624,394	1,614,394	1,604,394	1,594,394	1,584,394	1,574,394	1,564,394	1,554,394	1,544,394	1,534,394	1,524,394	1,514,394	1,504,394	1,494,394	1,484,394	1,474,394	1,464,394	1
1,683,242 1,693,242	1,673,242 1,683	1,663,242	1,653,242	1,643,242	1,633,242	1,623,242	1,613,242	1,603,242	1,593,242	1,583,242	1,573,242	1,563,242	1,553,242	1,543,242	1,533,242	1,523,242	1,513,242	1,503,242	1,493,242	1,483,242	1,473,242	1,463,242	2
1,679,935 1,689,935	1,669,935 1,679	1,659,935	1,649,935	1,639,935	1,629,935	1,619,935	1,609,935	1,599,935	1,589,935	1,579,935	1,569,935	1,559,935	1,549,935	1,539,935	1,529,935	1,519,935	1,509,935	1,499,935	1,489,935	1,479,935	1,469,935	1,459,935	3
1,662,750 1,672,750	1,652,750 1,667	1,642,750	1,632,750	1,622,750	1,612,750	1,602,750	1,592,750	1,582,750	1,572,750	1,562,750	1,552,750	1,542,750	1,532,750	1,522,750	1,512,750	1,502,750	1,492,750	1,482,750	1,472,750	1,462,750	1,452,750	1,442,750	4
1,682,743 1,692,743	1,672,743 1,687	1,662,743	1,652,743	1,642,743	1,632,743	1,622,743	1,612,743	1,602,743	1,592,743	1,582,743	1,572,743	1,562,743	1,552,743	1,542,743	1,532,743	1,522,743	1,512,743	1,502,743	1,492,743	1,482,743	1,472,743	1,462,743	5
1,682,030 1,692,030	1,672,030 1,687	1,662,030	1,652,030	1,642,030	1,632,030	1,622,030	1,612,030	1,602,030	1,592,030	1,582,030	1,572,030	1,562,030	1,552,030	1,542,030	1,532,030	1,522,030	1,512,030	1,502,030	1,492,030	1,40=,030	1,472,030	1,462,030	6
1,674,960 1,684,960	1,664,960 1,674	1,654,960	1,644,960	1,634,960	1,624,960	1,614,960	1,604,960	1,594,960	1,584,960	1,574,960	1,564,960	1,554,960	1,544,960	1,534,960	1,524,960	1,514,960	1,504,960	1,494,960	1,40-1,960	1,474,960	1,464,960	1,454,960	7
1,671,314 1,681,314	1,661,314 1,671	1,651,314	1.641.314	1.631.314	1,621.314	1,611,314	1,601,314	1,591,314	1,581,314	1,571,314	1,561,314	1,551,314	1,541,314	1,531,314	1,521,314	1,511,314	1,501,314	1,451,214	1,481,314	1,471,314	1,461,314	1,451,314	8
1,668,222 1,678,222	1,658,222 1,668	1,648,222	222		1,61	1,608,222	1,598,222	1,588,222	1,578,222	1,568,222	1,558,222	1,548,222	1,538,222	1,528,222	1,518,222	1,508,222	1,450,272	1,488,222	1,478,222	1,468,222	1,458,222	1,448,222	9
1,663,682 1,673,682	1,653,682 1,663	1,643,682	de ₆₈₂	untos	1,61	1,603,682	1,593,682	1,583,682	1,573,682	1,563,682	1,553,682	1,543,682	1,533,682	1,523,682	1,513,682	1,502,582	1,493,682	1,483,682	1,473,682	1,463,682	1,453,682	1,443,682	10
1,663,039 1,673,039	1,653,039 1,663	1,643,039	039	conflict	1,61	1,603,039	1,593,039	1,583,039	1,573,039	1,563,039	1,553,039	1,543,039	1,533,039	1,523,039	1,512,039	1,503,039	1,493,039	1,483,039	1,473,039	1,463,039	1,453,039	1,443,039	11
1,659,167 1,669,167	1,649,167 1,659	1,639,167	167		1 60	1,599,167	1,589,167	1,579,167	1,569,167	1,559,167	1,549,167	1,539,167	1,529,167	1,513,167	1,509,167	1,499,167	1,489,167	1,479,167	1,469,167	1,459,167	1,449,167	1,439,167	12
1,658,280 1,668,280	1,648,280 1,658	1,638,280	1,628,280	1,618,280	1,608,280	1,592,200	1,588,280	1,578,280	1,568,280	1,558,280	1,548,280	1,538,280	1,522,280	1,518,280	1,508,280	1,498,280	1,488,280	1,478,280	1,468,280	1,458,280	1,448,280	1,438,280	13
1,657,972 1,667,972	1,647,972 1,657	1,637,972	1,627,972	1,617 972	1,607,972	1,597,972	1,587,97	1,577,972	1,567,972	1,557,972	1,547,972	1,557,972	1,527,972	1,517,972	1,507,972	1,497,972	1,487,972	1,477,972	1,467,972	1,457,972	1,447,972	1,437,972	14
1,651,242 1,661,242	1,641,242 1,651	1,631,242	1,621,242	1,611, 42	1,601,242	1,591,242	1,581,242	1,571,242	1,561,242	1,551,242	1,5-1,242	1,531,242	1,521,242	1,511,242	1,501,242	1,491,242	1,481,242	1,471,242	1,461,242	1,451,242	1,441,242	1,431,242	15
1,651,162 1,661,162	1,641,162 1,651	1,631,162	1,621,162	1,611,152	1,601,162	1,591,162	1,581,162	1,571,162	1,561,162	1,551,162	1,541,162	1,531,162	1,521,162	1,511,162	1,501,162	1,491,162	1,481,162	1,471,162	1,461,162	1,451,162	1,441,162	1,431,162	16
1,647,591 1,657,591	1,637,591 1,647	1,627,591	1,617,591	1,607,551	1,597,591	1,587,591	1,577,591	1,567,591	1,557,591	1,547,591	1,537,591	1,527,591	1,517,591	1,507,591	1,497,591	1,487,591	1,477,591	1,467,591	1,457,591	1,447,591	1,437,591	1,427,591	17
1,643,879 1,653,879	1,633,879 1,643	1,623,879	1,613,879	1,603,87	1,593,879	1,583,879	1,573,879	1,500,079	1,553,879	1,543,879	1,533,879	1,523,879	1,513,879	1,503,879	1,493,879	1,483,879	1,473,879	1,463,879	1,453,879	1,443,879	1,433,879	1,423,879	18
1,622,292 1,632,292	1,612,292 1,627	1,602,292	1,592,292	1,582,292	1,572,292	1,562,292	1,55-,292	1,542,292	1,532,292	1,522,292	1,512,292	1,502,292	1,492,292	1,482,292	1,472,292	1,462,292	1,452,292	1,442,292	1,432,292	1,422,292	1,412,292	1,402,292	19
1,608,036 1,618,036	1,598,036 1,609	1,588,036	1,578,036	1,568,036	1,558,036	1,540,026	1,538,036	1,528,036	1,518,036	1,508,036	1,498,036	1,488,036	1,478,036	1,468,036	1,458,036	1,448,036	1,438,036	1,428,036	1,418,036	1,408,036	1,398,036	1,388,036	20
1,604,198 1,614,198	1,594,198 1,604	1,584,198	1,574,198	1,564,198	1,55-,198	1,544,198	1,534,198	1,524,198	1,514,198	1,504,198	1,494,198	1,484,198	1,474,198	1,464,198	1,454,198	1,444,198	1,434,198	1,424,198	1,414,198	1,404,198	1,394,198	1,384,198	21
1,597,725 1,607,725	1,587,725 1,597	1,577,725	1,567,725	1,55,,725	1,547,725	1,537,725	1,527,725	1,517,725	1,507,725	1,497,725	1,487,725	1,477,725	1,467,725	1,457,725	1,447,725	1,437,725	1,427,725	1,417,725	1,407,725	1,397,725	1,387,725	1,377,725	22
1,597,216 1,607,216	1,587,216 1,59	1,577,216	1,567,216	1,557,216	1,547,216	1,537,216	1,527,216	1,517,216	1,507,216	1,497,216	1,487,216	1,477,216	1,467,216	1,457,216	1,447,216	1,437,216	1,427,216	1,417,216	1,407,216	1,397,216	1,387,216	1,377,216	23
1,589,621 1,599,621		,																				1.369.621	24
1,565,210 1,575,210																						1.345.210	25
1,537,107 1,547,187																						1,317,187	26
1,321,049 1,331, 19																						· ·	27
ł																						1,317,187 1,101,049	

Tabla 1: Proyección de kilometraje según odómetro del 01-01-19. (El promedio de recorrido del tren al mes es de 10.000 kilómetros)

Fuente: Elaboración Propia.

3.3 Objetivos

3.3.1 Objetivo General.

Implementar las herramientas de mantenimiento esbelto al Overhaul "X'trapolis 100", para disminuir el tiempo de duración de mantenimiento de 20 días a 13 días hábiles.

3.3.2 Objetivos Específicos.

- Implementar la filosofía de "Lean" al mantenimiento IM5A.
- Optimizar el proceso detectando los cuellos de botella de la operación.
- Disminuir el Lead Time de 20 días hábiles, a 13 días hábiles.
- Disminuir el tiempo método en un 54%
- Realizar una evaluación económica.

3.4 Alcances

Esta tesis, analizará y evaluará cómo se realizan las actividades en el área de producción del equipo de Gran Revisión del proceso IM5A del tren "X'trapolis 100", analizando procesos en sitio, fichas de mantenimiento, datos históricos e implementando herramientas Lean.

4. Marco teórico

4.1 Filosofía Lean o Esbelto

4.1.1 Historia de Lean o "Esbelto": Según Socconini (2008).

La historia de la filosofía de "Lean" comienza en la segunda revolución industrial, en 1870 con Frederick Winslow Taylor (1856-1915).

Según Socconini (2008), cambió totalmente el enfoque de la manufactura, al convertir la administración de esta en una ciencia, con sus estudios analíticos de tiempos y movimientos, el sistema de producción por lotes y propuso la división en departamentos, concentrándose cada uno en actividades específicas.

Black (2008) y Socconini (2008), nos cuentan que, en 1896, Sakichi Toyoda inventa la primera máquina de tejer con un dispositivo que detenía el telar cuando se rompía un hilo, e indicaba con una señal visual al operador que, la máquina se había detenido y necesitaba atención.

Este invento se conoce con el nombre de "Jidhoka", que significa: automatización de los defectos o automatización con enfoque humano.

Socconini (2008) cuenta que, en 1913 Henry Ford de Ford Motor Company, aplicando los principios expuestos por Adam Smith, en los cuales afirmaba que el trabajo debía dividirse en labores específicas, Ford desarrolla la primera línea de ensamble para el modelo Ford T, disminuyendo las horas de ensamblaje de 12 horas a 1 hora y media, y revoluciona la manera de trabajar en la manufactura.

En 1924 Kiichiro Toyoda hijo de Sakichi Toyoda completó el diseño de la máquina de hilados tipo G de Sakichi, la cual podría trabajar muchos turnos sin interrupción.

Esta invención cambio radicalmente el trabajo de los telares, redujo los defectos, e incrementó los rendimientos, creando la "Toyoda Automatic Loom Works Ltd".

En 1937 Kiichiro Toyoda hijo de Sakichi Toyoda decide crear una división de la fábrica de su padre dedicada a la producción de automóviles "Toyota Motor Corporation".

En los tiempos de Eiji Toyoda, sobrino de Sakichi Toyoda junto con Taiichi Ohno gerente de ensamble, decía que quería convertir una bodega en un taller de máquinas, para lo cual quería ver que todos trabajaran y recibieran capacitación.

A partir de la década de 1940, Taiichi Ohno y Shingeo Shingo ingeniero industrial que estudio detalladamente la administración científica del trabajo de Fredrick Taylor, vivieron experiencias inolvidables en la transformación de la planta y después de la segunda guerra mundial, en 1946 con la ayuda de Taiichi Ohno y Shingeo Shingo, la compañía Toyota Motor introdujo y mejoró un sistema de manufactura cuyo objetivo era la reducción o eliminación de las actividades que no añaden valor (actividades que el cliente no está dispuesto a pagar), creando el TPS (Sistema de producción de Toyota), estrategia de manufactura hoy conocida como "Lean Manufacturing".

Socconini (2008), nos cuenta que durante la crisis del petróleo en 1973, muchas empresas en el mundo tuvieron que cerrar sus puertas por la baja rentabilidad ocasionada por los altos costos del energético, su materia prima principal. Sin embargo, a pesar de la adversidad, hubo algunas empresas que lograron subsistir en estas condiciones, lo que hizo que la atención se centrara en ellas.

Toyota Motor Company llamó mucho la atención del mundo, pues solo no sufría problemas mayores ante esa restricción de la economía mundial, sino que además generaba utilidades. Esto generó que el gobierno japonés pidiera a Toyota que "abriera sus puertas" al mundo de la industria, y mostrara que técnicas y estrategias estaba utilizando.

Fue así como Toyota inició su compromiso con la industria mundial, para mostrar las técnicas que le han permitido obtener sorprendentes resultados en cuanto a productividad y competitividad.

¿Qué es el Mantenimiento Esbelto?

El mantenimiento como la manufactura es un proceso productivo, y la ejecución es a menudo ineficiente, se pierde tiempo, no se coordinan adecuadamente las diferentes tareas, se sobrestiman las duraciones de los trabajos y los planes de trabajo, etc.

Para entender la filosofía "esbelta" o "Lean" mirada desde el mantenimiento Joel Levitt (2008), define el mantenimiento esbelto como la prestación de servicios a los clientes con la menor cantidad de desperdicio o exceso posible, entendiendo como exceso, toda aquella actividad que no añade valor al proceso, pero sí, costo y trabajo.

Otra forma de abordar este tema es hacernos la pregunta "Si el cliente supiera esto, ¿estaría dispuesto a pagar por ello?". Entonces el cliente puede estar dispuesto a un sistema eficaz para promover la seguridad, pero también podría no estar dispuesto a pagar por las horas de espera del operador. Todo lo que no aporta valor es un desperdicio. Mientras más libre nos encontremos de desperdicios más cerca estaremos de ser "Esbeltos".

Modelo de Trabajo

Según APSYS "Alstom Production System" (Documento Alstom, 2017), la filosofía del modelo tiene como base "Heijunka", la estandarización, el orden y la limpieza, mantenimiento productivo, y el control visual. El pilar "Just in Time" se utiliza para generar un flujo continuo. El pilar "Jidoka", muestra la faceta de la calidad de los procesos para generar productos y/o servicios de calidad.

A Continuación, describiremos la base y cada pilar de este modelo de trabajo.

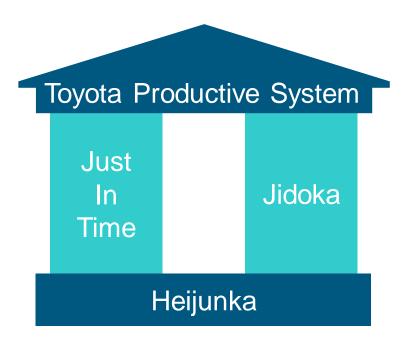


Figura 1: Modelo de trabajo filosofía "Lean Maitenance" Fuente: Documentación de programa Tramway Alstom.

"Heijunka"

Es un proceso de balanceo de carga y de secuenciación, de la planificación de la producción.

Existen dos elementos Heijunka:

- Balancear la carga durante un determinado periodo, en función de la necesidad del cliente.
- Secuenciar la variedad de actividades, definiendo el orden, combinando los diferentes productos.

- 23 -

"Just in time"

Justo a tiempo es un principio de producción, caracterizado por el hecho de "tirar" el

material o equipo de los procesos precedentes.

Se compone de tres elementos:

• Tack Time: Tiempo disponible / necesidad del cliente.

Flujo de la pieza: El operario trabaja solo un equipo a la vez.

• Pull Flow (flujo tirado): En cada proceso, se retiran del proceso anterior las

piezas necesarias, solo cuando se necesitan y en la cantidad necesaria. Cada

proceso "tira o jala" las piezas de su predecesor, sólo cuando son requeridas y

en la cantidad necesaria.

"Jidoka"

Parar cuando se detecta un defecto, para impedir que el equipo avance hasta la

estación siguiente.

Existen dos elementos:

Parada por defecto: detectado por el operario

Autonomía: máquina diseñada para que se detenga automáticamente en caso

de defecto.

Mentalidad Lean

- Solo las personas cambian las cosas.
- El proceso lleva al resultado.
- El valor se crea a partir de los equipos en terreno.
- El apoyo procede del gerente, pero la implementación proviene del terreno.
- Un problema es, una oportunidad de mejora.
- Hay que tratar las causas profundas, no los síntomas.
- Se debe tener un propósito claro.
- Liderazgo efectivo y comprometido.
- Asegurarse que todos entiendan los conceptos.
- Conocimiento de las herramientas.
- Dedicar tiempo y recursos.
- Lograr que se involucre el personal de todos los niveles.
- Implementar reglas para el trabajo en equipo y la transformación.
- Paciencia desde el principio hasta el final.
- Crear una cultura empresarial, basada en buenos hábitos.
- Comprender que existe la necesidad de aprender y enseñar.
- Lograr que todos en la compañía, tengan una profunda confianza en sí mismos.
- Establecer planes bien fundamentados.
- Dar seguimiento a planes, en cuanto a actividades y resultados.

4.2 Los siete despilfarros

Ya que la filosofía "Lean" o "Esbelto" está enfocada a la reducción y/o eliminación de despilfarros, es necesario entender cuáles son estos despilfarros, y como impactan directamente en los costos de la empresa. Es importante destacar que, el despilfarro impacta tanto en costo como en calidad, y entrega del producto o servicio. El resultado de la eliminación de los despilfarros incrementa la satisfacción del cliente, la rentabilidad, el rendimiento y la eficiencia.

El despilfarro y el valor añadido, deben ser los aspectos principales para catalogar los procesos de la empresa. Para entender lo que es un despilfarro, es conveniente explicar que son las actividades que añaden valor, y cuáles no añaden valor.

4.2.1 Actividad con valor añadido (VA):

Es una actividad que produce directamente un cambio que el cliente desea, al grado que esté dispuesto a pagar por ese esfuerzo.

Ej. Cambio, limpieza, montaje, desmontaje de una pieza según el manual de mantenimiento, montaje según plano, control exigido por el cliente, elaboración del informe de entrega al cliente, etc.

4.2.2 Actividad sin valor añadido (NVA):

Es una actividad que consume recursos, pero que no contribuye directamente a la transformación del producto o servicio.

Ej. Espera, retoque, operaciones de control, acondicionamiento de las máquinas, operación de preparación, operaciones redundantes, etc.

"Todo lo que hacemos, es mirar el tiempo entre el momento en que el cliente nos transmite el pedido, y el instante de pago del producto o servicio terminado. Así,

analizamos la forma de reducir este tiempo suprimiendo las operaciones sin valor añadido."

Fuente: Taiichi Ohno, creador de Toyota Production System 1950.

El tiempo de entrega del servicio o producto, queda determinado por la suma de las actividades que añaden valor al proceso, y las que no añaden valor, como podemos ver en la Figura 2.

Una empresa convencional para disminuir el tiempo realiza una típica mejora, disminuyendo las actividades que añaden valor, y no enfocándose donde realmente está el problema, actividades que no añaden valor al proceso, y que en cambio aumentan los costos y disminuyen el nivel del servicio, afectando los resultados obtenidos en el negocio.

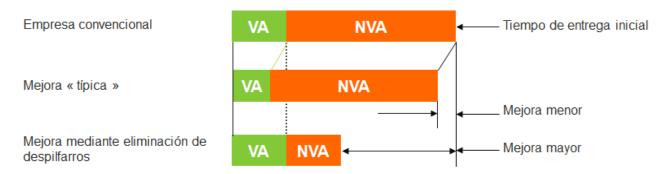


Figura 2: Principio fundamental de Lean.

Fuente: Documentación de programa Tramway Alstom.

Para poder eliminarlos, es necesario conocer y entender bien cada despilfarro.

A continuación, Socconini (2008) describe cada despilfarro.

Sobreproducción:

Hacer más rápido, o antes de lo que es requerido por el siguiente proceso.

También se puede definir a este despilfarro como: producir más de lo que se necesita, producir más rápido de lo que se requiere, manufacturar productos antes de que se necesiten

Características de la sobreproducción:

- Inventario acumulado.
- Más mano de obra que la necesaria.
- Obsolescencia de los materiales.
- Exceso de equipo de gran capacidad.
- Administración compleja de inventarios.
- Problemas ocultos.
- Fabricación anticipada.

Causas de la sobreproducción:

- La producción se adelanta "Por si acaso".
- La comunicación entre departamentos y/o con el cliente, es mala o no existe.
- Cambios y reajustes muy lentos.
- Falta de consistencia en la programación de la producción.
- Insuficiente mantenimiento preventivo.

Sobreinventario

Materiales en exceso, o más material del que se necesita. El sobreinventario es cualquier material, producto en proceso, o productos terminados que, exceden a lo que se necesita para satisfacer la demanda del cliente. Por lo común, los inventarios se generan para evitar las siguientes ineficiencias:

- Pronósticos erróneos sobre la demanda esperada.
- Desequilibrio en la producción.
- Procesos o máquinas separados por grandes distancias.
- Tiempos muy altos para cambio de producto o preparación de máquinas.
- Distribución inadecuada de la planta.
- Producir para aumentar la eficiencia de equipos o áreas individuales.

Características de sobreinventario:

- Espacios grandes en el andén de recepción de materias primas.
- Grandes cantidades de producto en espera de ser procesado.
- Necesidad de recursos adicionales para el manejo de materiales (personas, equipos, estantes, almacenes, sistemas, etc.)

Causas de sobreinventario:

- Escaso conocimiento de la velocidad con la que se presenta la demanda real.
- Cuellos de botella sin control.
- Programación excesiva de tiempo extra.
- Capacidad insuficiente de los proveedores.

Producto o Servicio Defectuoso

Producto o servicio que requiere inspección, clasificación, sustitución o reparación. Esto también puede afectar a la información, si ésta no es precisa o completa.

Este despilfarro se refiere a la pérdida de los recursos empleados para producir un artículo o servicio defectuoso, ya que se invirtieron materiales, tiempo-máquina y lo más importante, tiempo de una persona para realizar un trabajo que, a fin de cuentas, no sirvió para agregar valor al cliente.

También implica el retrabajo, ya que, si bien el defecto puede ser corregido, el retrabajo implica realizar una o más tareas dos o más veces, incurriendo así en más gastos y en la pérdida de disponibilidad de los recursos de la empresa.

Características que generan defectos:

- Inventario acumulado específicamente para ser retrabajado.
- Flujo complejo del producto dentro de la planta.
- Producto o servicio de calidad cuestionable.
- La organización se vuelve reactiva: se "apagan fuegos"

Causas de los defectos y retrabajos:

- Variación excesiva en el proceso de producción.
- Falta de control del proceso.
- Capacitación inadecuada.
- Falta de cultura de calidad.
- Desconocimiento de las causas de los problemas.
- Falta de liderazgo en el tema de la calidad.

Transporte

Todos aquellos traslados de materiales que no apoyan directamente el sistema de producción. Mover los productos de un lado a otro de la planta no se traduce en un cambio significativo para el cliente, pero si implica un costo.

Cabe aclarar que nos referimos en este caso, al transporte dentro de las instalaciones de la empresa, y no a la entrega del producto a clientes.

Características del transporte:

- Exceso de equipo para transportar materiales en montacargas.
- Demasiados sitios de almacenamiento.
- Mal control de los inventarios.
- Demasiado personal para el transporte de materiales.
- Distancias largas entre procesos y almacenes.

Causas del transporte:

- Falta de programas de producción.
- Distribución inadecuada de las instalaciones.
- Cambios en los productos sin hacer los cambios correspondientes en los procesos.
- Adquisición de máquinas más eficientes de lo necesario.
- Programas de producción inconsistentes y con muchos cambios.
- Inversión en horas extras de producción sin contar con un programa definido.

Operaciones inútiles

Esfuerzo extra que no añade valor al producto o servicio, desde el punto de vista del cliente.

Procesos estandarizados que no siempre agregan valor directamente al cliente, donde muchos trabajos, son consecuencia de las necesidades del taller (como el cambio de un troquel de una prensa), de la calidad de la manufactura (inspecciones del artículo antes de enviarlo a la siguiente estación), de la mala planeación de entregas, o de introducción de procedimientos inútiles.

Características de operaciones inútiles:

- Presencia de cuellos de botellas en el proceso.
- Falta de especificaciones claras por parte del cliente.
- Exceso de inspecciones o verificaciones.
- Algunas estaciones permanecen detenidas mientras se hace trabajo administrativo.
- Información excesiva (documentos que no se utilizan).

Causas de las operaciones inútiles:

- Mala comprensión de los procesos.
- Se realizan cambios de ingeniería sin efectuar los cambios correspondientes en el proceso.
- Tecnología nueva mal usada.
- Toma de decisiones en niveles inadecuados.
- Políticas y procedimientos inadecuados.

Esperas

El tiempo que se pierde cuando un operador espera a que su máquina termine su trabajo, cuando las máquinas se detienen en espera de que el operador haga algún ajuste, o incluso cuando tanto el operador como la máquina están en espera de materiales, herramientas, o instrucciones. Todo esto implica un consumo de tiempo que no añade valor al proceso.

Características de la espera:

- El operador espera a que la máquina termine su ciclo de procesamiento.
- El operario espera a otro operario para poder empezar o terminar su trabajo.
- Despreocupación por las fallas de los equipos.
- Paros inesperados de equipo.
- Los tiempos necesarios para el cambio de un producto o para la preparación de una máquina obligan a esperar a la gente.

Causas de la espera:

- Mala programación de la producción.
- Poco control de la producción.
- Falta de programación de los cambios de producto.
- Se emplea demasiado personal.
- No se cuenta con la maquinaria adecuada.
- Falta de programas de capacitación en multihabilidades.
- Falta de capacitación de los operadores.
- Programación inadecuada de horas extras.
- Espera de autorizaciones.

Movimientos inútiles

Traslado de personas de un punto a otro en su lugar de trabajo, o en toda la empresa, sin que ello sea indispensable para añadir valor al proceso, y sin que contribuya a la transformación o beneficio del cliente.

Características de los movimientos inútiles del trabajador:

- Se emplea mucho tiempo en localizar materiales.
- Se emplea mucho tiempo en localizar personas e instrucciones.
- Se emplea mucho tiempo en localizar herramientas.
- Se realizan movimientos innecesarios al agacharse o caminar.
- Se realizan esfuerzos para alcanzar las herramientas o materiales en cada ciclo de trabajo.

Causas de los movimientos inútiles del trabajador:

- Distribución inadecuada de la planta.
- Mala organización del área de trabajo.
- Métodos de trabajo mal definidos o sin actualizar.
- Lotes de producción grandes.
- Los equipos o las personas no trabajan a su máxima capacidad.

4.3 Herramientas de filosofía Lean

4.3.1 Mapa de valor (Value Stream Mapping, VSM)

Rajadell & Sanchez (2010), nos explica que el primer paso para que las empresas se encaminen hacia el "Mantenimiento esbelto", es partir por definir la situación actual o de partida. No se puede comenzar el proceso de mejora si no se tiene claro por dónde hay que empezar, cual es la mejor manera de actuar, y que recursos necesitamos. Para poder autoevaluarnos se realiza un "mapa de la cadena de valor" o en inglés "value stream mapping" que constituirán las bases para la futura mejora.

Wockman & Jones (2003) nos mencionan dos tipos:

El VSM Actual: Nos aporta la visión de la situación real ahora mismo, y nos ofrece la visión general y concreta necesaria para trazar las mejoras posibles que podemos adoptar.

El VSM Futuro: Refleja cuál será la situación, a la que lleguemos tras las mejoras ya implantadas.

Debemos definir antes de realizar un mapa de valor, nuestra cadena o flujo de valor, que son todas las acciones, ya sea que añadan o no añadan valor al proceso, pero que son necesarias para llevar el producto a manos del cliente.

Mediciones importantes que debemos realizar y que Socconini (2010) nos describe son:

Tiempo de ciclo individual: Es el tiempo que dura cada operación individual, como limpiar una pieza o montarla, o cambiarla.

Tiempo de ciclo total: Es el tiempo que duran todas las actividades y se calcula sumando el tiempo de ciclo individual de cada actividad.

Tiempo takt: es la velocidad a la necesidad del cliente, y es el tiempo al que el sistema debe adaptarse, para satisfacer las expectativas del cliente.

Formula:

A continuación, en la Tabla 2 se presenta la simbología de los VSM.

Símbolo	Descripción
	Fuerzas externas: Representa clientes y proveedores
	Flecha de traslado de proveedor a planta o de planta al cliente
	Transporte mediante camión de carga
	Transporte por tren.
	Transporte por avión.

Símbolo	Descripción
	Operación del proceso.
	Casillero de datos que se coloca debajo de las operaciones.
	Flecha de empuje que, se utiliza para conectar operaciones en que el material se mueve mediante sistema empujas
PEPS	Enlace de operaciones basado en secuencia de primeras "entradas y salidas"
Em E	Relámpago Kaizen, Sirve para dar a entender que, en este punto de la cadena de valor, se debe realizar un evento de mejora enfocado en herramientas Lean.

Tabla 2: Simbología que se utilizan en un mapa de valor

Fuente: Elaboración propia basada en el libro Soccocinini, Luis, "Lean Manufacturing, paso a paso", Editorial Norma, 2008.

4.3.2 Eventos Kaizen

Es una palabra japonesa que, significa "mejora continua", proveniente de dos ideogramas japoneses "Kai" que significa cambio, y "Zen" que es para mejorar. Un evento Kaizen es, una cadena de acciones realizadas por equipos de trabajo, cuyo objetivo es mejorar los resultados de los procesos existentes.

Según Silva, Leonardo (2012) por lo general los eventos Kaizen se llevan a cabo cuando:

• Existe un problema de calidad.

- Queremos mejorar la distribución de las áreas.
- Necesitamos reducir el tiempo de entrega a los clientes.
- Necesitamos reducir el tiempo de preparación de las máquinas.
- Deseamos hacer más eficiente el uso de los equipos.
- Necesitamos mejorar el orden y la limpieza.

Según Silva, Leonardo (2012) ¿Qué se puede lograr?

- Mejoras rápidas en el desempeño de procesos
- Tiempos cortos de cambio de productos
- Distribución de la planta
- Desempeño de máquina
- Orden y Limpieza
- Comunicación entre los operadores
- Condiciones más seguras de trabajo

Según Socconini (2008), y documentación APSYS (2017), el paso a paso para la realización de un evento Kaizen es:

- 1. Se plantea el evento Kaizen con al menos 1 mes de anticipación.
- 2. Se elige al líder del equipo (persona con capacidad de liderazgo y conocimiento del tema).
- 3. Se elige al patrocinador del evento (Persona con autoridad, y capaz de tomar decisiones para apoyar propuestas del equipo).
- 4. Se elige al equipo, se recomienda que sean de 7 a 10 participantes en total, participantes que no estén familiarizados con el proceso para evitar la ceguera del taller y participantes expertos en el proceso.
- 5. Se prepara la logística del evento (sala de juntas, presentaciones, etc.)
- 6. Se comunica a los participantes.
- 7. Se prepara la información necesaria para cada tipo de evento.

- 8. El líder del equipo, presenta a todos los participantes y proporciona los objetivos, el alcance, la agenda, las reglas, y los entregables del evento.
- 9. Se proporciona una introducción sobre el tema del evento y la herramienta Lean que se va a ocupar.
- 10. Se establece la situación actual, se analiza el mapa de la cadena de valor, y se destacan las salidas y entradas del proceso.
- 11. Se realiza una visita al área para detectar oportunidades. Es muy importante que todo el equipo visite el área en la que se llevará acabo el evento de mejora. En esta visita a las áreas, es muy importante preguntar al personal cómo perciben la situación, como realizan el trabajo actualmente o si tienen sugerencias de mejora.
- 12. Se realiza una lluvia de ideas para conocer la causa-raíz del problema.
- 13. Se hace una presentación a los directivos en que participan todos los miembros del equipo. Esta presentación contiene la situación que encontraron, las acciones que llevaron a cabo, y los resultados que obtuvieron.
- 14. Finalmente se da seguimiento a las mejoras, para que los dueños del proceso las lleven a cabo de manera cotidiana.

Durante el evento Kaizen, se debe mantener una menta abierta para realizar cambios, mantener una actitud positiva, nunca reservar los desacuerdos, crear un ambiente de cooperación y respeto mutuo, tratar a los demás como gustaría que lo trataran, y nunca quedarse con dudas.

4.3.3 5'S

El autor Sacristán (2005), define las 5s, como un estado ideal, en el que los materiales y útiles innecesarios sean eliminados, todo se encuentre ordenado e identificado, se eliminen todas las fuentes de suciedad y posterior a este, existe un proceso visual mediante el cual salten a la vista las fallas, manteniendo lo anterior y desarrollando mejora continua.

Los autores Sacristán (2005), Socconini (2008) y Aldavert, Vidal & Aldavert (2016) nos describen el paso a paso de las **5's** como:

1's Seiri implica seleccionar:

Separar todo, separar lo que sirve, retirando del lugar todo lo que no sirve, y esto último clasificarlo. Se trata de eliminar todo lo inútil del puesto de trabajo.

2's Seiton permite ordenar:

Situamos los objetos de trabajo en orden, haciéndolos de fácil acceso y bajo el eslogan "un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar". Ordenar los elementos necesarios en el lugar de trabajo.

3's Seiso significa limpiar:

Limpiar completamente el lugar de trabajo y sanear el entorno para anticiparse a los problemas, y también a la misma vez, inspeccionar lo que limpiamos.

4's Seiketsu permite estandarizar:

Mantener la limpieza a través de controles, establecer estándares de limpieza, estandarizar las normas generadas por los equipos. Básicamente es mantener las 3's anteriores.

5's Shitsuke dinamiza seguimiento:

Cualquier momento es bueno para revisar y ver cómo estamos.

La última "s" dinamiza las auditorias de seguimiento, y consolida el hábito de la mejora continua, convirtiendo en hábito, las actividades de las 5's, manteniendo los procesos como un compromiso de todos.

4.4 Pareto

El Sociólogo y economista italiano Vilfredo Pareto (1848-1923), fue quien descubrió hace poco más de cien años, en 1897, la pauta de subyace al principio del 80/20. Publicó "Cours d'economie politique" (1987) que incluía su famosa ley de distribución de ingresos. Fue una formulación matemática complicada, en la que intentó comprobar, que la distribución de los ingresos y la riqueza no es aleatoria, y que aparece un patrón consistente a lo largo de la historia.

Principio del 80/20

El principio del 80/20 establece que, una minoría de las causas o de esfuerzos conducen a una mayoría de resultados o de recompensas. Si se entiende literalmente, esto quiere decir que, por ejemplo, el 80% de lo que conseguimos en un trabajo, es consecuencia del 20% del tiempo que le dedicamos.

Los problemas de calidad se presentan como pérdidas. La mayoría de las pérdidas se deberán a unos pocos tipos de defectos, y estos defectos pueden atribuirse a un número muy pequeño de las causas. Si se identifican las causas de estos pocos defectos vitales, podremos eliminar casi todas las pérdidas, concentrándonos en esas causas particulares y dejando de lado por el momento otros muchos defectos triviales. El principal uso que tiene elaborar este tipo de diagrama es, para poder establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de una organización. Ayuda a los equipos a enfocarse en las causas que tendrán el mayor impacto si son resueltas.

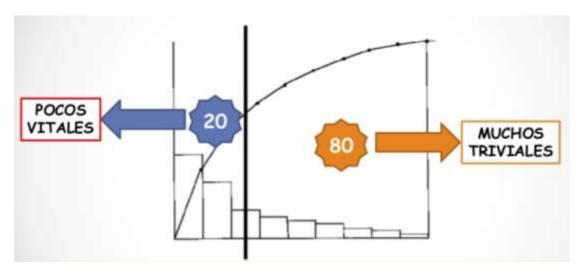


Figura 3: Diagrama del 80/20

Fuente: (https://www.slideshare.net/jul iianaguirre/diagrama-de-pareto-28713035/4)

El diagrama de Pareto, trata de poner de manifiesto gráficamente, la importancia real de cada causa en el problema que, en muchas ocasiones, unas pocas causas generan la mayor parte del problema. De esta forma, centrando esfuerzos en unas pocas causas resolveremos la mayor parte del problema.

Para elaborar un Diagrama de Pareto, debemos seguir los siguientes pasos (Carot, 1998):

- I. Definir el tipo de Problemas que se va a Investigar.
- II. Definir el método y el periodo de recolección de los datos.
- III. Construir una tabla para conteo de datos
- IV. Ordenar los factores de mayor a menor, en función de la magnitud de cada uno de ellos.
- V. Construir el Diagrama de Pareto

4.5 Diagrama de causa-efecto

El Método o Diagrama de Ishikawa, también llamado diagrama de causa-efecto, fue concebido por el licenciado en química japonés Dr. Kaoru Ishikawa en el año 1943, experto en el control de calidad, cuyo aporte fue la implementación de sistemas de calidad adecuados al valor del proceso en la empresa. Se le considera el padre del análisis científico de las causas de problemas en procesos industriales.

Según Vicente Carot (1998), se define como el controlar y mejorar la calidad lo que implica conocer las causas que le afectan, para potenciarlas si la mejoran, y eliminarlas o reducirlas si la empeoran. Podemos afirmar sin miedo a equivocarnos, que cuando las interrelaciones causa-efecto de un proceso son bien conocidas por el personal de la empresa, la mejora continua de la calidad está asegurada, con tal de que estas complejas interrelaciones sean adecuadamente clasificadas, representadas y sintetizadas, de tal forma que permitan una segura identificación. Pero encontrar las causas que inciden sobre la calidad no es tarea fácil por la complejidad de las mismas y las complicadas interrelaciones que entre ellas existen.

Los pasos a seguir para crear un diagrama de Ishikawa son los siguientes:

- I. Describir el Problema.
- II. Describir las causas primarias que originan el problema, variables críticas.
- III. Escribir las causas secundarias que afectan a las primarias.
- IV. Asignar la importancia de cada factor, y destacar los factores particularmente importantes, aquellos que tienen un impacto significativo sobre el problema.
- V. Registrar toda información que sea de utilidad.

En forma de organizar y representar todas las causas que dan origen a un problema, la técnica es preguntarse constantemente ¿Por qué se produce una causa que da origen a un problema?, y obtenida la respuesta nos volvemos a preguntarnos, ¿Por qué?, se producen la nueva causa, y así sucesivamente hasta llegar a un ¿Por qué?,

que no tenga causa que lo produzca, con lo que se habrá llegado a la última causa (la causa raíz o remota del problema).

La mayor cantidad de las veces resolviendo esa última causa, se da con la solución del problema, puesto que todas las causas anteriores desaparecen.

Este diagrama se denomina espina de pescado, y viene determinada por la forma de representar gráficamente cada una de las causas que produce el problema



Figura 4: Diagrama esquemático de Ishikawa.

Fuente: (http://www.aprendeypiensa.com/2012/06/el-metodo-ishikawa.html, 2012)

5. Metodología

Este capítulo, presenta la descripción de la metodología empleada para la concepción de la investigación. Dicha información, es propuesta mediante un ordenamiento secuencial para el levantamiento de la situación actual, y así realizar distintos análisis de los puntos encontrados y sus respectivos resultados.

Con la finalidad de alcanzar una visión integradora de la problemática, se realiza un levantamiento de información necesaria para la identificación de la situación actual de los procesos del mantenimiento. Se presenta una investigación de campo que, es aquella que se efectúa en el lugar, y tiempo en que ocurren los fenómenos objeto de estudio. A su vez cuantitativamente se extraerán datos del sistema SAP (Sistemas, Aplicaciones y Productos), el cual nos entregará las HP dedicadas efectivamente al mantenimiento, para describir la situación actual de la IM5A.

De acuerdo con el periodo de tiempo en que se desarrolló el estudio, el presente trabajo es de tipo transversal, ya que apunta a un momento y tiempo definido, cuyo estudio se desarrolló en febrero del año 2019.

5.1 Etapas de la investigación

- I. Recolección de datos.
- II. Análisis del estado actual del mantenimiento.
- III. Implementación de herramientas Lean.
- IV. Levantamiento de datos.
- V. Análisis de resultados
- VI. Análisis económico.
- VII. Conclusión y recomendaciones.

6. Identificación de la Situación Actual

6.1 Descripción del proceso

La IM5A, se realiza en el taller de Gran Revisión (GR), debido a la gran cantidad de actividades de mantenimiento este se divide en 5 talleres de especialidades (estaciones de trabajo) ubicados estratégicamente para realizar el desmontaje de los bogíes de la manera más óptima posible.

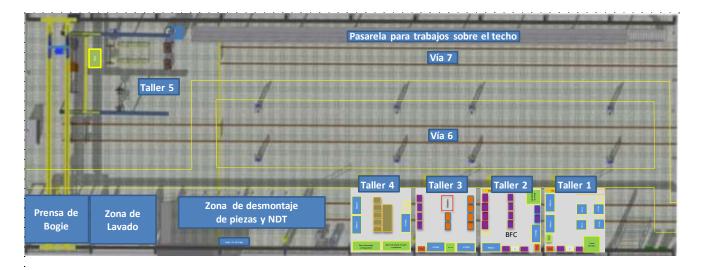


Figura 5: Lay-out GR.

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se describen las actividades de mantenimiento de la IM5A, realizadas en los distintos talleres de especialidades o estaciones de la GR.

Bogies:

Al inicio del mantenimiento se realiza el desmontaje y desarme de los bogies, luego limpieza y despintar el chasis, inspección NDT del chasis, unión de chasis con ejes y resto de equipos, y finalmente el taraje de bogies

Taller 1: Tracción

Se realiza el mantenimiento de los equipos de tracción; reductor, motor de tracción y acople esco, que se basa en el desarme de los componentes, limpieza exterior de equipo y limpieza de piezas, cambio de piezas sistemático y correctivo si se necesita, armado final y pruebas. Las pruebas de funcionamiento del reductor son realizadas actualmente en el torno vertical que, se encuentra a un costado del taller GR en vía 8.

Taller 2: BFC

Se realiza el mantenimiento de los blocks de freno, que se basa en el desarme, lavado y secado, cambio de piezas sistemático y correctivo si se necesita, armado y pruebas finales.

Taller 3: Silentblock

Se realiza el mantenimiento de la timonería, biela, pivote, centro de tracción y TBU (tapered Bearing Units) "Rodamientos cónicos". Se basa en desarme, limpieza y armado para todos los equipos, cambio de piezas sistemático y correctivo, y para los rodamientos TBU; mediciones e inspección NDT (non destructive testing).

Taller 4: Suspensión

Se realiza el mantenimiento de los amortiguadores verticales y horizontales, su limpieza y test. También de las suspensiones primaria y secundaria; desmontaje, cambio de suspensión primaria, limpieza y test de resorte de la suspensión secundaria, inspecciones NDT.

Taller 5: Ruedas

Se realiza el mantenimiento de las ruedas y los ejes; el desmontaje, la medición y mecanizado de todas las ruedas, montaje y cambio de discos. Y la limpieza y medición de la caja de rodamientos, montaje de carbones y captores, inspección NDT de los ejes y la medición de los parámetros calados.

Cruce de bogies:

El cruce de bogies, se realiza el último día del mantenimiento, y consiste en desmontar del tren los 2 bogies motrices y los 2 bogies remolques, y realizar un cruce con las norias que ya están mantenidas, armadas y taradas, para ser montadas en el tren.

6.2 Cantidad total de componentes

El Overhaul de Bogie se subdivide en 15 procesos de mantenimiento y en total por cada tren al que se realiza un Overhaul se intervienen 148 equipos, contando la flota completa de los 27 "X'trapolis 100" más 1 noria (Stock adicional) en total son 4144 equipos. A continuación, se muestra la tabla con el detalle de la cantidad de equipos por tren y también por la flota completa más la noria.

Taller	Item	Equipo	Cantidad por tren	Cantidad por flota	+ 1 Noria (Stock adicional)
	1	Motor de tracción	4	108	112
Tracción	2	Reductor	4	108	112
	3	Acople Esco	8	216	224
BFC	4	Block de Freno	16	432	448
	5	Timonería	8	216	224
	6	Biela	4	108	112
Silentblock	7	Pivote	4	108	112
	8	Centro de Tracción	4	108	112
	9	TBU	16	432	448
	10	Amortiguadores	12	324	336
Cuananaián	11	Suspensión Primaria	32	864	896
Suspensión	12	Suspensión Secundaria	8	216	224
	13	Chasis	4	108	112
Duadaa	14	Ruedas	16	432	448
Ruedas 15 Ejes			8	216	224
		Total	148	3996	4144

Tabla 3: Cantidad total de componentes.

Fuente: Elaboración Propia.

6.3 Identificación del equipo de trabajo

La IM5A, se realiza con una fuerza laboral 1 jefe de proyecto, 1 jefe de taller, 1 supervisor, 11 técnicos de la empresa, 5 técnicos de apoyo, y áreas de soporte.

- Jefe de proyecto: Es el responsable de las labores de dirección y gestión de proyecto para cumplir con los objetivos de la organización.
- Jefe de taller: Responsable de desarrollar las labores de planificación, control y coordinación de las distintas actividades de mantenimiento de la empresa, para cada taller.
- Supervisores: Encargado de la operación y supervisión de las actividades de mantenimiento.
- Técnicos empresa: Realizan las actividades de mantenimiento, según los procedimientos y las instrucciones de trabajo.
- Técnicos Contratistas: Apoyan los trabajos, específicamente las actividades de limpieza y lavado.
- Áreas de soporte: Son las encargadas de apoyar a la operación del mantenimiento para que este se realice de la manera más óptima posible. (Ingeniería, Industrialización, Calidad, Bodega, Compras, Prevención de Riesgos, etc.)

6.3.1 Organigrama

En la Figura 6, se presenta el organigrama de la empresa, enfocado en las funciones que engloban al proceso de gestión, y principalmente a la operación del mantenimiento de la IM5A.

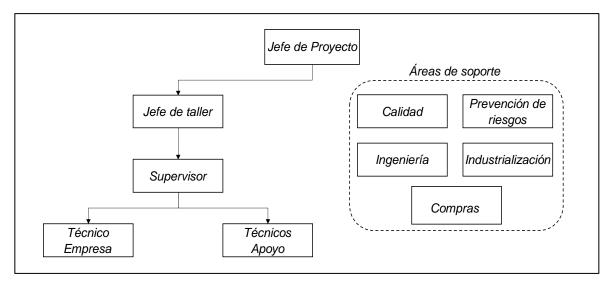


Figura 6: Organigrama de la IM5A.

Fuente: Elaboración propia.

6.4 Mapa de proceso

Conociendo el flujo de proceso de mantenimiento de la IM5A se realiza un mapa con todas las actividades de mantenimiento que se realizan, y también el taller donde se realizan.

El mapa de procesos, permite tener una visión general del mantenimiento, específicamente del movimiento de componentes dentro del taller.

El torno sumergido (Donde se realizan las pruebas del reductor, mientras se espera la llegada del banco de pruebas), se encuentra en vía 8, esta zona, es fuera del taller de GR, y el resto de los talleres y zonas, se encuentran dentro de la GR como muestra la Figura 5: Lay-out GR.

Las flechas del mapa, indican el movimiento de componentes de una estación o taller hacia otra, pero no el movimiento dentro de la misma estación.

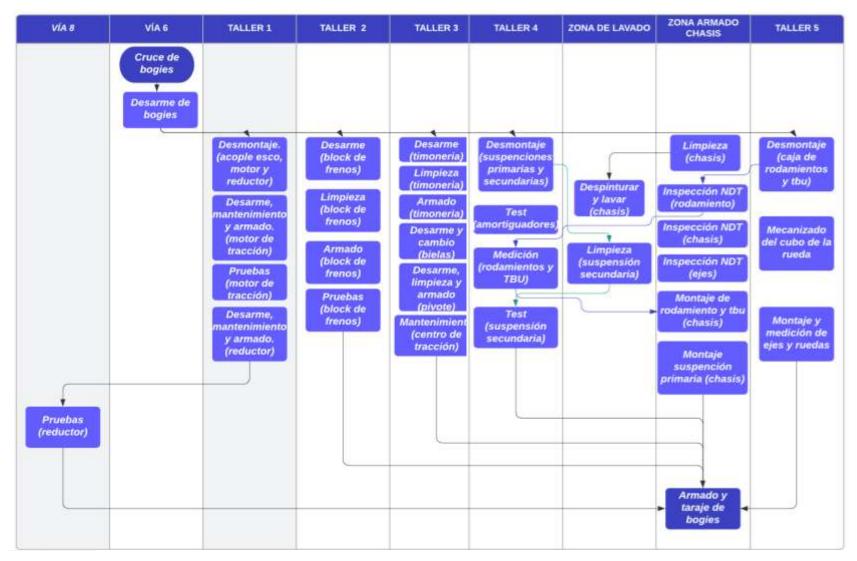


Figura 7: Mapa de proceso IM5A.

Fuente: Elaboración Propia en base a datos proporcionados por la empresa y observación en terreno.

6.5 Lead time actual

El "Lead Time", es el tiempo total que transcurre desde que inicia el proceso de producción hasta que se termina. Actualmente el lead time de la IM5A es de 20 días hábiles por tren.

	Lead Time Overhaul de bogie actual																			
Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Proceso general	Desarme de bogies						M	anteni	miento	o comp	oonent	tes							nado ogies	Cruce de bogies

Figura 8: Secuencia de tareas de la IM5A.

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos ver en la Figura 8, actualmente el primer día del mantenimiento se realiza el desarme de los bogies y traslado de los equipos a sus respectivos talleres, luego se realiza el mantenimiento de los componentes, los días 18 y 19, el armado y taraje de los bogies y el día 20 el cruce de bogies.

6.6 Tiempo método actual.

El mantenimiento de la IM5A, lo realizan un total de 16 operarios de mantenimiento mecánico; de los cuales 11 pertenecen a la empresa Alstom, y 5 pertenecen a una empresa contratista, quienes realizan tareas de lavado y limpieza de equipos, también como soporte en el cruce, desarme y armado de bogíes.

El tiempo método es la cantidad total de horas que invierten en los operadores para la realización las actividades de mantenimiento, actualmente 8 horas diarias y un total de 20 días por IM5A.

El primer tren xt001 ocupó un total de 2828 HP y el segundo tren xt002 ocupó 2624 HP, ambos en 20 días hábiles y horas extras de los operarios.

Desde el tercer tren xt003 se realiza en 20 días hábiles con un gasto de 2560 HP total.

Tren	HP Alstom	HP Contratista	HP total por tren
Xt001	1958	870	2828
Xt002	1804	820	2624
Xt003	1760	800	2560
Xt004	1760	800	2560
Xt005	1760	800	2560

Tabla 4: Evolución de tiempos métodos.

Fuente: Elaboración propia, con información proporcionada por la empresa de la plataforma SAP.

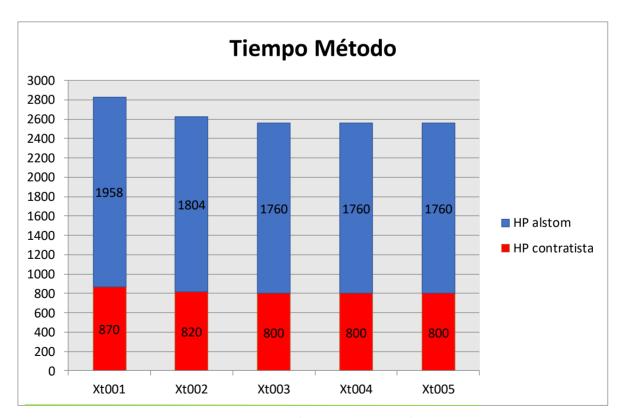


Figura 9: Evolución de tiempo método.

Fuente: Elaboración Propia.

6.7 Takt time

El kilometraje en que se debe realizar el Overhaul según el contrato de mantenimiento tiene una cota máxima estipulada de +10% del 1.400.000 kilometros, por lo tanto, como máximo la realización de la IM5A en los trenes "X'trapolis 100" debe ser al 1.540.000 kilómetros.

Para cumplir con la cota de mantenimiento que se muestra en el odómetro de la Tabla 1 con una proyección promedio de 10.000 kilómetros mensuales de recorrido por tren, se debe finalizar la IM5A para la flota completa de 27 trenes en el mes de Julio del 2020 como máximo plazo, asegurando el no pasar el kilometraje estipulado en ningún tren, comenzando con el Overhaul al 1.510.000 kilómetros de recorrido aproximadamente, realizando la IM5A en un +7,8% de lo estipulado en el manual de mantenimiento y dentro de la cota máxima del contrato. También cumpliendo con planificación inicial que se realizó antes de comenzar la IM5A.

Existe un gap de 13 meses para realizar la IM5A en los 20 trenes restantes.

Takt time =
$$\frac{13 \text{ meses}}{20 \text{ trenes}} = 0.65 \frac{\text{mes}}{\text{tren}} * 20 \frac{\text{días}}{\text{mes}} = 13 \text{ días}$$

Cantidad de trenes al mes:

$$\frac{20 \text{ trenes}}{13 \text{ meses}} = 1.5 \text{ trenes/mes}$$

Realizar 1.5 trenes al mes, a partir del mes de mayo del 2019 como punto inicial la vuelta de vacaciones de los operarios y podemos ver en detalle en la Tabla 5.

	Cantidad de trenes mensual									
Nori	а	Oct-19	Nov-19	Dec-19	Jan-19	Feb-19	Mar-19	Apr-19		
1		1	1	1	1	1	1	0		
May-	19	Jun-19	Jul-19	Aug-19	Sep-19	Oct-19	Nov-19	Dec-19		
1.5		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5		
Jan-2	20	Feb-20	Mar-20	Apr-20	May-20	Jun-20				
1.5		1.5	1.5	1.5	1.5	0.5				

Tabla 5: Tiempo de implementación y cantidad de trenes mensuales. Fuente: Elaboración Propia.

6.8 Análisis de la situación actual

Todos los datos de la documentación utilizada son primeramente digitalizados en planillas Excel, para luego ser procesados y obtener información sobre las variables.

Para la identificación del problema se realiza un levantamiento de horas personas, dedicadas a cada equipo proporcionados por la empresa Alstom, para establecer la situación actual.

Para la identificación de los equipos del tren "cuellos de botella" del proceso de IM5A, se utiliza el Diagrama de Pareto.

La información referente a cantidad de horas que se dedican al mantenimiento de los equipos es extraída desde la plataforma SAP (Sistemas, Aplicaciones y Productos).

Dicha información es registrada previo al inicio de las actividades de mantenimiento, los técnicos realizan una orden de servicio, donde registran los siguientes datos:

- Nombre de los técnicos involucrados;
- Equipo por intervenir;
- hora de inicio;
- hora de término.

Estos datos posteriormente son cargados a la plataforma SAP, por el personal administrativo.

Primero se realiza un Pareto para identificar el taller que genera mayores demoras, y luego un Pareto para identificar los equipos que generan la mayor inversión de HP, con las horas cargadas del cuarto tren.

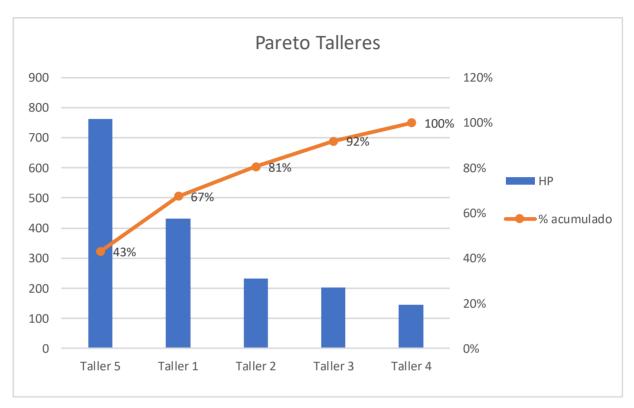


Figura 10: Pareto HP por talleres.

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo B

Los datos representados en el Figura (Tabla anexo B) nos permiten demostrar claramente que el taller que consume la gran cantidad de HP son el taller 5, que corresponde al taller de ruedas con un 43%, luego el taller 1 que corresponde al taller de tracción con un 24% y por último el taller de block de freno con un 13%.

Sólo se consideraron los talleres, y no las zonas de lavado, taraje de bogie, o desarme y armado de bogies.

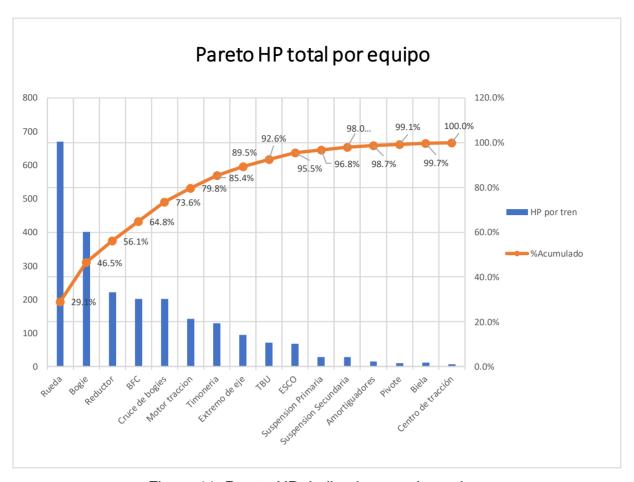


Figura 11: Pareto HP dedicadas a cada equipo.

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo D

La representación de los datos (Tabla Anexo D), nos muestran los equipos a los cuáles se les dedica mayor porcentaje del tiempo empleado en el mantenimiento de la IM5A, siendo estos mayormente las ruedas, a la cual se le dedica un 29,1% del tiempo total empleado, luego los bogies dedicando un 17,4% del tiempo total empleado, le sigue el reductor con un 9,6% del tiempo total empleado, a continuación el block de freno (BFC) con un 8,8% del tiempo total empleado y el cruce de bogies con 8,8%, por último tenemos el motor de tracción con un 6,2% del tiempo total empleado en la IM5A.

7. Implementación de Herramienta Lean

En el capítulo anterior, se analizó e identificó claramente la situación actual de la IM5A, analizando los tiempos de duración en que los trabajos son realizados. Con los resultados de los análisis de Pareto se definió el alcance del estudio, que serán los talleres de tracción específicamente el mantenimiento del reductor y el taller de ruedas, sin perder de vista las actividades rutinarias que realizan todos los operarios en común. El siguiente estudio se realizó aplicando las herramientas de mantenimiento esbelto, como mapa de valor, eventos kaizen, 5's y 7 despilfarros para realizar un levantamiento de datos, mejorar la situación actual y encontrar los problemas que están produciendo las demoras en la entrega del servicio al cliente.

7.1 Mapa de Valor

7.1.1 Recolección de datos

Para poder realizar la investigación, se siguieron los siguientes pasos con el fin de recaudar los datos necesarios:

- Se solicitó al departamento de industrialización, que proporcionara los datos de "tiempos esperados", de cada actividad de mantenimiento, con la que se planificó y realizó la proyección para la realización de la IM5A.
- Es importante destacar que estos cálculos, son realizados por el ingeniero de industrialización, basado en el retorno de experiencia de otros talleres de Alstom, donde ya se hizo este mantenimiento.
- Se realizaron visitas en terreno, para realizar preguntas a los operarios, y observaciones de los procesos de mantenimiento de reductor y ruedas.

7.1.2 Cadena de Valor

Con los datos recolectados se realizaron las tablas de los tiempos esperados en el mantenimiento, estos tiempos son los que se proyectaron previo al inicio del Overhaul con el retorno de experiencia de otros talleres de Alstom que ya pasaron por este proceso, y los tiempos reales actuales que están tomando estas actividades observadas en sitio.

7.1.2.1 Reductor

Las actividades que se realizan al reductor son, la limpieza exterior, el desarme, la limpieza de las piezas, el cambio de piezas, el armado y las pruebas finales de funcionamiento.

	Performa	ance e	sperada							
Equipo	Tarea	н	Cantidad de técnicos	Cantidad de tareas	Total, HP por tarea	Total, HP por tren				
Reductor	Limpieza exterior Reductor	2	1	4	2	8				
Reductor	Desarme Reductor	2.5	2	4	5	20				
Reductor	Limpieza piezas de Reductor	4.5	1	4	4.5	18				
Reductor	Mantenimiento Piezas Reductor	2	2	4	4	16				
Reductor	Pruebas en vacío Reductor	1	3	4	3	12				
Reductor	Armado final Reductor	2.5	3	4	7.5	30				
	TOTAL									

Tabla 6: Tiempos esperados reductor.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Alstom.

	Performance Actual									
Equipo	Tarea	н	Cantidad de técnicos	Cantidad de tareas	Total, HP por tarea	Total, HP por tren				
Reductor	Limpieza exterior Reductor	3.5	1	4	3.5	14				
Reductor	Desarme Reductor	5	2	4	10	40				
Reductor	Limpieza piezas de Reductor	6	1	4	6	24				
Reductor	8	32								
Reductor Pruebas en vacío Reductor 5 3 4 15										
Reductor Armado final Reductor 3.5 3 4 10.5										
TOTAL										

Tabla 7: Tiempos reales reductor.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Alstom.

Limpieza exterior Reductor

Tiempo ciclo planificado: 8 horas.

Tiempo ciclo real: 14 horas.

Cantidad de operarios: 1 operario.

Desarme Reductor

Tiempo ciclo planificado: 10 horas.

Tiempo ciclo real: 20 horas.

Cantidad de operarios: 2 operarios.

Limpieza de piezas Reductor

Tiempo ciclo planificado: 18 horas.

Tiempo ciclo real: 24 horas.

Cantidad de operarios: 1 operario.

Mantenimiento Reductor

Tiempo ciclo planificado: 8 horas.

Tiempo ciclo real: 16 horas.

Cantidad de operarios: 2 operarios.

Armado Reductor

Tiempo ciclo planificado: 10 horas.

Tiempo ciclo real: 14 horas.

Cantidad de operarios: 2 operarios.

Pruebas Reductor

Tiempo ciclo planificado: 4 horas.

Tiempo ciclo real: 20 horas.

Cantidad de operarios: 3 operarios.

Tarea	Tiempo ciclo planificado	Tiempo ciclo real	Diferencias
Limpieza exterior Reductor	8	14	6
Desarme Reductor	10	20	10
Limpieza piezas de Reductor	18	24	6
Mantenimiento Reductor	8	16	8
Pruebas Reductor	4	20	16
Armado final Reductor	10	14	4

Tabla 8: Resumen de tiempos ciclo esperados y reales mantenimiento reductor. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Alstom.

7.1.2.2 Ruedas

Las principales actividades que se realizan en el mantenimiento de las ruedas del tren son: desmontaje de las ruedas del eje, mecanizado de las nuevas ruedas, montaje de las nuevas ruedas en el eje, medición de ruedas y cambio de discos.

	Performance Esperada									
Equipo	Tarea	Horas de actividad	Cantidad de técnicos	Cantidad de tareas	Total, HP por Tarea	Total, HP por tren				
Rueda	Desmontaje de rueda	1	3	16	3	48				
Rueda	Mecanizado de Rueda	3	3	16	9	144				
Rueda	Montaje de Rueda	1	3	16	3	48				
Rueda	Cambio de discos	2	2	8	4	32				
Rueda	Rueda Medición de rueda 0.5 2 16 1									
TOTAL										

Tabla 9: Tiempos esperados ruedas. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Alstom.

	Performance Actual									
Equipo	Tarea	Horas de actividad	Cantidad de técnicos	Cantidad de tareas	Total, HP por Tarea	Total, HP por tren				
Rueda	Desmontaje de rueda	2	3	16	6	96				
Rueda	Mecanizado de Rueda	5	3	16	15	240				
Rueda	Montaje de Rueda	3	3	16	9	144				
Rueda	Cambio de discos	2.5	2	8	5	40				
Rueda	Medición de rueda	0.5	2	16	1	16				
TOTAL										

Tabla 10: Tiempos reales ruedas.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Alstom.

Desmontaje Rueda

Tiempo ciclo planificado: 16 horas.

Tiempo ciclo real: 32 horas.

Cantidad de operarios: 3 operarios.

Mecanizado de Rueda

Tiempo ciclo planificado: 48 horas.

Tiempo ciclo real: 80 horas.

Cantidad de operarios: 3 operarios.

Montaje de Rueda

• Tiempo ciclo planificado: 16 horas.

Tiempo ciclo real: 48 horas.

Cantidad de operarios: 3 operarios.

Cambio de discos

Tiempo ciclo planificado: 16 horas.

• Tiempo ciclo real: 20 horas.

Cantidad de operarios: 2 operarios.

Medición de Rueda

Tiempo ciclo planificado: 8 horas.

• Tiempo ciclo real: 8 horas.

Cantidad de operarios: 2 operarios.

Tarea	Tiempo ciclo planificado	Tiempo ciclo real	Diferencias
Desmontaje de rueda	16	32	16
Mecanizado de Rueda	48	80	32
Montaje de Rueda	16	48	32
Cambio de discos	16	20	4
Medición de rueda	8	8	0

Tabla 11: Resumen de tiempos ciclo esperados y reales mantenimiento reductor. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Alstom.

7.1.3 Mapa de Valor Actual

Una vez recolectados y ordenados los datos necesarios, se procedió a realizar el mapa de valor actual donde representamos todas las actividades de los procesos, en el tiempo que se planificó "tiempo esperado" y la diferencia con los tiempos reales actuales "tiempo actual".

Se consideraron los tiempos que se habían calculado en la planificación de la IM5A, como los tiempos de ciclo, y la diferencia de los tiempos reales actuales de cada actividad con los tiempos planificados, como los tiempos que no añaden valor al proceso.

7.1.3.1 Reductor

En el mapa de valor actual del reductor representamos todas las actividades del proceso, tanto las que agregan valor, como las que solo agregan costo y tiempo.

Este mapa nos permite poder ver todo el flujo de información de operaciones y hasta la entrega al cliente. También observamos que en el sistema actual, el tiempo de entrega es de 108 horas, tomando en cuenta que se trabajan 8 horas diarias, el "Lead Time" de reductor es de 14 días, por lo que estamos invirtiendo un total de 50 horas más en la operación de lo que se planificó. Mirando el mapa podemos detectar fácilmente las áreas de oportunidad de mejora donde enfocar la posterior implementación del evento Kaizen.

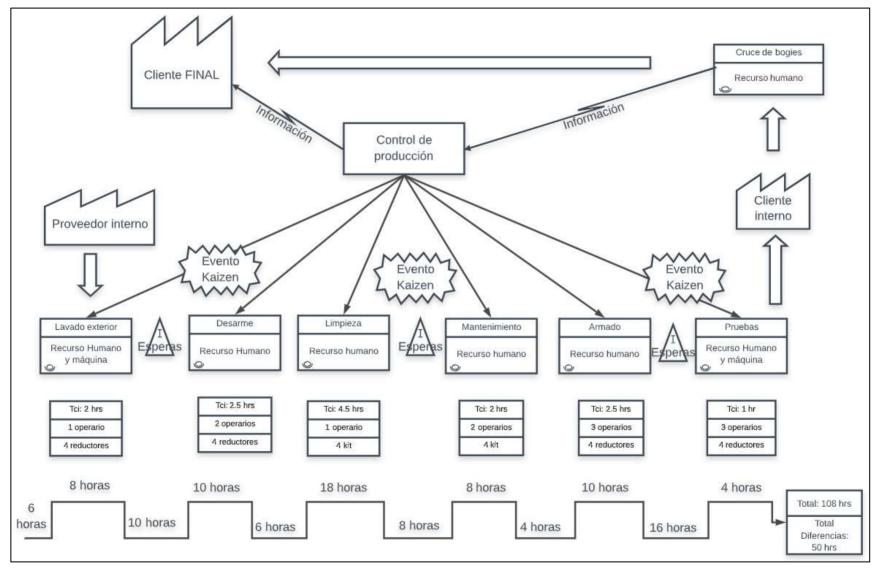


Figura 12: Mapa de valor actual mantenimiento reductor. Fuente: Elaboración Propia.

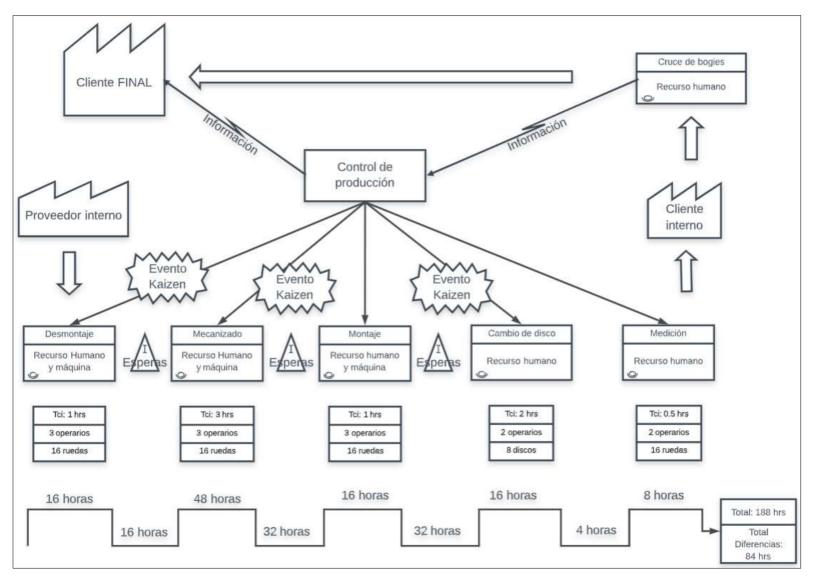


Figura 13: Mapa de valor actual mantenimiento ruedas Fuente: Elaboración Propia.

Ruedas:

En el mapa de valor actual del mantenimiento de ruedas, representamos todas las actividades del proceso, tanto las que agregan valor, como las que solo agregan costo y tiempo. También nos permite poder ver todo el flujo de información al cliente, observamos que en el sistema actual el tiempo de entrega es de 188 horas, y estamos invirtiendo un total de 84 horas más en la operación.

7.2 Evento Kaizen

El evento Kaizen, se realizó con el objetivo de identificar y encontrar los despilfarros y problemas que se están generando al momento de ejecutar las tareas de mantenimiento y generando las demoras en él proceso, obteniendo datos cuantificables y calificables para un posterior análisis.

Pasos previos a la realización del evento:

Definir claramente el objetivo del evento

El objetivo es encontrar los despilfarros que están generando, las demoras en el proceso, e implementar herramientas lean de mejora.

Definir alcance del evento

A partir del mapa de valor actual del taller de ruedas y reductor se definen los alcances del evento Kaizen, identificando las áreas de oportunidad de mejoras, que son las actividades de mantenimiento donde se están invirtiendo mucho más horas de lo planificado, como podemos observar en la Figura 12 y Figura 13

• Frecuencia del evento

Se realizarán 4 eventos en total, los cuales serán efectuados cada 4 días hábiles a partir del cuarto día del Overhaul del quinto tren. Con el objetivo de obtener datos e información de las actividades iniciales, medias y finales del proceso de mantenimiento de ruedas y del reductor.

							Fre	cue	ncia	de	eve	nto	Kaiz	en						
Días de mantenimiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Evento 1																				
Evento 2																				
Evento 3																				
Evento 4																				

Figura 14: Frecuencias de eventos Kaizen.

Fuente: Elaboración Propia.

Evento 1: Realizar observaciones del proceso, registrando en hoja de datos las actividades que añaden y no valor al proceso, y realizar plan de acción para implementar en el siguiente evento.

Evento 2: Implementar mejoras propuestas en el plan de acción del evento anterior, y continuar con la observación del proceso, registrando las actividades en la hoja de registro.

Realizar plan de acción para implementar en el siguiente evento.

Evento 3: Implementar mejoras propuestas en el plan de acción del evento anterior, y continuar con la observación del proceso, registrando las actividades en la hoja de registro.

Realizar plan de acción para implementar en siguiente evento.

Evento 4: Implementar mejoras propuestas en el plan de acción del evento anterior, y continuar con la observación del proceso registrando las actividades en la hoja de registro.

· Hoja de registro

Se realizó la creación de una hoja de registro de la observación de proceso, en la cual se debe:

- I. Registrar la actividad de mantenimiento.
- II. Identificar y registrar los tiempos que añaden valor.
- III. Identificar y registrar tiempos que no añaden valor.
- IV. Sumar la cantidad total de tiempo empleado en las actividades.

Ver Anexo E

Participantes del evento

El líder del equipo, es el Ingeniero del departamento de industrialización de Alstom, y los patrocinadores del evento son, el Jefe de operaciones y el Jefe de proyecto.

Se invitó un comité de observadores, involucrando algunas de las áreas de soporte de Alstom que son el departamentos de ingeniería, calidad, industrialización, operaciones y EHS (Medio Ambiente, salud y seguridad).

Días previos a comenzar con los procesos de observación reciben una capacitación, la cual es realizada por el Líder de Industrialización del taller, con el fin de proporcionar una introducción sobre el tema del evento, explicar la situación actual del mantenimiento mayor, y enseñar los principios de la metodología "Lean" específicamente, evento Kaizen, y la herramienta de los 7 desperdicios, con el objetivo que el equipo pueda identificar de forma clara y sencilla, que actividades añaden valor al proceso, y que actividades no añaden valor al proceso, teniendo presente que las actividades que agregan valor al proceso son todas aquellas que el cliente está dispuesto a pagar.

Posterior a los eventos, se realiza una reunión con todos los participantes del evento realizando la recolección de las hojas de registro llenadas por nuestros observadores, y realizar una lluvia de ideas, para proponer planes de acción con mejoras "Lean", a implementar en los siguientes eventos.

7.2.1 Primer evento Kaizen: proceso de observación

Programación:

Hora	Equipo 1	Equipo 2				
8:30 - 13:00	Observación proceso de ruedas	Observación proceso reductor				
14:00 - 17:30	Observación proceso de ruedas	Observación proceso reductor				
17:30 – 18:30	Reunión equipos					

Tabla 12: Programación segundo evento Kaizen.

Fuente: Elaboración Propia.

El primer día, sólo se realizaron observaciones de los procesos, para lo cual se dividieron los participantes en dos equipos, un equipo en el taller de reductor y el otro equipo en el taller de ruedas, se registran los datos en las hojas de observación del proceso y posteriormente se reúne al equipo para realizar la lluvia de ideas.

7.2.2 Análisis de los despilfarros encontrados y plan de acción del primer evento:

En los despilfarros que se detectaron en el primer evento se ven involucrados todos los operarios de la IM5A, por lo tanto, tienen un impacto relevante en el tiempo final de entrega del producto siendo en nuestro caso la entrega del tren con el Overhaul de Bogie completo y validado.

Las desviaciones las describimos a continuación:

- Las herramientas están desordenadas en el taller y no tienen una posición fija, por lo tanto, se encuentran en todo el taller y las utilizan todos los operarios.
 Como consecuencia los operarios deben moverse de su estación de trabajo para ir en busca de la herramienta necesaria a otras estaciones.
- 2. Los dispositivos de seguimiento y medición (DSM); existen muy pocos para la cantidad de actividades en el taller y no están asociados a un operador fijo que se responsabilice con el cuidado y orden; si bien se realiza un seguimiento de su fecha de calibración; no existe un reemplazo de esta herramienta cuando sale del taller e ingresa al laboratorio de calibraciones.
- 3. Debido a la falta de coordinación en las tareas de mantenimiento es que algunos operadores cuentan con largos tiempos no productivos.
- 4. Los operarios deben ir a buscar documentación (fichas de control, fichas de autoinspección, permisos de trabajo y otros) al edificio administrativo. Y lo mismo sucede con la búsqueda de insumos cuando se agotan, deben ir a buscar a bodega que se encuentra lejos del taller.
- 5. No se encuentran definidos todos los métodos de trabajo para el izaje de equipos, ya sea para ser montados, desmontados o para traslado dentro del mismo taller, perdiendo tiempo decidiendo cuál es la mejor manera de realizar la maniobra de izaje.
- 6. Los espacios de almacenamiento de piezas cambiadas no son claros, lo que genera desorden y exceso de material no conforme en el taller. Se ha detectado una mala calidad de los servicios externos encargados del retiro de acero, al no cumplir con la frecuencia de retiro.

Una vez identificados cuáles son los despilfarros generales del primer evento, se realizó una lluvia de ideas para proponer soluciones, realizando un plan de acción que define a los responsables y el evento en que se comprometen a la realización de la actividad. A continuación, en la Tabla 13 presentamos el plan de acción del primer evento kaizen.

EVENTO 1					
Despilfarro	Observaciones	Solución	Responsable	Implementación	
Esperas	Herramientas desordenadas	5'S	Industrialización	Evento 2 y 3	
Movimientos inútiles	Almacenamiento de material no conforme no es específico	5'S	Industrialización	Evento 2 y 3	
Operaciones inútiles	Llenado de documentación excesiva y repetitiva	Simplificar documentación	Calidad e Ingeniería	Evento 3	
Procesos innecesarios	Reunión inicial demasiado extensa	Disminuir tiempo a 15 minutos	Operaciones	Evento 2	
Procesos innecesarios	Métodos de izaje y procedimientos no definidos	Definir Método	Industrialización	Evento 4	
Transporte	Búsqueda de documentación	5'S	Industrialización	Evento 2 y 3	
Transporte	Búsqueda de insumos	5'S	Industrialización	Evento 2 y 3	

Tabla 13: Plan de acción primer evento Kaizen.

Fuente: Elaboración Propia.

- 1. Se propone realizar un orden total de las herramientas mediante un 5's de los talleres de reductor y ruedas.
- 2. Definir zonas para el exceso de material no conforme y realizar tarjetas de identificación de material (no conforme, conforme, en proceso)
- 3. Se solicita a las áreas soporte, Calidad e Ingeniería realizar la disminución de la documentación doblada que deben llenar los operarios y definir métodos. A industrialización realizar los planes de izaje faltantes.

4. Se acuerda con el supervisor del taller GR, disminuir la reunión inicial de la mañana a 15 minutos, ya que actualmente se extiende hasta 45 minutos.

7.2.3 Segundo evento Kaizen: Implementación 5's y proceso de observación

Programación:

Hora	Equipo 1	Equipo 2
8:30-13:00	Implementación 5's ruedas	Observaciones reductor
14:00-17:30	Implementación 5's reductor	Observaciones ruedas
17:30 – 18:30	Reunión equipos	17:30 – 18:30

Tabla 14: Programación segundo evento Kaizen.

Fuente: Elaboración Propia.

El segundo día, la mitad del equipo realizó la implementación de las primeras 2's trabajando en conjunto con los operarios correspondientes a cada taller, y la otra mitad del equipo continuó con el proceso de observación en los talleres.

El orden de las herramientas y el exceso de material no conforme, son algunos de los problemas que se observaron en el primer evento Kaizen, afectando los tiempos de operación, por lo que en el día 2 del evento, se comenzó con la implementación de la herramienta 5's en las estanterías de los talleres, y luego definiendo zonas de acopio de material no conforme. En este segundo evento, implementaremos las primeras 2's que son seleccionar y ordenar.

A continuación, las actividades realizadas en el segundo evento.

Seleccionar: Previo al segundo evento Kaizen, se realizó un levantamiento total de las herramientas que se utilizan para el mantenimiento de cada equipo del Overhaul, revisando los manuales de mantenimiento de fábrica y consultando al personal operativo, (Ver Anexo F). Al mismo tiempo se realizó un levantamiento de todos los desechos que se generan en el taller (ver Anexo G). Una vez hemos definido las herramientas que, si utilizamos, se retiran del lugar de trabajo todas las que no

utilizamos, y se realiza una separación de estas según el siguiente criterio de selección y segregación que podemos ver en la Tabla 15.

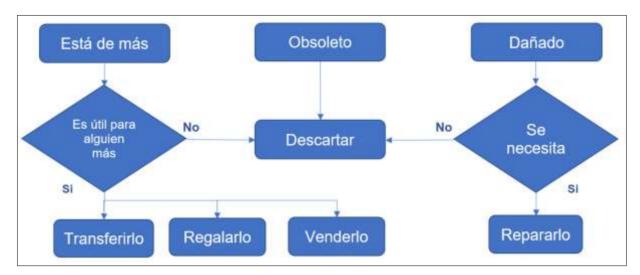


Tabla 15: Criterios de selección de las herramientas que no se utilizan en los talleres. Fuente: Elaboración propia basada en el libro Socconini, Luis, "Lean Manufacturing, paso a paso", Editorial Norma, 2008.

Organizar: Una vez seleccionadas las herramientas y conociendo cuáles son, y cuanta es la cantidad de desechos que se generan, se procede a realizar el orden de las estanterías del taller de reductor y ruedas, removiendo de los estantes las herramientas que no corresponden al mantenimiento, para posterior realizar una evaluación de si sirven en otros talleres internos, si se pueden vender, o de lo contrario se desecharán. Se define dentro de los estantes, un lugar para cada herramienta en conjunto con los operadores, respondiendo a las preguntas de:

¿Qué necesito para hacer mi trabajo?, ¿Dónde lo necesito?, ¿Cuántos necesito? También se definen las zonas donde se realizará el acopio de material conforme, no conforme y en proceso, delimitando el taller con cintas y distinguiendo los equipos con tarjetas de colores según sea su función.

En la reunión del fin del día con todos los participantes del evento, se realizó un análisis, exponiéndose las observaciones realizadas en el segundo día, y realizando una lluvia de ideas para proponer soluciones.

7.2.4 Análisis de los despilfarros encontrados y plan de acción del segundo evento

Por normativa del departamento de prevención de riesgos (EHS), con respecto al peso del componente, se requiere al menos 3 personas para movilizar la carcasa del reductor de una zona a otra dentro del mismo taller 1. Se observa que en algunos momentos los operarios deben agacharse para levantarla y transportarla manualmente, realizando un movimiento peligroso para su salud y demorando la operación.

Otra observación el proceso de reductor, es que el procedimiento de mantenimiento no especifica con claridad que componentes son cambiados de forma sistemática y cuales son cambiados sólo de manera correctiva, y de ser de forma correctiva no se cuenta con criterios claros de aceptación del estado del componente, para la toma de decisión.

Operarios de contrato externo quedan a la espera de realizar otra actividad, se propone capacitarlos para realizar otras actividades del mantenimiento, proponiendo la inspección NDT de ciertos equipos, que la realizaban operarios de Alstom con el apoyo de los operarios de contrato externo, capacitándolos podemos reducir este tiempo de espera, y obtenemos un equipo de trabajo con mayor multifuncionalidad, permitiendo nivelar la carga y así obtener un trabajo continuo.

Un punto muy importante que se levantó en la segunda reunión fue que en el taller de ruedas se están generando múltiples problemas, que tiene como consecuencia retrabajos, estos problemas hacen que haya que enviar a re perfilar los ejes de las ruedas a una empresa externa, se propone realizar un análisis más profundo de la situación realizando un diagrama de flujo de las actividades de mecanizado, y montaje/desmontajes de las ruedas, para poder encontrar la causa-raíz de estos retrasos. A continuación, en la Tabla 16 se presenta el plan de acción con los resultados de las observaciones realizadas el día del segundo evento.

EVENTO 2				
Despilfarro	Observaciones	Solución	Responsable	Implementación
Movimientos inútiles	No existe izaje de carcasa, falta de herramienta	Comprar/buscar herramienta	industrialización	Evento 4
Esperas	Técnicos de contrato externo en espera de otra actividad	Capacitar operarios de contrato externo para otras actividades	Ingeniería e industrialización	Analizar propuesta. Siguiente tren de Overhaul
Retrabajos	Proceso de ruedas con problemas	Flujo de proceso actividades	industrialización	N/A

Tabla 16: Plan de acción segundo evento.

Fuente: Elaboración propia.

7.2.5 Tercer evento Kaizen: Implementación 5's, simplificación de llenado de documentación y proceso de observación.

Programación:

Hora	Equipo 1	Equipo 2	
8:30 - 9:30	Difusión y capacitación de nuevas fichas		
9:30 – 13:00	Implementación 5's ruedas	Implementación 5's reductor	
14:00 – 17:30	Observación proceso de ruedas	Implementación 5's	
17:30 – 18:30	Reunión equipos		

Tabla 17: Programación segundo evento Kaizen.

Fuente: Elaboración Propia.

En el primer evento Kaizen, se observó que los operarios dedicaban mucho tiempo al llenado de documentación excesiva y repetitiva, que es una actividad que no añade valor al proceso directamente, pero que si requiere tiempo y costo. Estos documentos son las fichas de control del procedimiento, que es un requerimiento del departamento de ingeniería, y a la misma vez, deben llenar una ficha de autoinspección, que es un requerimiento del departamento de Calidad. Ambos documentos son para verificar el correcto uso del procedimiento y realización completa de la actividad.

Se realiza como actividad previa, un mapeo de la documentación que deben llenar los operarios, siendo estas, el permiso de trabajo de alto riesgo (PTAR), llenado de ficha de control de procedimiento de trabajo y llenado de ficha de autoinspección.

Mapeo de la documentación a llenar por operarios:



Figura 15: Mapa de documentación llenada por operarios.

Fuente: Elaboración Propia,

Se analizó la documentación, y se concluyó que podemos optimizar únicamente las fichas, ya que el permiso de trabajo de alto riesgo, no se puede modificar debido a que involucra directamente la salud y seguridad de los trabajadores.

Durante la primera hora del día, se realiza la difusión y la capacitación a los operadores del correcto llenado de las nuevas fichas control + autoinspección que reemplazarán las fichas anteriores.

En las siguientes horas de la mañana, se continuó con la implementación de la 3 y 4's, un equipo en el taller de reductor y el otro equipo en el taller de ruedas.

Limpiar: Se realiza la limpieza de los suelos, mesas de trabajo y las máquinas que se utilizan en ambos talleres, como consecuencia de la limpieza se puede realizar una mejor observación del estado de las máquinas. También se realiza el retiro de material no conforme del taller que se acumuló a causa de los componentes que deben ser cambiados. El equipo realizará una vez por semana el retiro del material no conforme con destino a una zona de acopio de material fuera del taller, las ruedas del tren deben ser cambiadas, destacando que las 16 ruedas generan un total de 5600 kg de acero.

Por último, se define un responsable de orden y limpieza, que irá rotando semana a semana, y será el encargado también del cuidado de las herramientas.

Estandarización: Posterior a la limpieza del taller de reductor y taller de ruedas, se comienza con la demarcación de las zonas de material conforme y no conforme para diferenciarlos sencillamente durante el proceso. Además, se demarca la posición de los contenedores de basura, material contaminado, documentación, estantes y mesas de trabajo, entre otras. Se crearon 3 tipos de tarjeta como técnica visual para diferenciar fácilmente los componentes y evitar confusiones. Se utilizarán tarjetas amarillas para los equipos en proceso de mantenimiento, tarjetas verdes para los componentes nuevos y tarjetas rojas para los equipos que fueron cambiados. Ver anexo H.

A continuación, se presenta una tabla con los criterios con los que se demarcaron las diferentes zonas del taller.

Identificación	Color
Áreas de almacenamiento Lugar de entrega logística	ral 5017
Piezas desmontadas esperando ser reemplazadas	ral 2004
Áreas de no conforme Partes para control	ral 3020
Posición de máquinas, equipo de elevación / gatos de levante	ral 1023

Tabla 18: Identificación de líneas de marcaje del piso.

Fuente: Elaboración propia referente a documentación APSYS.

Durante la tarde del evento, un equipo continúa con las 5's y el otro equipo se instala en el taller de ruedas, para una observación con detalles del proceso de montaje de las ruedas.

En la reunión del fin del día con todos los participantes del evento, se realizó un análisis del evento, exponiéndose las observaciones realizadas el tercer día, y se realizó una lluvia de ideas para proponer soluciones.

7.2.6. Análisis de los despilfarros encontrados y plan de acción del tercer evento

En el tercer evento, el proceso de observación estuvo centrado principalmente en el taller de ruedas, detectándose importantes sucesos que están ocurriendo y que causan el retraso del taller.

En primer lugar, se detectó un importante despilfarro de tiempo en el taller de reductor, que es el tiempo que toma realizar el traslado del reductor para hacer las pruebas en vía 8 donde se encuentra el torno sumergido, ya que el banco de pruebas aún no es entregado por la empresa fabricante.

Se debe realizar una coordinación con los otros talleres de Alstom (preventivo y correctivo) para poder despejar de trenes las vías fuera del taller y realizar el traslado del equipo, tiempo en que los 3 operarios de reductor acompañan la actividad para ida y vuelta al taller considerando una cantidad importante de horas persona, esto retrasa al menos 1 día más la operación. Se ha detectado una mala calidad con respecto al proveedor, debido a que este no cumple con el Lead time de fabricación del banco de pruebas que se indicó al momento realizar la compra.

En el taller de ruedas, se puede observar que las máquinas no están en óptimas condiciones para la operación y que están generando cuellos de botella en el taller, por lo que se solicita al departamento de mantenimiento de edificio asistir al evento 4 para realizar una revisión a las máquinas del taller y realizar el levantamiento de una situación actual de estas. Un evento importante sucede y es que la prensa de calado

se detiene en plena operación, que obliga a los operarios a realizar un retrabajo. También podemos observar que los mismos operarios del taller de ruedas realizan la limpieza de las ruedas nuevas que se encuentran oxidadas. A continuación, en la Tabla 16 se presenta el plan de acción con los resultados de las observaciones realizadas el día del tercer evento.

EVENTO 3				
Despilfarro	Observaciones	Solución	Responsable	Implementación
Esperas/ Transporte	Tiempo de traslado para pruebas reductor	Espera llegada de banco de pruebas	Industrialización	N/A
Esperas	Tiempos de ajuste de torno vertical	Invitar a	Industrialización	Evento 4
Esperas y Retrabajos	Prensa se detiene en medio de operación	mantenimiento de edificio a último evento Kaizen		
Retrabajos	Ejes desgarrados	evenio Kaizen		
Operaciones inútiles	Ruedas con oxidación	Operarios de contrato externo, limpien las ruedas nuevas	Operaciones	Siguiente tren de Overhaul

Tabla 19: Plan de acción tercer evento.

Fuente: Elaboración propia.

7.2.7. Cuarto evento Kaizen: Observación de proceso y registro de mejoras.

Programación:

Hora	Equipo 1	Equipo 2		
8:30 - 9:30	Difusión de procedimie	Difusión de procedimientos y planes de izaje.		
9:30 - 10:00	Auditorias 5's ruedas	Auditorias 5's reductor		
10:00 – 13:00	Observación procesos generales	Encuestas a operadores y levantamiento de estado de máquinas taller ruedas		
14:00 - 17:30	Observación procesos generales	Encuestas a operadores y levantamiento de estado de máquinas taller ruedas		
17:30 – 18:30	Reunión equipos			

Tabla 20: Programación segundo evento Kaizen.

Fuente: Elaboración Propia.

En el primer evento se observó que existían dudas con respecto a la ejecución de algunas actividades tanto en el mantenimiento como en el izaje de equipos en el puente grúa, es por esto que se solicitó al departamento de ingeniería e industrialización a realizar las modificaciones atendiendo los comentarios de operación, para evitar la toma de decisiones inadecuadas y optimizar los tiempos de trabajo, por lo tanto, durante la primera hora de la mañana se realiza la difusión de las modificaciones en el procedimiento y también la difusión de los planes de izaje que no estaban realizados.

Posterior a la difusión de procedimientos, se comienza con la implementación de la 5's

Seguimiento: La parte más difícil de las 5's es lograr y asegurar que se estén implementando las otras 4's en el tiempo, y no que todo vuelva a su estado de desorden que es lo que sucede muchas veces que implementamos las 5's, pensamos que con sólo 1 vez basta, pero, no es suficiente para lograr cambiar la cultura, para esto necesitamos estar constantemente realizando esta actividad, por lo que se realizarán auditorias en terreno cada 1 mes y verificar que se mantenga las 4 primeras's.

Se realiza el último proceso de observación, en donde nos concentramos principalmente en registrar las mejoras que hemos realizado, poniendo atención a los tiempos que no añaden valor al proceso encontrados en el primer evento y a los cuales se implementó un plan de acción para poder cuantificar los tiempos que hemos reducido.

En conjunto con el departamento de mantenimiento de edificio, se visitó el taller de ruedas con el fin de realizar encuestas a los operarios sobre el uso y funcionamiento de las máquinas y una revisión del estado actual de estas, con el fin de encontrar la causa-raíz que está generando los retrasos en el taller de ruedas.

Las desviaciones del proceso de ruedas que generan los despilfarros detectados en los eventos Kaizen no son cuantificables en tiempos método, ya que el tiempo que se dedica a estas actividades es bastante variable, puede ser de tan solo una hora, días o semanas de espera. A continuación, se realizará un análisis de causa-raíz con la información obtenida en los eventos Kaizen.

Con la información registrada en los procesos de observación, y lo analizado en los eventos Kaizen, se procede a realizar el estudio de la causa-raíz de los problemas del taller de ruedas.

7.2.8. Definir el problema

Retraso en la entrega del mantenimiento de las ruedas en el Overhaul de Bogies del tren X'trapolis.

7.2.9. Formar el equipo

Los integrantes del equipo son los que participaron en la implementación de los eventos Kaizen en el ítem 7.2, invitando también al departamento de mantenimiento de edificio.

7.2.10. Describir el problema

Para describir el problema, se comenzó con la realización de un flujo de proceso. Con los datos levantados en el proceso de observación de los cuatro eventos Kaizen realizados al taller gr, la información recauda durante la recolección de datos, estudio de procedimientos y encuestas en sitio, se identificó que las mayores esperas y paradas de flujo de material que se generan en el taller de ruedas son en las actividades de calaje y decalaje de las ruedas en el eje, y también en el mecanizado del cubo de las ruedas.

A continuación, en la Figura 16 y Figura 17 se muestran todas las actividades detalladas, y la toma de decisiones del proceso.

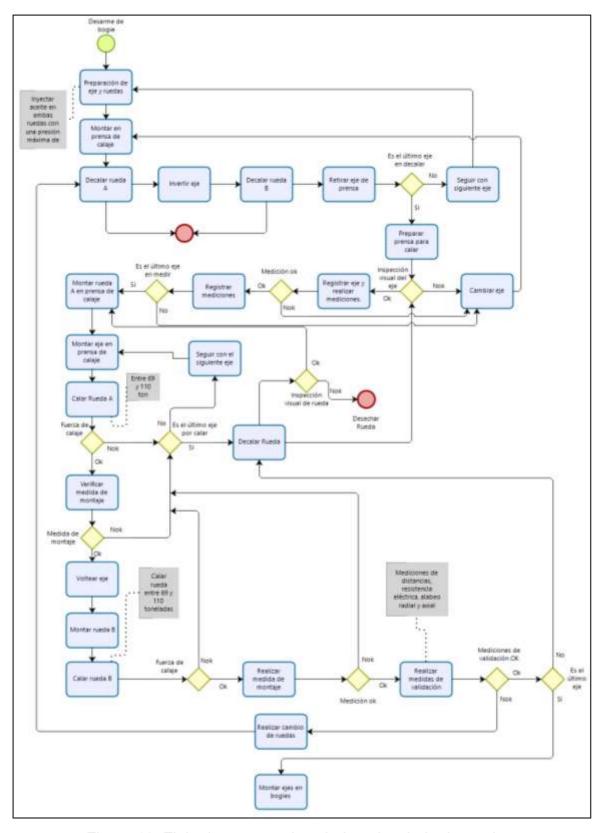


Figura 16: Flujo de proceso de calado y decalado de ruedas.

Fuente: Elaboración Propia

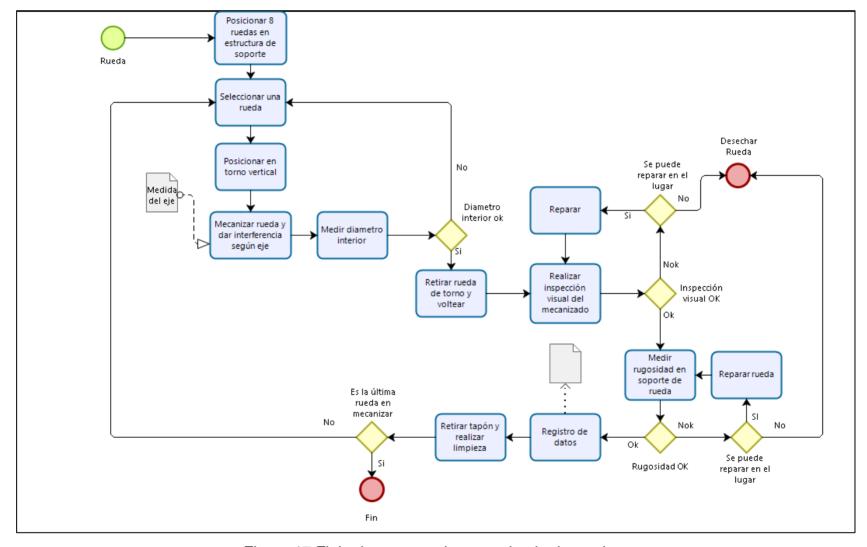


Figura 17:Flujo de proceso de mecanizado de ruedas.

Fuente: Elaboración Propia.

Problema de tiempos de montaje y desmontaje de ruedas:

Durante la actividad de calaje y decalaje los ejes han sufrido de desgarros, y como consecuencia de estos desgarros, algunos han tenido que ser dados de baja, por no cumplir con las tolerancias necesarias para que la rueda quede fija de manera solidaria al eje, esto ocurre cuando el desgarro del eje es igual o superior a 3 milímetros; si la profundidad del desgarro es menor, deben ser enviados a mecanizar. Hasta el momento han ocurrido un total de 17 desgarros en los ejes, de los cuales 5 han sido dados de baja.

Tren	Cantidad	Coche	Zona	Comentarios
XT-01	0	-	-	No hay desgarros.
XT-02	1	MC	-	Irrecuperable, se da de baja.
XT-03	5	3 MC 2 TCP	Ambos extremos y disco	Se rectifican
XT-04	8	2 MC 2 TCP	Lado reductor Lado A Lado B	Se rectifican, y vuelven a desgarrar, los 4 ejes se dan de baja
XT-05	3	2 MC 1 TCP	Disco Un extremo	Se rectifican

Tabla 21: Historial de desgarros de ejes.

Fuente: Elaboración propia con en base a los datos proporcionados por la empresa.

Problema de tiempos de mecanizado de ruedas

Actualmente una de las principales causas de retraso de entrega del servicio a Merval, es debido al tiempo de mecanizado de las ruedas. Debido al desgaste de las ruedas por el kilometraje recorrido, estas deben ser cambiadas sistemáticamente, y reemplazadas por nuevas ruedas de diámetro 890 mm, a las cuales se les debe mecanizar el cubo, para cumplir con las tolerancias de ajuste con el eje para fijarla solidariamente. Durante el mecanizado de ruedas se debe primero limpiar las nuevas ruedas antes de mecanizarla, posteriormente se debe realizar múltiples ajustes al torno vertical.

7.2.11. Definir la causa-raíz; implementando los 5 ¿Por qué's? e Ishikawa.

Se realizaron preguntas en terreno a los operarios de la IM5A, y a las áreas de soporte, y con los resultados obtenidos de los eventos Kaizen, para obtener los datos a analizar a continuación.

5 ¿Por qué's? montaje y desmontaje de ruedas:

¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?
El personal no conoce totalmente el uso correcto de la máquina.	Falta capacitación al personal actual.	Sólo se realizó demostración de uso de prensa, con un disco de sacrificio.	La capacitación de la empresa se realizó cuando se compró la maquinaría.	Empresa fabricante de maquinaria, ya no existe.

Tabla 22: Los por qué's de servicios defectuosos.

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con el resultado de análisis de los datos encuestados en taller y observados en el evento Kaizen.

¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?
Prensa de calaje se detiene en operación.	El tonelaje se eleva más de lo necesario y estipulado para retirar o colocar las ruedas.	-Sistema de trabas en mal estado. -Cilindro hidráulico descentrado 3,2 mm. -Pantalla rayada y táctil poco sensible.

Tabla 23: Los por qué's de retrabajos.

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con el resultado de análisis de los datos encuestados en taller y observados en el evento Kaizen.

¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?
Posición no definida de eje en prensa de calaje.	Se realiza de dos formas diferentes.	No existe un método definido para el izaje del eje.

Tabla 24: Los por qué's tiempos de espera.

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con el resultado de análisis de los datos encuestados en taller y observados en el evento Kaizen.

¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?
La prensa de calaje no posee historial de fallas.	La máquina fue comprada hace muchos años y estuvo detenido su uso hasta el Overhaul.	Sólo se realizan mantenimientos correctivos.	No existe un plan de mantenimiento preventivo.

Tabla 25: Los por qué's de mal funcionamiento de maquinaria.

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con el resultado de análisis de los datos encuestados en taller y observados en el evento Kaizen.

5 ¿Por qué's? mecanizado del cubo de ruedas:

¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?
Ajustes de torno vertical previo uso.	El torno vertical comienza a vibrar.	Plato donde se apoya y fija rueda, desnivelado.	No se realiza mantenimiento a la máquina hace dos años.

Tabla 26: Los por qué's de tiempos de preparación de torno.

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con el resultado de análisis de los datos encuestados en taller y observados en el evento Kaizen.

¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?
Limpieza de ruedas previo mecanizado.	Las ruedas nuevas se encuentran con excesiva corrosión.	Ruedas mal almacenadas dentro del taller, expuestas al ambiente.	No hay espacio en bodega para el almacenaje de ruedas.

Tabla 27: Los por qué 's de tiempos de preparación de ruedas.

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con el resultado de análisis de los datos encuestados en taller y observados en el evento Kaizen.

¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?
Tiempo de regulaciones de torno vertical	Regulaciones imprecisas	Proceso requiere de habilidad del operador	Torno vertical no es digital.

Tabla 28: Los por qué 's de tiempos de regulaciones.

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con el resultado de análisis de los datos encuestados en taller y observados en el evento Kaizen.

Después de habernos preguntado ¿Por qué? repetitivas veces, podemos realizar el análisis de Ishikawa de la causa-raíz de los problemas de entrega del mantenimiento del taller de ruedas.

Nota: El material del eje y de la rueda corresponden a los utilizados en la industria ferroviaria, por lo tanto, no se analizó su composición.

Equipo	Norma
Eje	EA1N; Norma Europea
Rueda	M107 clase B Norma americana

Tabla 29: Material de los ejes y ruedas.

Fuente: Documentación de manual de tren de X'trapolis 100. Ref: TRAW 415.

Análisis de Ishikawa: montaje y desmontaje de ruedas

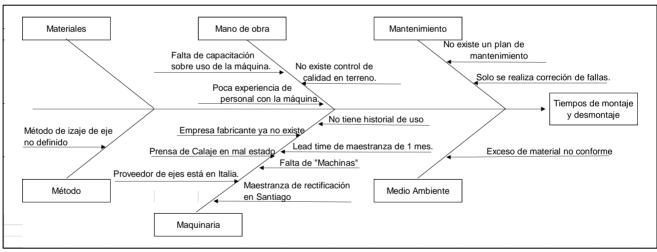


Figura 18: Análisis de Ishikawa para el problema de tiempos de montaje y desmontaje.

Fuente: Elaboración propia.

Se ha realizado un análisis respectos a las causas que generan los desgarros de los ejes. Dentro de las detectadas existen algunas de menos incidencia como lo es, el factor medio ambiental de exceso de material no conforme que se detecta en el taller. Otra causa es que no existe un método definido de realizar el izaje del eje. Otra causa

es que la empresa proveedora de ejes se encuentra en Italia (Luccini) y la maestranza que realiza el servicio de rectificado de ejes se encuentra en Santiago y tiene un Lead time de 1 mes.

Las principales causas que generan los desgarros de los ejes son que la máquina de prensa de calado se encuentra en un estado defectuoso, en su estructura y pantalla táctil, generando fallas cuando esta se encuentra en plena operación, específicamente la detención inesperada de esta. Estas fallas se ocasionan por la falta de mantenimiento preventivo en la máquina. Otra causa es que el equipo no cuenta con historial, ya que fue muy poco utilizada desde el momento de la compra. Un aspecto que resaltar es que el taller de Limache no cuenta con un ingeniero de calidad industrial en terreno, que detecte los desvíos de calidad de los procesos. Por otro lado, la mano de obra del taller no ha sido capacitado correctamente con el uso de la máquina, participando sólo en una muestra de utilización con un disco de sacrificio que realizó el departamento de ingeniería del proyecto, y no pudiendo obtener la capacitación formal de la empresa fabricante, ya que ésta en la actualidad no existe.

Análisis de Ishikawa: tiempos de mecanizado del cubo de la rueda.

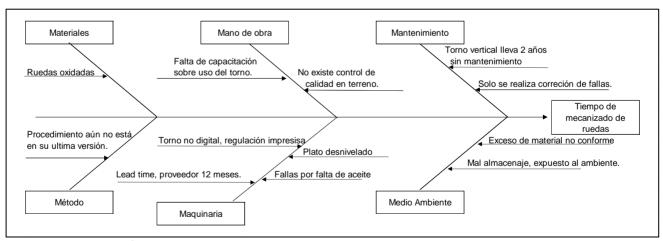


Figura 19: Análisis de Ishikawa para el problema de tiempo de mecanizado de ruedas.

Fuente: Elaboración propia.

Las principales causas que retrasan el tiempo de total del mecanizado de una rueda son que el torno vertical no ha tenido mantenimiento en los últimos dos años, por lo tanto, se encuentra en un estado deteriorado con el plano base suelo y desnivelado, y como consecuencia es el operador quien antes de mecanizar la rueda debe de realizar ajustes al torno vertical, nivelación del plato, verificación del nivel de aceite y rellenado si es necesario, también al no ser un torno de control automático las regulaciones son manuales y el tiempo depende mucho de la habilidad del operador. Otra causa muy importante es que las ruedas fueron almacenadas dentro de taller en cajones que quedaron expuestos al ambiente, generando una capa de corrosión, teniendo que preparar la rueda antes de ser mecanizada realizando una limpieza previa para retirar el óxido.

Causas segundarias al igual que en el análisis del montaje y desmontaje son el exceso de material no conforme en taller que impiden el flujo continuo de los operarios y la realización de maniobras con el puente grúa. También lo es falta de un ingeniero de calidad que detecte en terreno los desvíos de calidad del proceso. Y al igual que con la prensa de calaje, no existió una capacitación formal del uso del torno vertical, más que una demostración con una rueda de sacrificio. El procedimiento que está en el taller y el cual utilizan los operarios está aún en su versión "Borrador", el departamento de ingeniería está realizando las últimas modificaciones del instructivo final.

Una fuerte amenaza es que, de quedar sin stock de ruedas, el fabricante se encuentra en Italia, (Luccini) y tiene un Lead time de 12 meses.

Las acciones se presentarán como una propuesta a implementar en el taller al equipo directivo, realizando un análisis económico para facilitar la toma de decisiones.

7.2.12. Acciones de contención:

Ahora que conocemos bien el problema que nos afecta, se proponen acciones de contención para disminuir los retrasos de entrega, y ganar tiempo:

Acción de contención	Frecuencia	Responsable	Comentarios
Mantenimiento básico a máquinas	1 vez por semana	Mantenimiento de edificio	Sólo ajustes
Limpieza de ruedas	Antes de comenzar la actividad de mecanizado	Operaciones	Operarios de contrato externo
Doble turno	Días 6 y 7 del Overhaul	Jefe de Operaciones	Se realizará de ocurrir desviaciones

Tabla 30: Acciones de contención en taller de ruedas.

Fuente: Elaboración propia.

8. Levantamiento de datos.

Las siguientes tablas nos muestran un resumen de los datos obtenidos en los eventos Kaizen realizados, la implementación de herramientas "lean" al mantenimiento, y el análisis de la causa-raíz.

8.2 Actividades que no añaden valor al proceso.

Con los resultados del primer evento, se tomaron los datos de cuánto tiempo se estaba invirtiendo en operaciones que no añaden valor al proceso, y que la realizan todos los operarios del taller, sin importar cuál es la actividad de mantenimiento.

El análisis de los datos se realiza con el cálculo del tiempo promedio en minutos en que un operador realiza la actividad y se extrapola a los 16 operarios del taller, ya que todos ellos se ven involucrados en los despilfarros mencionados.

Despilfarro	Actividad SVA	Minutos/día 1 operador	HP SVA	HP total 16 operadores
Movimientos inútiles	Búsqueda de herramientas	15	0.25	4
Esperas	Espera de herramienta	15	0.25	4
Esperas	Reunión inicial dura 45 minutos	30	0.5	8
Operaciones inútiles	Llenado de fichas de control y autoinspección	10	0.17	2.67
Transporte	Búsqueda de documentos e insumos	10	0.17	2.67
Movimientos inútiles	Movimientos debido a exceso material no conforme	5	0.08	1.33
Procesos innecesarios	Métodos no definidos	5	0.08	1.33
	Total		1.5	24

Tabla 31: Tiempo de un operador en actividades generales que no añaden valor. Fuente: Elaboración Propia.

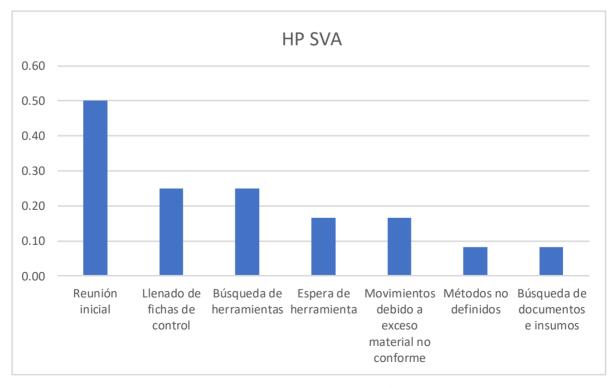


Figura 20: Total de horas persona sin valor añadido por un operario. Fuente: Elaboración Propia.

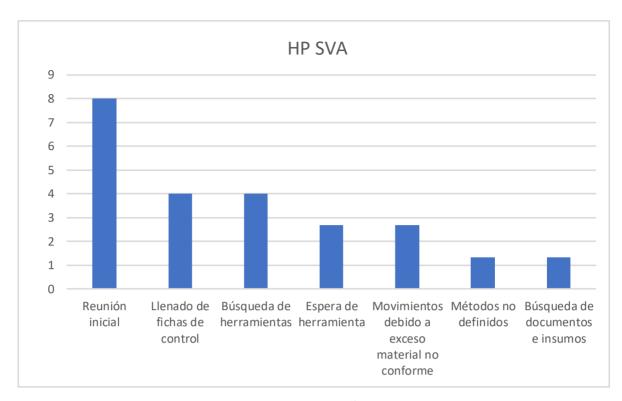


Figura 21: Total de horas persona sin valor añadido proyectada en 16 operarios Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 20, muestra un desglose de horas persona invertidas en despilfarros encontrados que realizan los operarios en actividades generales de mantenimiento, observados y documentados el día del primer evento Kaizen. Se cuentan los minutos que invierte un operario en cada actividad diariamente, sumando un total de 90 minutos diarios, por lo tanto, diariamente se despilfarra 1.5 hora persona en actividades que no añaden valor por operario.

Si consideramos a los 16 operarios del taller GR y proyectamos los tiempos sin valor añadido de cada operario diario a los actuales 20 días hábiles de duración del proceso, tenemos un total de 480 horas personas invertidas en estos despilfarros, que son equivalentes al 18.75% en promedio de HP del total del proceso.

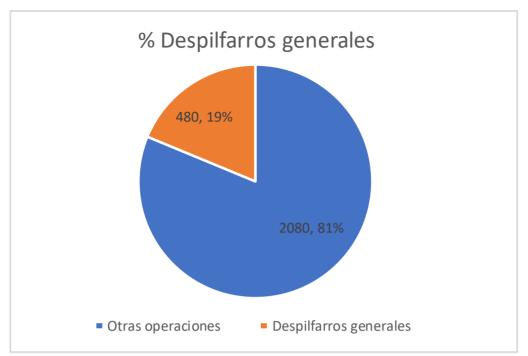


Figura 22:Porcentaje de despilfarros generales horas persona totales de IM5A. Fuente: Elaboración Propia.

8.3 Actividades con valor y sin valor añadido en el mantenimiento reductor.

Basado en los datos recolectados de las variables tiempos de las actividades de mantenimiento durante los 4 eventos Kaizen, se procede a realizar una tabla para reflejar los tiempos que añaden y no valor al proceso.

Los tiempos que se expresan en la Tabla 32, se analizaron en base a los tiempos promedios en que 1 operario realiza la actividad de mantenimiento en 1 reductor, y se extrapoló al mantenimiento total, considerando la cantidad de operarios que intervienen y la cantidad de equipos a mantener.

Actividad	CVA	SVA	Cantidad de técnicos	Cantidad de equipos	Total CVA	Total SVA	HP Total
Limpieza exterior	2.5	1	1	4	10	4	14
Desarme	3	2	2	4	24	16	40
Limpieza de piezas	5	1	1	4	20	4	24
Mantenimiento	2	2	2	4	16	16	32

Actividad	CVA	SVA	Cantidad de técnicos	Cantidad de equipos	Total CVA	Total SVA	HP Total
Armado	2.5	1	3	4	30	12	42
Pruebas	1.5	3	3	4	18	36	54
Total	16.5	10	-	-	118	88	206

Tabla 32: Análisis de tiempos con y sin valor añadido real en mantenimiento reductor.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Figura 23 podemos observar claramente la cantidad total de horas que se invierten en el mantenimiento del reductor diferenciando las que añaden valor y las no añaden valor. La Figura 24 presenta las horas persona que se dedican en total al mantenimiento de los 4 reductores del tren, actualmente se dedican un total de 206 horas persona, de ellas, 88 horas persona se dedican en actividades que no añaden valor al proceso y que equivale a un 43% del total del tiempo empleado y un 57% es realmente una actividad que añade valor al resultado final esperado.

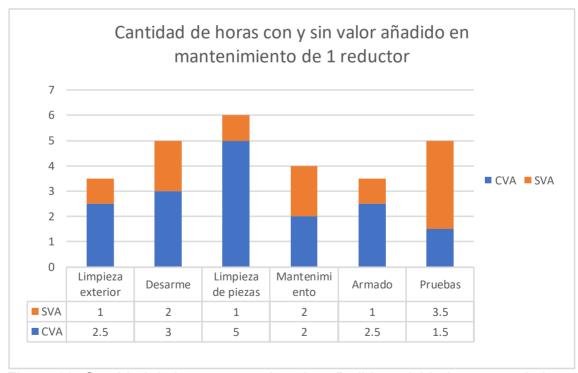


Figura 23: Cantidad de horas con y sin valor añadido actividades mantenimiento reductor.

Fuente: Elaboración Propia.

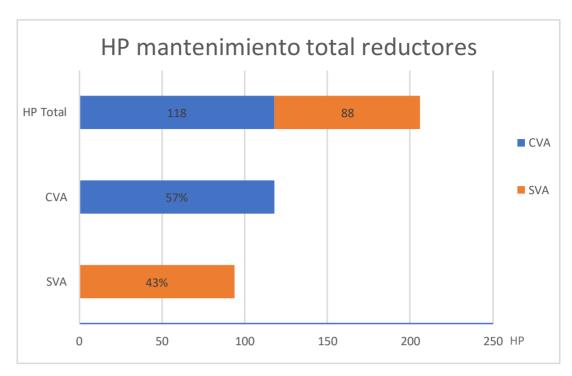


Figura 24: Cantidad de Horas Persona totales en reductor, con y sin valor añadido.

Fuente: Elaboración Propia.

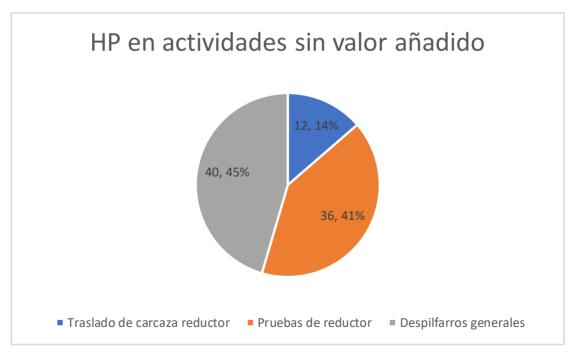


Figura 25: HP en actividades sin valor añadido en reductor.

Fuente: Elaboración propia con datos registrados en eventos Kaizen.

El gráfico de la es de tipo torta, en el cual se pueden observar los porcentajes y proporciones de la cantidad de horas persona que se dedican en actividades que no añaden valor al proceso en el reductor, observando que el 45% (40 horas persona) son dedicadas en despilfarros generales que mencionamos en el apartado 8.2, un 41% (36 horas persona) en el traslado del reductor a vía 8 para las pruebas (transporte), y un 14% (12 horas persona) en el movimiento de la carcaza de los reductores por no tener una herramienta de izaje adecuada (movimientos inútiles), sumando el 100% corresponde al total de 88 horas persona de 206 horas persona que se utilizaron en el mantenimiento de los reductores del quinto tren.

8.4 Actividades que no añaden valor al proceso de ruedas.

El mecanizado del cubo de las nuevas ruedas es una actividad en la cual se pueden cuantificar los tiempos sin valor añadido, durante los eventos kaizen se registró en las hojas todos los movimientos y actividades de los operarios y el tiempo asociado a estas. A continuación, en el gráfico de la Figura 26 podemos observar que del total de 5 horas en que se realiza la actividad de mecanizado de ruedas, 2.5 horas son invertidas en actividades que no añaden valor al proceso pero que si implican costo y tiempos. El gráfico de la figura Figura 27 es de tipo torta, en el cuál se puede observar la porcentajes y proporciones de la cantidad de horas persona que se dedican en actividades que no añaden valor al proceso, observando que los ajustes que se realizan al torno (esperas) y la limpieza de las ruedas oxidadas (operaciones inútiles) suman un 80% del total y los despilfarros generales descritos en el apartado 8.2 corresponden a un 20% de las HP totales.

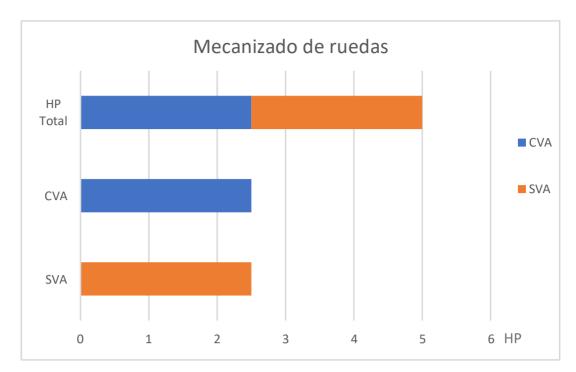


Figura 26: Actividades CVA y SVA mecanizado de una rueda.

Fuente: Elaboración propia con datos registrados en eventos Kaizen.

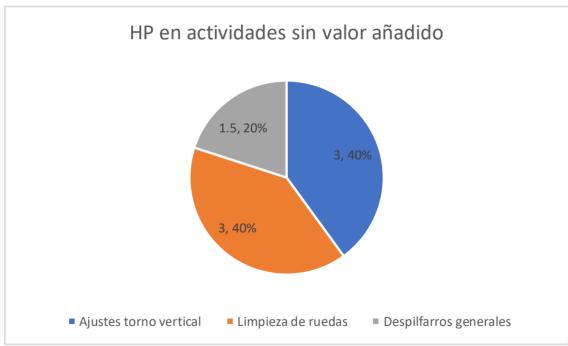


Figura 27: HP en actividades sin valor añadido.

Fuente: Elaboración propia.

8.5 Causa-raíz problemas taller de ruedas

Hoy las desviaciones en el proceso de ruedas es la que determina el tiempo de entrega del tren. Al desgarrar un eje en el proceso de desmontaje o montaje de ruedas, el tiempo del proceso se extiende al menos 6 días más por falta de ejes repuestos. Se entrega a la producción stock de ruedas con óxido en ellas creando problemas en el proceso de rectificación del cubo. Diecisiete desgarros se han producido en 40 ejes (5 trenes) montados durante el proceso de cambio de ruedas.

Para resolver las causas-raíces encontradas en el análisis Ishikawa tanto para el problema del mecanizado de ruedas como para el problema que existe en el calaje y decalaje de las ruedas se propone las siguientes acciones:

RUEDAS										
M	Causa	Solución	Responsable							
Materiales	Ruedas oxidadas	Técnicos de contrato externo en tiempo sin productividad	Operaciones							
Método	Izajes no definidos	Definir método	Industrialización							
Método	Procedimiento no versión final	Definir método	Ingeniería							
Mano de obra	Falta capacitación sobre torno vertical	Capacitación	Ingeniería							
Mano de obra	Falta capacitación sobre torno vertical	Capacitación	Ingeniería							
Mano de obra	No existe control de calidad en terreno	Contrato de inspector de calidad	Calidad							
Mantenimiento	No existe plan de mantenimiento para la prensa de calaje	Plan de mantenimiento	Mantenimiento de edificio							
Mantenimiento	No existe plan de mantenimiento para el torno vertical	Plan de mantenimiento	Mantenimiento de edificio							
Mantenimiento	Sólo se realizan correctivos en prensa de calaje	Plan de mantenimiento	Mantenimiento de edificio							
Maquinaria	Lead time proveedor de ruedas 12 meses	Plan de mantenimiento	Mantenimiento de edificio							
Maquinaria	Fallas por falta de aceite	Plan de mantenimiento	Mantenimiento de edificio							

RUEDAS										
M	Causa	Solución	Responsable							
Maquinaria	Plato de torno desnivelado	Plan de mantenimiento	Mantenimiento de edificio							
Maquinaria	Maestranza de rectificación en Santiago	Plan de mantenimiento	Mantenimiento de edificio							
Maquinaria	Lead time de maestranza 1 mes	Plan de mantenimiento	Mantenimiento de edificio							
Maquinaria	Proveedor de ejes en Italia.	Plan de mantenimiento	Mantenimiento de edificio							
Maquinaria	Prensa en mal estado	Plan de mantenimiento preventivo	Mantenimiento de edificio							
Maquinaria	Falta de machinas	Compra de herramientas "machinas"	Industrialización							
Medio Ambiente	Exceso de material no conforme en zona de calaje.	5's	Industrialización							
Medio Ambiente	Exceso de material no conforme en torno vertical.	5's	Industrialización							
Medio Ambiente	Mal almacenaje, ruedas expuestas al ambiente	Técnicos de contrato externo en tiempo sin productividad	Industrialización							

Tabla 33: Plan de acción con propuestas de mejora para taller de ruedas.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 33, podemos notar que muchas de las causas-raíces que se identificaron en el análisis de Ishikawa arrastran la misma solución. Por lo que se procedió a realizar un Figura de Pareto para ver que soluciones impactarán más al solucionar el problema.

Al analizar el Pareto de la Figura 28, podemos visualizar que el realizar un plan de mantenimiento para los equipos críticos (prensa de calaje y torno vertical) con el fin de mantener estos equipos disponibles, evitar las fallas y retrabajos en consecuencia de estas, es la solución que mayor impacto tendrá para mejorar los tiempos de entrega al cliente y poder obtener un flujo continuo del proceso de mantenimiento en el taller de ruedas.

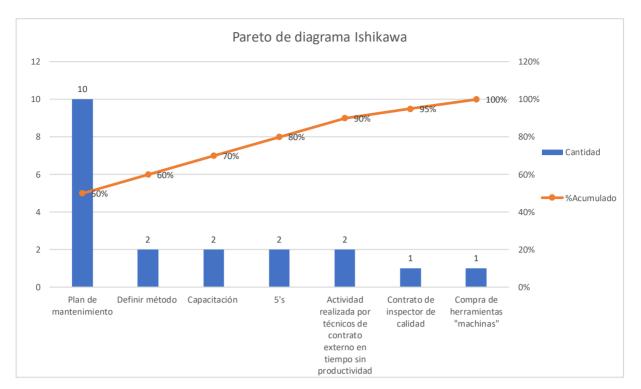


Figura 28: Pareto de diagrama de Ishikawa en taller de ruedas.

Fuente: Elaboración Propia.

De las acciones propuestas anteriormente, en los eventos Kaizen ya fueron implementadas las 5's y la definición de métodos, de las cuáles analizaremos los resultados en el siguiente capítulo.

El departamento de mantenimiento de edificio junto con el equipo Kaizen realizó en el último evento un levantamiento de la situación actual de las máquinas y con este se propone realizar un plan de mantenimiento preventivo para ambas durante la realización del sexto tren y el cual se comenzará a realizar a partir del Overhaul del 7mo tren, crear fichas de mantenimiento semanal, semestral y anual.

A continuación, en la tabla se presentan los problemas que fueron descubiertos el día del evento, tanto en la prensa de calaje como en el torno vertical.

Máquina	Imagen	Problemas detectados en evento kaizen.
Prensa de Calaje		-Sistema de trabas en mal estado. -Cilindro hidráulico en su máxima extensión descentrado 3,2 mm. -Pantalla rayada y táctil poco sensible. -Se detiene en operación.
Torno Vertical		-Desnivel: Comienza a vibrar. -Se suelta perno. -No funcionó embrague por falta de aceite.

Tabla 34: Problemas de máquinas taller ruedas. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en evento Kaizen

Se descartan las siguientes soluciones, ya que no tienen gran impacto en la mejora de los tiempos de mantenimiento del taller de ruedas:

- Compra de machinas para izaje;
- Contratación de un inspector de calidad

9. Análisis de resultados

Durante la realización del Overhaul del sexto tren (marzo 2019), se realizó seguimiento a las actividades del mantenimiento del reductor y de las ruedas. Las siguientes tablas nos muestran un resumen de los resultados obtenidos. Es importante destacar que en el mes de marzo llego el banco de pruebas del reductor, disminuyendo considerablemente el tiempo de esta actividad. También que se realizaron las acciones de contención al ocurrir un desgarro de eje.

Horas de duración de actividad en 1 equipo									
Actividad	Antes	Después	% Reducción						
Limpieza exterior Reductor	3	2	33%						
Desarme Reductor	3	2	33%						
Limpieza piezas de Reductor	6	4.5	25%						
Mantenimiento Reductor	4	2.5	38%						
Pruebas en Reductor	5	1	80%						
Armado final Reductor	3	2.5	17%						
Total	24	14.5	40%						

Tabla 35: Resultados obtenidos en taller de reductor.

Fuente: Elaboración propia.

Horas de duración de la actividad en 1 equipo										
Actividad	Antes	Antes Después								
Desmontaje de rueda	2	1.5	25%							
Mecanizado de Rueda	5	2.5	50%							
Montaje de Rueda	3	2.5	17%							
Cambio de discos	2.5	2	20%							
Medición de rueda	0.5	0.5	0%							
Total	13	9	31%							

Tabla 36: Resultados obtenidos en taller de ruedas.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, el porcentaje de reducción de horas en el mantenimiento del reductor es de un 40% y del taller de ruedas 31% consecuencia de la implementación de las herramientas "Lean".

Se realizó una auditoria a ambos talleres para conocer cómo se encontraba el orden y la limpieza de las estaciones en que se implementó el 5's. A continuación, se muestran fotografías del antes y después.



Figura 29: Implementación de 5's estantes de herramientas. Fuente: Fotografías tomada al interior de la empresa



Figura 30: Antes de 5's en reductor.

Fuente: Fotografías tomada al interior de la empresa.



Figura 31: Después de 5's en reductor.

Fuente: Fotografías tomada al interior de la empresa.

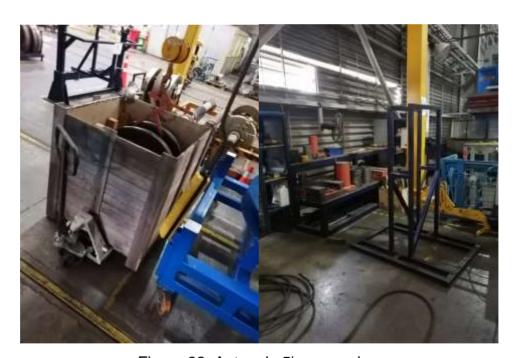


Figura 32: Antes de 5's en ruedas.

Fuente: Fotografías tomada al interior de la empresa.



Figura 33: Después de 5's en ruedas.

Fuente: Fotografías tomada al interior de la empresa

Se sugiere realizar un 5's en todos los talleres al interior de la GR, para optimizar aún más el proceso, optimizando cada proceso interno.

A continuación, se observa la reducción de horas persona sin valor añadido en el proceso de ambas actividades consecuencia de la implementación de mejoras "lean".

- CVA: Son la cantidad de horas persona que se habían planificado para la realización del Overhaul.
- SVA: Son la diferencia de horas persona reales v/s las planificadas.

En el proceso de mantenimiento de ruedas se logró disminuir una total de 80 horas persona que son un 53% de lo que se esperaba y en el proceso de mantenimiento de reductor se logró disminuir las 84 horas esperadas que son un 100% de lo que se esperaba lograr optimizar. A continuación, en los gráficos de la Figura 34 y Figura 35 podemos observar los resultados.

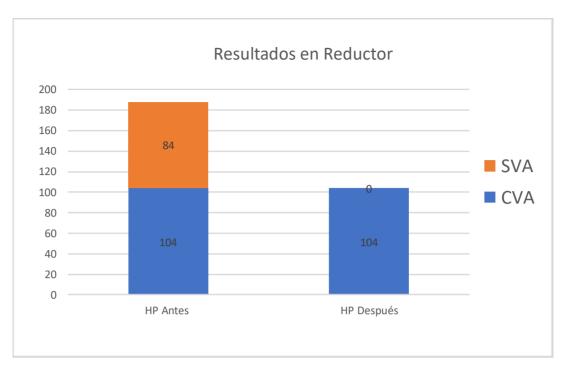


Figura 34: Resultados en HP Reductor.

Fuente: Elaboración Propia

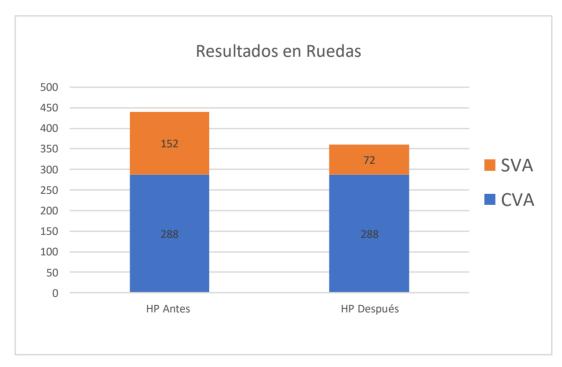


Figura 35: Resultados en HP Ruedas.

Fuente: Elaboración Propia.

Lead time:

Con los resultados obtenidos con la implementación de las herramientas lean, se logró optimizar la operación realizando el Overhaul de Bogie en 15 días hábiles.

	Lead Time Overhaul de bogie														
Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Proceso general	Desarme de bogies				Mante	enimie	nto co	ompon	entes				Arm de bo	ado ogies	Cruce de bogies

Figura 36: Secuencia de tareas de la im5a.

Fuente: Elaboración propia.

Takt time:

El lead time es de 15 días por tren, por lo tanto, se realizan 1.33 cantidad de trenes al mes:

$$\frac{1 \text{ tren}}{15 \text{ días}} \cdot \frac{20 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 1.33 \text{ trenes/mes}$$

Si el mantenimiento se continúa realizando en 15 días, el Overhaul del tren 27 se terminará en el mes de julio del año 2020.

Cantidad de trenes mensual										
Noria	Oct-19	Nov-19	Dec-19	Jan-19	Feb-19	Mar-19	Apr-19			
1	1	1	1	1	1.3	1.3	0			
May-19	Jun-19	Jul-19	Aug-19	Sep-19	Oct-19	Nov-19	Dec-19			
1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3			
Jan-20	Feb-20	Mar-20	Apr-20	May-20	Jun-20	Jul-20	Aug-20			
1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	-			

Tabla 37: Tiempo total de Overhaul y cantidad de trenes mensuales.

Fuente: Elaboración propia.

Tiempo método:

El tiempo método del sexto tren fue de 1920 horas persona, disminuyendo un total de 640 horas persona del Overhaul. En consecuencia, se logró disminuir el % de sobrecosto considerablemente de un 54% a un 15% como podemos ver en la Tabla 38 y en el gráfico de la Figura 37.

Tren	HP alstom	HP contratista	Total, HP por tren	Meta	% Sobre costo
Xt001	1958	870	2828	1664	70%
Xt002	1804	820	2624	1664	58%
Xt003	1760	800	2560	1664	54%
Xt004	1760	800	2560	1664	54%
Xt005	1760	800	2560	1664	54%
Xt006	1320	600	1920	1664	15%

Tabla 38: Resultados en tiempos métodos.

Fuente: Elaboración Propia.

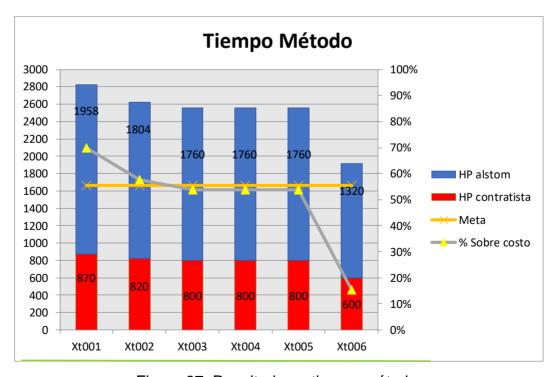


Figura 37: Resultado en tiempo método.

Fuente: Elaboración Propia

10. Evaluación Económica

Se realizará una estimación económica, basada en los tres principales costos que hubiese incurrido Alstom, de no realizar una mejora al proceso de Overhaul de Bogie y extendiendo el proceso de mantenimiento hasta diciembre del 2020; que son multas, extensión del contrato externo, y el costo del personal Alstom.

Los valores de costos son aproximados y sólo referenciales, ya que se resguarda la confidencialidad de datos de la empresa Alstom.

Con las mejoras que se implementaron en los eventos Kaizen se logró optimizar el proceso de mantenimiento de 20 a 15 días, pero no 13 días como fue planificado en un comienzo, si se continúa con el Lead Time de 15 días Alstom no tendrá que incurrir en multas porque realizará el mantenimiento antes de cumplir el 1.540.000 de kilometraje aunque muy cercano a este como podemos observar en el odómetro de la Tabla 49 (Anexo I).

Realizando el mantenimiento en 20 días eran un total de 11 trenes los que se iban a intervenir después de la cota máxima estipulada en el contrato, y una extensión de 5 meses más de mantenimiento de lo planificado en el comienzo.

10.1 Multas

Al incumplir con el contrato de mantenimiento, Alstom deberá pagar una multa al cliente por cada tren con retraso en la cota del mantenimiento, contando desde que se cumplen los 1.540.000 kilómetros de recorrido del tren hasta que se comienza con el Overhaul del tren correspondiente.

Días de OH	Fecha de Termino	Cantidad de trenes retrasados en cota	Costo total Multa
20	Diciembre 2020	11	\$15,776,750
15	Julio 2020	0	\$ -
13	Mayo 2020	0	\$ -

Tabla 39: Costo de multas por retraso de mantenimiento.

Fuente: Elaboración Propia.

10.2 Costo de horas personas operaciones Alstom:

El costo por concepto de mano de obra por tren en 20 días es de 17.6MM que es 54% más de lo proyectado, los costos del performance actual resultado de la implementación de herramientas lean es de 13.2MM, que es un 15% más de lo proyectado de 11.4MM.

Estado	Días de OH	N° Operarios	HP Diaria	Total, HP	Costo Mano de obra Alstom por tren
Antes	20	11	8	160	\$ 17,600,000
Actual	15	11	8	120	\$ 13,200,000
Proyectado	13	11	8	104	\$ 11,440,000

Tabla 40: Costos de HP personal Alstom mensual.



Figura 38: Curva de proyección de costo de HP de operarios.

Fuente: Elaboración propia.

10.3 Costo de contrato externo:

Cálculo Fecha de término proyectada 21 trenes faltantes, el costo por contrato externo en 20 días para los meses adicionales es de 24.5 MM y en 15 días es de 7MM.

Días de OH	Fecha de Termino	Meses adicionales IM5A	Costo Mensual externo	Costo total por meses adicional
20	Diciembre 2020	7	\$ 3,500,000	\$ 24,500,000
15	Julio 2020	2	\$ 3,500,000	\$ 7,000,000
13	Mayo 2020	0	\$ 3,500,000	\$ -

Tabla 41: Costos de contrato externo en meses adicionales.

10.4 Resumen de costos total.

El costo total del mantenimiento en 20 días es de 409.8MM con un porcentaje de sobre costo de 71%, el costo total de mantenimiento en 15 días es de 284.2MM con un porcentaje de sobre costo de 18%, el costo de mantenimiento en 13 días es de 240.2MM.

Costos	Costo total OH 20 días	Costo total OH 15 días	Costo total OH 13 días
Costo HH Alstom	\$ 369,600,000	\$ 277,200,000	\$ 240,240,000
Costo total externo	\$ 24,500,000	\$ 7,000,000	\$ -
Costo multas	\$ 15,776,750	\$	\$ -
Total	\$ 409,876,750	\$ 284,200,000	\$ 240,240,000
% sobre costo	71%	18%	0%

Tabla 42: Resumen de costes total.

11. Conclusión

La implementación de herramientas de mantenimiento esbelto nos demuestra pragmáticamente que con metodologías de baja inversión como lo son los eventos Kaizen (observación del proceso), diagramas (VSM, flujo, proceso), análisis de despilfarros, medición de tiempos con y sin valor añadido, implementación de 5's es posible mejorar y solucionar distintos procesos de la empresa, y también cumplir con los objetivos de la gerencia. Durante la implementación de las herramientas de mantenimiento esbelto, hubo algunos despilfarros de tiempo en el taller de ruedas que se detectaron y que no eran posible medirlos, ya que estos variaban mucho, por lo que se implementaron herramientas de mantenimiento esbelto enfocadas en la búsqueda de la causa-raíz, como lo son 5 porqués e Ishikawa, conociendo la causa raíz que generaba esos despilfarros de tiempos se cotizan soluciones que proponemos en el capítulo 12: Recomendaciones,

Con la implementación de las herramientas lean se logró disminuir el % de sobrecostos de 71% a 18%, incluyendo las horas persona de los operarios Alstom, el contrato externo y las multas. Y se logró encontrar la causa-raíz de los problemas que afectan los tiempos de entrega del taller de ruedas.

Si bien el cumplimiento del objetivo principal era reducir a 13 días, los 15 días que se lograron son aprobados por el cliente a la gerencia del proyecto, considerando que con este mantenimiento el tren deberá recorrer otros 12 años más. El cliente aumento su confianza dada la reducción de días del proceso por tren, entendiendo que si se cumplirá con la cota de kilomestablecida en el contrato de mantenimiento.

12. Recomendaciones

Hoy en día, las principales causas que están generando las desviaciones en el proceso del Overhaul de Bogie, son la falta de mantenimiento en máquinas del taller de ruedas, específicamente el torno vertical, donde se realiza el mecanizado del cubo de las ruedas y la prensa de calaje, que es donde se montan y desmontan las ruedas del eje.

Para lograr el Lead Time de 13 días planificado, se sugiere realizar una reparación total del torno vertical y la prensa de calaje, ya que, si bien se implementó este trabajo un mantenimiento preventivo semanal gestionado por mantenimiento de edificio, ambas máquinas requieren de una reparación para su buen funcionamiento. Con el levantamiento realizado en los eventos Kaizen, y la visita de empresas al taller, se cotizó la reparación total de las máquinas, costo que podemos observar en la Tabla 43.

Tema	Costo total CLP	Empresa
Reparación torno vertical	\$1,998,000	Fulltontech
Reparación Prensa de calaje	\$19,500,000	Giglio
Total	\$ 21,498,000.00	

Tabla 43: Costo de reparación maquinas taller ruedas.

Fuente: Elaboración Propia.

Se sugiere también implementar las acciones de la Tabla 13 para todos los talleres internos dentro del taller de "Gran Revisión", principalmente la herramienta 5's, simplificación de documentación, y definición de métodos. Posterior a la implementación realizar auditorías 5's para dar seguimiento y continuidad al proceso de mejora.

13. Bibliografía

- 1. Womack, James and Jones, Daniel, "Lean Thinking", Editorial Free Pr, 2003.
- 2. Rajadell, Manuel y Sanchéz, José Luis, "Lean Manufacturing, la evidencia de una necesidad", Editorial Díaz Santos, 2010.
- 3. Socconini, Luis, "Lean Manufacturing, paso a paso", Editorial Norma, 2008.
- 4. Ortix, Chris, "Kaizen and Kaizen event implementation", Editorial Prentice Hall, 2009.
- 5. Sacristán, Francisco Rey, "Las 5S' orden y limpieza en el puesto de trabajo", FC Editorial, 2005.
- 6. Documentación programa APSYS (Alstom Production System).
- 7. Pressfield, Steven, "The Pareto Principle Meets the Long Tail", 2012
- 8. Parmenter, Davir, "Pareto's 80/20 rule for corporate accountants", Editorial John Wiley & Sons inc, 2007
- 9. Joel Levitt, "Lean Maintenance", Editorial Industrial Press, 2008.

14. Anexos

Anexo A: Descripción de los equipos de mantenimiento de la IM5A.

Fuente: Manual de Alstom (completar).

El tren X'trapolis Merval está compuesto de un coche motriz (MC) y de un coche remolque (TCP). El MC y TCP son idénticos en cuanto a dimensiones y ambos están equipados con una cabina de conducción, cada coche dispone de 3 puertas eléctricas por costado y una puerta de intercomunicación manual deslizante que permite el paso entre los dos coches. Cada coche está equipado con un enganche automático que permite el acoplamiento de dos trenes del mismo tipo.

Coche motriz (MC): Contiene la mayoría de los equipos necesarios para la tracción, sus dos bogies son motores, contienen un motor por eje, además un pantógrafo, un reóstato de frenado en el techo, cofre de alta tensión y cofre de tracción bajo bastidor.

Coche remolque (TCP): Contiene dos bogies remolques, y soporta un reóstato de frenado en el techo. Contiene los equipos de producción y almacenamiento de energía auxiliar eléctrica y neumática, dos convertidores de 400V, y dos compresores de aire con su depósito principal.

Bogies: Los bogies motores y remolques tienen la misma base arquitectónica, es decir:

Ejes que soportan un reductor y un disco de freno en el motriz y ejes del remolque que cada uno soporta un disco de freno.

Ruedas de diámetro 890mm cuando están en el máximo diámetro, de alta dureza que garantizan una buena durabilidad.

Bastidor de bogie mecanizado-soldado, construido a partir de chapas con alto limite elástico. Los bastidores de los bogies motores y remolques son similares, se diferencian esencialmente por los soportes de la fijación de los motores.

Dispositivo de frenado, donde cada bogie contiene cuatro bloques de freno de zapatas y 1 freno de disco por eje.

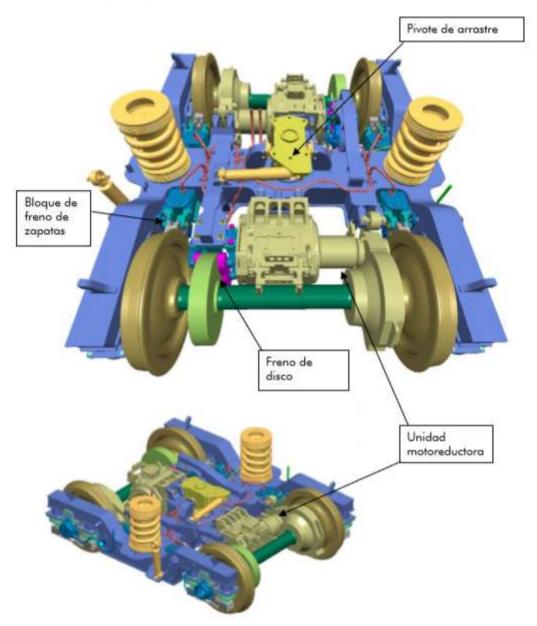


Figura 39: Bogie motriz.

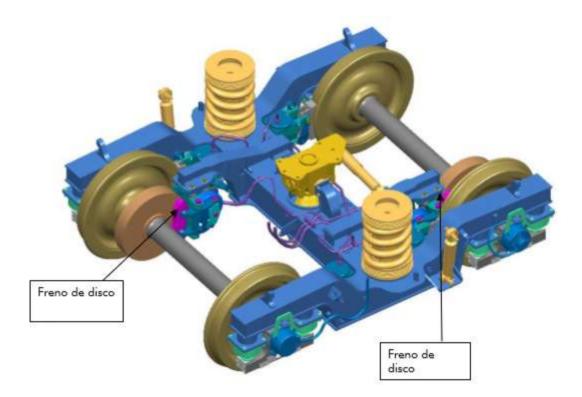


Figura 40: Bogie remolque.

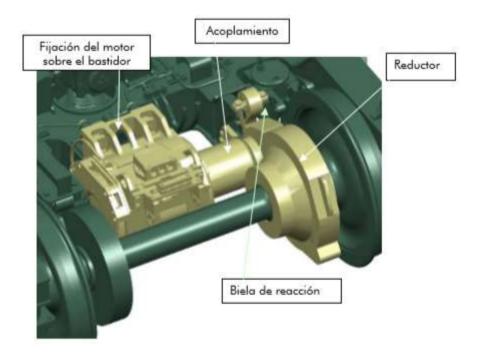


Figura 41: Dispositivo de arrastre, bogie motriz.

Sistema de arrastre caja-bogie por un pivote en forma de T y articulados sobre dos cojinetes elásticos. La inclinación del pivote es absorbida por una rótula elástica fijada en el centro de la traviesa del bastidor.

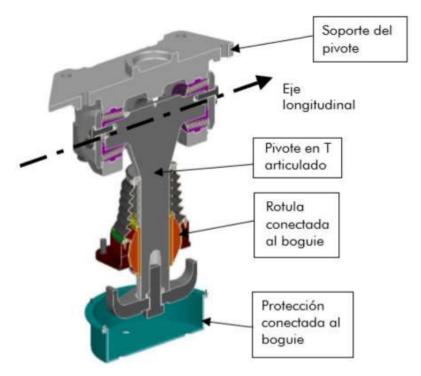


Figura 42: Sistema de arrastre caja-bogie.

Suspensión primaria con resortes cónicos de elastómero, lo que confiere a los bogies una buena aptitud a la desnivelación relativa de los rieles, así como de las curvas.

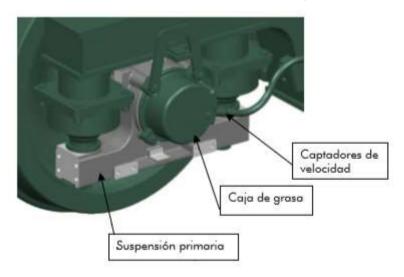


Figura 43: Suspensión primaria y caja de grasa.

Suspensión secundaria con resorte helicoidal y resortes cilíndricos de elastómero. La flexibilidad de esta suspensión, combinada con una amortiguación vertical y transversal optimizada permite alcanzar un buen nivel de comodidad. Dos topes transversales limitan los desplazamientos laterales de la caja.

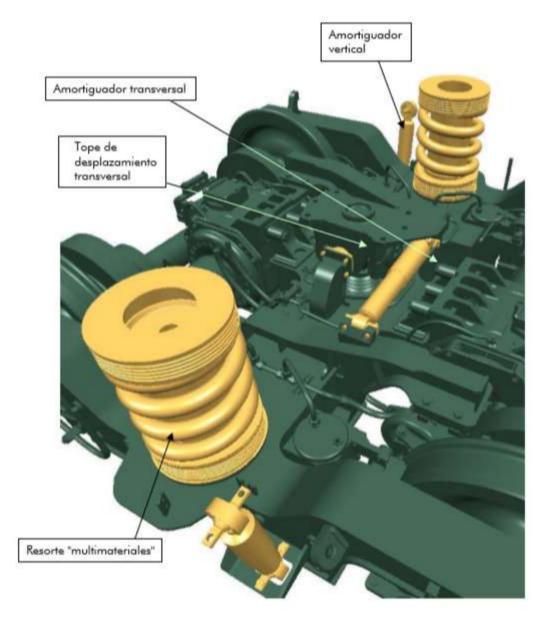


Figura 44: Suspensión secundaria y amortiguadores.

Anexo B: Tabla de Pareto Talleres.

Taller	Equipo	HP por tren	%	% Acumulado
Taller 5	Ruedas	763.2	43%	43%
Tallel 5	Ejes	703.2	43%	43%
	Motor de tracción			
Taller 1	Reductor	432	24%	67%
	Acople Esco			
	Timonería			
Taller 3	Biela	232.2	13%	81%
Tallel 3	Pivote	232.2	13%	01%
	Centro de Tracción			
Taller 2	Block de Freno	201.6	11%	92%
	TBU			
	Amortiguadores			
Taller 4	Suspensión Primaria	144	8%	100%
	Suspensión			
	Secundaria			
Total		1773	100%	

Tabla 44: Pareto talleres.

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo C: Tabla de diagrama de Pareto Ishikawa.

Soluciones	Cantidad	%	%Acumulado
Plan de mantenimiento preventivo	10	50%	50%
Definir método	2	10%	60%
Capacitación	2	10%	70%
5's	2	10%	80%
Actividad realizada por técnicos de contrato externo en tiempo sin productividad	2	10%	90%
Contrato de inspector de calidad	1	5%	95%
Compra de herramientas "machinas"	1	5%	100%
	20		_

Tabla 45: Pareto de Ishikawa

Anexo D: Tabla de Figura Pareto (Equipos).

Equipos	HP por tren	%	%Acumulado
Rueda	670	29%	29%
Bogie	401	17%	46%
Reductor	221	10%	56%
BFC	202	9%	65%
Cruce de bogies	202	9%	74%
Motor tracción	142	6%	80%
Timonería	130	6%	85%
Extremo de eje	94	4%	89%
TBU	72	3%	93%
ESCO	68	3%	96%
Suspensión Primaria	29	1%	97%
Suspensión Secundaria	29	1%	98%
Amortiguadores	14	1%	99%
Pivote	11	0%	99%
Biela	13	1%	100%
Centro de tracción	7	0%	100%

Tabla 46: Pareto equipos.

Anexo E: Hoja de observación de proceso.

ΑI	.ST <mark>O</mark> M			HOJA	OBSE	RVAC	ION [DEL F	PROC	ESO
Tipo \	/isita:	Unida	nd No.:	Fecha:	Miembros	s del equ	ıipo:			
Locali	dad:		Via:	Hoja de						Comentarias / Drahlamas
Grupo	: Tarea	a(s):	N	lombre:						Comentarios / Problemas
Paso			Descripcion		Duracion	Hora	VA	NVA	Material (S/N)	

Figura 45: Hoja de registro de datos evento Kaizen.

Fuente: Documentación APSYS.

Anexo F: Herramientas del mantenimiento de los equipos del Overhaul

BOGIES	
ACOPLE ESC	0
Herramientas estándar	DSM
1 chicharra de ¼	Manómetro
1 dado de 10 mm	Llave torque para 12Nm
Pie de metro	
Llave punta 15mm	
Llave punta 27mm	
Llave Allen 5mm	
Extractor de o'rings	
Espátula	
AMORTIGUADO	RES
Herramientas estándar	DSM
Dado 7/8"	-
BFC	
Herramientas estándar	DSM
Dado 7, 12, 17, 24, 30, 50 mm.	Llave dinamométrica de 05-25 Nm
Llave punta 10 y 20 mm.	Llave dinamométrica de 20-100 Nm
Destornillador de paleta	Llave dinamométrica de 40-200 Nm
Alicate seguro omega interior recto 65 a 100mm	Pie de metro
Alicate seguro omega exterior recto 18 a 60mm	
Alicate seguro omega interior 90° 18 a 60mm	
Alicate seguro omega exterior 45° 32 a 100mm	
Focha 10mm	
Llave torque para 30Nm	
Llave torque para 10Nm	
Llave torque para 180Nm	
Caimán	
Llave Allen 6mm	
Martillo de goma	
Llave Allen 10mm	
Destornillador de paleta 9mm	
Llave torx T55	
Barretilla	
CENTRO DE TRA	CCIÓN
Herramientas estándar	DSM
Caja "R"	Llave de torque
Dado 17 mm	

Maceta	
Barretilla	
Destornillador punta plana	
Llave punta corona 17 mm	
CHASIS	
Herramientas estándar	DSM
	Micrómetro interior de 50 a 300
Atornillador punta paleta	mm
RUEDAS	
Herramientas estándar	DSM
Dado 16, 17, 16 y 18mm.	Llave de torque de 20Nm-100Nm
Extensión de 1/2" y 1/4"	Llave de torque de 40Nm-200Nm
Llave punta corona 14,19, 33 y 16mm	Llave de torque de 2500Nm
Pistola de impacto	Reloj comparador
Adaptador 3 /4" a 1"	Micrómetro exterior 100 a 150 mm
Adaptador 3 /4" a 1 /2"	Micrómetro interior
Chicharra 3 /4" con barrote 3 /4"	Nivel de pelo
Focha 17mm	Micrómetro exterior 150 a 300 mm
Martillo	Rugosimetro
Barretilla	
Maceta	
Llave francesa 15"	
Llave Allen 8, 19 mm y 9/16"	
Lima Triangulas gruesa	
Flexómetro	
Brazo magnético	
Alicates	
MOTOR DE TRAC	CCIÓN
Herramientas estándar	DSM
1 chicharra de ¼	
1 dado de 10 mm	
Pie de metro	
Llave punta 15mm	
Llave punta 27mm	
Llave Allen 5mm	
Extractor de o'rings	
Espátula	
PIVOTE CENTI	RAL
Herramientas estándar	DSM
Martillo de peña	Llave torque para 173Nm
Cincel 10mm	Llave torque para 1668Nm
Dado 24mm	
Dado 46mm	

Barretilla	
SUSPENCIÓN PRI	MARIA
Herramientas estándar	DSM
Llave punta corona 24 mm	Llave dinamométrica 173 Nm
Dado 24 mm	
Chicharra mando 1/2	
SUSPENCIÓN SECU	INDARIA
Herramientas estándar	DSM
Maceta	
Barretilla	
TIMONERIA	
Herramientas estándar	DSM
Caja "R"	Llave torque (hasta 200 Nm.)
Dado 30 mm	Pie de metro.
Botador de 5 y 8 mm	
Alicate multitoma o caimán	
Maceta	
Barretilla	
Destornillador punta plana	
Llave punta corona 30mm	
REDUCTOR	
REDUCTOR Herramientas estándar	DSM
Herramientas estándar	DSM
Herramientas estándar Kit de machos M16x2	DSM Llave torque (hasta 200 Nm.) Micrómetro interior de 50 a 300
Herramientas estándar Kit de machos M16x2 Kit de machos M12x1,5	DSM Llave torque (hasta 200 Nm.) Micrómetro interior de 50 a 300
Herramientas estándar Kit de machos M16x2 Kit de machos M12x1,5 Kit de machos M12x1,75	DSM Llave torque (hasta 200 Nm.) Micrómetro interior de 50 a 300
Herramientas estándar Kit de machos M16x2 Kit de machos M12x1,5 Kit de machos M12x1,75 Juego de Allen	DSM Llave torque (hasta 200 Nm.) Micrómetro interior de 50 a 300
Herramientas estándar Kit de machos M16x2 Kit de machos M12x1,5 Kit de machos M12x1,75 Juego de Allen Juego extractor o'ring	DSM Llave torque (hasta 200 Nm.) Micrómetro interior de 50 a 300
Herramientas estándar Kit de machos M16x2 Kit de machos M12x1,5 Kit de machos M12x1,75 Juego de Allen Juego extractor o'ring Llave de torque de 5 a 25 Nm	DSM Llave torque (hasta 200 Nm.) Micrómetro interior de 50 a 300
Herramientas estándar Kit de machos M16x2 Kit de machos M12x1,5 Kit de machos M12x1,75 Juego de Allen Juego extractor o'ring Llave de torque de 5 a 25 Nm Allen 5 para llave de torque entrada 1/4"	DSM Llave torque (hasta 200 Nm.) Micrómetro interior de 50 a 300
Herramientas estándar Kit de machos M16x2 Kit de machos M12x1,5 Kit de machos M12x1,75 Juego de Allen Juego extractor o'ring Llave de torque de 5 a 25 Nm Allen 5 para llave de torque entrada 1/4" Llave punta corona 30mm	DSM Llave torque (hasta 200 Nm.) Micrómetro interior de 50 a 300
Herramientas estándar Kit de machos M16x2 Kit de machos M12x1,5 Kit de machos M12x1,75 Juego de Allen Juego extractor o'ring Llave de torque de 5 a 25 Nm Allen 5 para llave de torque entrada 1/4" Llave punta corona 30mm Espátula	DSM Llave torque (hasta 200 Nm.) Micrómetro interior de 50 a 300
Herramientas estándar Kit de machos M16x2 Kit de machos M12x1,5 Kit de machos M12x1,75 Juego de Allen Juego extractor o'ring Llave de torque de 5 a 25 Nm Allen 5 para llave de torque entrada 1/4" Llave punta corona 30mm Espátula Barretilla	DSM Llave torque (hasta 200 Nm.) Micrómetro interior de 50 a 300
Herramientas estándar Kit de machos M16x2 Kit de machos M12x1,5 Kit de machos M12x1,75 Juego de Allen Juego extractor o'ring Llave de torque de 5 a 25 Nm Allen 5 para llave de torque entrada 1/4" Llave punta corona 30mm Espátula Barretilla Caimán	DSM Llave torque (hasta 200 Nm.) Micrómetro interior de 50 a 300
Herramientas estándar Kit de machos M16x2 Kit de machos M12x1,5 Kit de machos M12x1,75 Juego de Allen Juego extractor o'ring Llave de torque de 5 a 25 Nm Allen 5 para llave de torque entrada 1/4" Llave punta corona 30mm Espátula Barretilla Caimán Caja R	DSM Llave torque (hasta 200 Nm.) Micrómetro interior de 50 a 300
Herramientas estándar Kit de machos M16x2 Kit de machos M12x1,5 Kit de machos M12x1,75 Juego de Allen Juego extractor o'ring Llave de torque de 5 a 25 Nm Allen 5 para llave de torque entrada 1/4" Llave punta corona 30mm Espátula Barretilla Caimán Caja R Fochas	DSM Llave torque (hasta 200 Nm.) Micrómetro interior de 50 a 300
Herramientas estándar Kit de machos M16x2 Kit de machos M12x1,5 Kit de machos M12x1,75 Juego de Allen Juego extractor o'ring Llave de torque de 5 a 25 Nm Allen 5 para llave de torque entrada 1/4" Llave punta corona 30mm Espátula Barretilla Caimán Caja R Fochas Alicate cortante	DSM Llave torque (hasta 200 Nm.) Micrómetro interior de 50 a 300

Tabla 47: Herramientas del mantenimiento.

Anexo G: Desechos del Overhaul.

		,		
	CONJUNTO	DESCRIPCIÓN MATERIAL	PESO UNITARIO (KG)	PESO CONJUNTO OVERHAUL (K
	REDUCTOR	RTG031 Standard Overhaul Kit DE 16 AÑOS	39,000	156,000
TALLER 1	REDUCTOR	Sello de plomo	0,006	0,024
	REDUCTOR	Alambre Sello de plomo	0,008	0,032
	MOTOR	RODAMIENTO DE RODILLOS	1,100	4,400
	MOTOR	RODAMIENTO DE BOLAS	0,700	2,800
	ESCO	MAINTENANCE KIT WITH GREASE	0,176	0,704
	ESCO	SET PERNERIA BALANCEADA ACOP. ESCO	0,444	3,552
TALLER 2	BFC	RODAMIENTO AXIAL	0,014	0,448
	BFC	MANGUITO DE UNION	0,216	3,456
	BFC	ARANDELA DE ENCLAVAMIENTO	0,030	0,480
	BFC	KIT BASICO DE OVERHAUL	0,076	1,216
	PIVOTE	DESCANSO PIVOTE	4,200	33,600
	TIMONERIA	SILENTBLOCK	3,300	52,800
	TIMONERIA	PASADOR TUBULAR 8X40A	0,008	0,128
	TIMONERIA	PASADOR TUBULAR PARTIDO CONNEX, SG8	0,008	0,256
ALLER 3	TIMONERIA	PASADOR PARTIDO 5X40	0,008	0,128
	TIMONERIA	BUJE C24-30X15	0,028	1,792
	TIMONERIA	RESORTE DE PRESION	0,012	0,192
	TIMONERIA	ANILLO DE COLLAR (SEGURO)	0,090	1,440
	AMORTIGUADOR	SILENTBLOCK	1,800	28,800
	TBU	RODAMIENTO EJES TBU	20,300	324,800
	EXTREMO EJE	CHAPA DE BLOQUEO	0,036	0,576
TALLER 4	RUEDAS	RUEDAS	350,000	5600
	UNION CAJA BOGUIE	TORNILLO RLS.NFE25-129-M6X16-5.8	0,050	1,600
	BFC	TORNILLO HEX HD, EN1665, M20 x 220 - F-12.9	0,624	29,952
	BFC	ARANDELA ELÁSTICA, DIN 6796 – 20 - FSt	0,046	2,208
	PRIMARIA	SUSPENSIÓN PRIMARIA	14,000	448,000
ARMADO BOGUIE	PRIMARIA	Chapa de Bloqueo	0,042	1,344
	PRIMARIA	TORNILLO, HEX HD. ISO 4017 - M16 x 70 - 8.8	0,126	16,128
	PRIMARIA	TUERCA, H, FR, M16, 8, FP1 – ISO 7040	0,030	3,840
	ESPIGA CENTRAL	TORNILLO HEX HD, ISO 4017 - M36 x 110 - 8.8	1,772	7,088
	ESPIGA CENTRAL	ARANDELA DE SEGURIDAD, SCHNORR VS 36	0,02	0,08
	ESPIGA CENTRAL	CHAPA DE BLOQUEO -placa aseguradora	0,034	0,272
	ESPIGA CENTRAL	GOLILLA, SCHNORR VS 30	0,062	0,992
	TOPES LATERALES	Topes laterales (lateral resilient4T25)	0,456	3,648
	MOTOR	Arandela M30 160 HV	0,075	1,200
	MOTOR	Tuerca Especial	0,070	0,560
	MOTOR	Tornillo M30x180-10,9	0,850	6,800
	MOTOR	Tornillo M30x150-10,9	0,700	5,600
	PUERTAS	RESORTE	0,102	1,224
PUERTAS	PUERTAS	resorte ensamble	0,358	4,296
	PUERTAS	resorte compresión	0,026	0,312
		PESO TOTAL ACERO (KG)		6752,768
	CONTINUE	GOMA	DESCRIPTION (VS)	DESC CONTINUE OVERLAND (
ALLED	CONJUNTO	DESCRIPCIÓN MATERIAL	PESO UNITARIO (KG)	PESO CONJUNTO OVERHAUL (I
ALLER 1	REDUCTOR	RTG031 Standard Overhaul Kit DE 16 AÑOS	0,111	0,444
ALLER 2		KIT BASICO DE OVERHAUL	0,236	3,776
ALLER 4	EXTREMO DE EJE SECUNDARIA	JUNTA CUERPO CAJA	0,01	0,160
ARMADO	SECUNDARIA SECUNDARIA	ASIENTO GOMA RESORTE SECUNDARIO	25,000	400,000
BOGUIE	CENTRO TRACCIÓN	BLOQUE DE GOMA	16,000	128,000
	CENTRO TRACCION	PESO TOTAL GOMA (KG)	0,442	1,768
		PLASTICO		534,148
	CONJUNTO	DESCRIPCIÓN MATERIAL	PESO UNITARIO (KG)	PESO CONJUNTO OVERHAUL (I
ALLER 1	ESCO	MAINTENANCE KIT WITH GREASE	0,048	0,192
	PUERTAS	Acoplamiento	0,036	0,432
UERTAS	PUERTAS	buje central	0,030	0,720
	TIMONERIA	BUJE CON REBORDE (PLASTICO)	0,030	1,280
ALLER 3	TIMONERIA	BUJE CON REBORDE (PLASTICO)	0,030	0,960
RMADO	PIVOTE	ROTULA	0,030	2,48
	IL LACIT	INCIOLA	0,02	2,40

Tabla 48: Desechos de Overhaul.

Anexo H: Tarjetas de identificación de material.



Figura 46: Tarjeta de identificación material no conforme. Fuente: Elaboración Propia.



Figura 47: Tarjeta de identificación material conforme. Fuente: Elaboración Propia.



Figura 48: Tarjeta de identificación material en proceso. Fuente: Elaboración Propia.

Anexo I: Odómetro del 01.01.19 proyectado.

TREN	REGISTRO KM 01-01-19	Feb-19	Mar-19	Vacaciones	May-19	Jun-19	Jul-19	Aug-19	Sep-19	Oct-19	Nov-19	Dec-19	Jan-20	Feb-20	Mar-20	Apr-20	May-20	Jun-20	Jul-20	Aug-20	Sep-20	Oct-20	Nov-20	Dec-20
1	1,464,394	1,474,394	1,484,394	1,494,394	1,504,394	1,514,394	1,524,394	1,534,394	1,544,394	1,554,394	1,564,394	1,574,394	1,584,394	1,594,394	1,604,394	1,614,394	1,624,394	1,634,394	1,644,394	1,654,394	1,664,394	1,674,394	1,684,394	1,694,394
2	1,463,242	1,473,242	1,483,242	1,493,242	1,503,242	1,513,242	1,523,242	1,533,242	1,543,242	1,553,242	1,563,242	1,573,242	1,583,242	1,593,242	1,603,242	1,613,242	1,623,242	1,633,242	1,643,242	1,653,242	1,663,242	1,673,242	1,683,242	1,693,242
3	1,459,935	1,469,935	1,479,935	1,489,935	1,499,935	1,509,935	1,519,935	1,529,935	1,539,935	1,549,935	1,559,935	1,569,935	1,579,935	1,589,935	1,599,935	1,609,935	1,619,935	1,629,935	1,639,935	1,649,935	1,659,935	1,669,935	1,679,935	1,689,935
4	1,442,750	1,452,750	1,462,750	1,472,750	1,482,750	1,492,750	1,502,750	1,512,750	1,522,750	1,532,750	1,542,750	1,552,750	1,562,750	1,572,750	1,582,750	1,592,750	1,602,750	1,612,750	1,622,750	1,632,750	1,642,750	1,652,750	1,662,750	1,672,750
5	1,462,743	1,472 743	1,482,743	1,492,743	1,502,743	1,512,743	1,522,743	1,532,743	1,542,743	1,552,743	1,562,743	1,572,743	1,582,743	1,592,743	1,602,743	1,612,743	1,622,743	1,632,743	1,642,743	1,652,743	1,662,743	1,672,743	1,682,743	1,692,743
6	1,462,030	1,472,030	1, 030	1,492,030	1,502,030	1,512,030	1,522,030	1,532,030	1,542,030	1,552,030	1,562,030	1,572,030	1,582,030	1,592,030	1,602,030	1,612,030	1,622,030	1,632,030	1,642,030	1,652,030	1,662,030	1,672,030	1,682,030	1,692,030
7	1,454,960	1,464,960	1,474,90	1 401,960	1,494,960	1,504,960	1,514,960	1,524,960	1,534,960	1,544,960	1,554,960	1,564,960	1,574,960	1,584,960	1,594,960	1,604,960	1,614,960	1,624,960	1,634,960	1,644,960	1,654,960	1,664,960	1,674,960	1,684,960
8	1,451,314	1,461,314	1,471,314	1,40-, 14	1,451,214	1,501,314	1,511,314	1,521,314	1,531,314	1,541,314	1,551,314	1,561,314	1,571,314	1,581,314	1,591,314	1,601,314	1,611,314	1,621.314	1.631.314	1.641.314	1,651,314	1,661,314	1,671,314	1,681,314
9	1,448,222	1,458,222	1,468,222	1,478,222	1, 222	1,458,222	1,508,222	1,518,222	1,528,222	1,538,222	1,548,222	1,558,222	1,568,222	1,578,222	1,588,222	1,598,222	1,608,222	1,61		222	1,648,222	1,658,222	1,668,222	1,678,222
10	1,443,682	1,453,682	1,463,682	1,473,682	1,483,602	1,193,682	1,500,682	1,513,682	1,523,682	1,533,682	1,543,682	1,553,682	1,563,682	1,573,682	1,583,682	1,593,682	1,603,682	1,61 P	untos d	e 682	1,643,682	1,653,682	1,663,682	1,673,682
11	1,443,039	1,453,039	1,463,039	1,473,039	1,483,039	1,455,035	1 503,039	1,512,039	1,523,039	1,533,039	1,543,039	1,553,039	1,563,039	1,573,039	1,583,039	1,593,039	1,603,039	1,61 C	conflict	039	1,643,039	1,653,039	1,663,039	1,673,039
12	1,439,167	1,449,167	1,459,167	1,469,167	1,479,167	1,489,167	1,199,107	1,509,167	1,512,167	1,529,167	1,539,167	1,549,167	1,559,167	1,569,167	1,579,167	1,589,167	1,599,167	1 60		167	1,639,167	1,649,167	1,659,167	1,669,167
13	1,438,280	1,448,280	1,458,280	1,468,280	1,478,280	1,488,280	1,498,200	1,500,280	1,518,280	1,520,280	1,538,280	1,548,280	1,558,280	1,568,280	1,578,280	1,588,280	1,592,200	1,608,280	1,618,280	1,628,280	1,638,280	1,648,280	1,658,280	1,668,280
14	1,437,972	1,447,972	1,457,972	1,467,972	1,477,972	1,487,972	1,497,972	1,50,,972	1,517.972	1,527,972	1,557,972	1,547,972	1,557,972	1,567,972	1,577,972	1,587,97	1,597,972	1,607,972	1,617 <mark>972</mark>	1,627,972	1,637,972	1,647,972	1,657,972	1,667,972
15	1,431,242	1,441,242	1,451,242	1,461,242	1,471,242	1,481,242	1,491,242	1,501,242	1,511,242	1,521,242	1,531,242	1,5-1,242	1,551,242	1,561,242	1,571,242	1,581,242	1,591,242	1,601,242	1,611, 42	1,621,242	1,631,242	1,641,242	1,651,242	1,661,242
16	1,431,162	1,441,162	1,451,162	1,461,162	1,471,162	1,481,162	1,491,162	1,501,162	1,511,162	1.521,102	1,531,162	1,541,162	1,551,162	1,561,162	1,571,162	1,581,162	1,591,162	1,601,162	1,611,152	1,621,162	1,631,162	1,641,162	1,651,162	1,661,162
17	1,427,591	1,437,591	1,447,591	1,457,591	1,467,591	1,477,591	1,487,591	1,497,591	1,507,591	1,517,791	1,527,591	1,537,591	1,547,591	1,557,591	1,567,591	1,577,591	1,587,591	1,597,591	1,607,551	1,617,591	1,627,591	1,637,591	1,647,591	1,657,591
18	1,423,879	1,433,879	1,443,879	1,453,879	1,463,879	1,473,879	1,483,879	1,493,879	1,503,879	1,513,879	1,333.879	1,552 879	1,543,879	1,553,879	1,503,979	1,573,879	1,583,879	1,593,879	1,603,87	1,613,879	1,623,879	1,633,879	1,643,879	1,653,879
19	1.402.292	1.412.292	1.422.292	1.432.292	1.442.292	1,452,292	1.462.292	1.472.292	1.482.292	1.492.292	1.502.292	1 512.292	1,522,292	1.532.292	1.542.292	1,555,392	1.562.292	1.572.292	1.582.292	1.592.292	1.602.292	1.612.292	1.622.292	1.632.292
20						1,438,036							_											
21						1,434,198															-			
22	· ·					1,427,725																		
23	1,377,216					1,427,216								-					_					
24						1,419,621																		
25						1.395.210								-										
26	,, -	,,	,,	// -	,,	1,367,187	,, .	, ., .	, -, -	,, .	, -, -	,, .	,, .	, ,, ,	,, .	1	,,		,, -	,, -	,, -	, ,		,, -
27						1,151,049																		
	-,101,073	1,111,043	1,121,043	1,131,043	1,171,043	1,131,043	1,101,043	1,171,043	1,101,043	1,131,043	1,201,043	1,211,043	1,221,043	1,231,043	1,271,043	1,231,043			15	1,231,043	1,301,043	1,311,043	1,321,043	20
																	-3	Días	-5/	Días			•	<u días<="" td=""></u>

Tabla 49: Odómetro del 01-01-19 proyectado. Elaboración Propia.