

# Improvement in Operability Level and Planning in the Electrical Workshop of a Repair Center for Machinery Components used in Mining, using Methods for Forecasting and Lean Tools Manufacturing

Gina Lucia Huamán Saravia, Licenciada en Ingeniería Industrial, Eduardo Carbajal López, Magister en Estadística  
Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, gina.huaman@pucp.pe,  
Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, ecarbajal@pucp.pe

*Abstract— This study aims to reduce the lead time of repair of components for heavy machinery in the mining industry, through the use of forecasting methods and lean manufacturing tools, taking as a specific example for the analysis the electrical workshop of a mining company. The study includes the development of the process diagnosis to identify the critical process, the key problems, its root causes for the validation of the proposed improvement tools, then the development of the Lean Manufacturing methodology and forecasting models to improve the process indicators and finally a technical and economic evaluation to demonstrate the viability of the proposal.*

*Keywords—Lean manufacturing, Forecasts, Mining, VSM*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Mejora a Nivel de Operatividad y Planificación en el Taller Eléctrico de un Centro de Reparaciones de Componentes de Maquinaria para Minería empleando Métodos de Pronóstico y Herramientas Lean Manufacturing

Gina Lucia Huamán Saravia, Licenciada en Ingeniería Industrial, Eduardo Carbajal López, Magister en Estadística Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, gina.huaman@pucp.pe, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, ecarbajal@pucp.pe

*Abstract—El presente estudio tiene como objetivo reducir el lead time de reparación de componentes para maquinaria pesada de la industria minera, a través del uso de métodos de pronósticos y herramientas lean manufacturing, tomando como ejemplo específico para el análisis el taller eléctrico de una empresa minera. El estudio comprende el desarrollo del diagnóstico de procesos para identificar al proceso crítico, los problemas clave, sus causas raíces para la validación de las herramientas de mejora propuestas, luego el desarrollo de la metodología Lean Manufacturing y modelos de pronóstico para mejorar los indicadores del proceso y finalmente una evaluación técnica y económica para demostrar la viabilidad de la propuesta.*

**Keywords—Lean manufacturing, Pronosticos, Minería, VSM**

## I. INTRODUCCIÓN

En la empresa se quiere realizar un enfoque hacia el área de servicios, puesto que se está concentrando sus requerimientos en un 42% del trabajo total. Según Gestión, el sector minero es altamente complejo y ha incrementado sus necesidades en los últimos años, siendo su cliente más destacado, como se puede observar en la Figura 13 de las divisiones de la empresa, 6 son de servicio o soporte y 4 se encuentran enfocados en minería. Lo cual da lugar al nuevo enfoque que tiene la empresa desde hace 5 años, en donde se reorientó los propósitos estratégicos hacia la respuesta de sostenibilidad de los equipos KM vendidos, mediante los mismos. Dentro del área de servicios, es muy marcado el porcentaje de participación que tiene el centro de reparaciones, con 30% de participación total en ventas.

El centro de reparaciones KRCP ha presentado los últimos dos años sobrecarga de trabajo y actualmente se está realizando proyectos de ampliación. Sin embargo, se ha identificado ciertas oportunidades de mejora que aún no han sido estudiadas a fondo. Por ejemplo; en el área de planeamiento. A partir de este escenario, el presente trabajo de investigación realiza un diagnóstico de la situación actual de los servicios expresos más críticos del Corredor 1 y plantea una propuesta de mejora, a través de la aplicación de la herramienta de simulación de eventos discretos para reducir los tiempos de espera en las estaciones y terminales que recorren más de 5 distritos de Lima. Finalmente, también se muestra la factibilidad de la propuesta a través de un estudio técnico – económico y un análisis de sensibilidad.

La parte administrativa de planeamiento debería sustentar la operacional en un centro de reparaciones. Al ser conocido que la base fundamental de un servicio es su entrega oportuna, la gestión adecuada de los recursos y entradas a la línea que debe tener los talleres se convierte en una estrategia clave del negocio. No obstante, en las operaciones de reparación se ha presentado desviaciones en tiempo de entrega por ausencia de herramientas, equipos y repuestos, entre otros

A partir de ello, el desarrollo de estudio se enfocará hacia la identificación de las causas raíces que ocasionan dichas desviaciones, con la finalidad de encontrar las mismas, analizar las posibles soluciones y aplicar la mejor solución para brindar un servicio de calidad; sustentable y eficiente.

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

## II. DIAGNÓSTICO

Para encontrar de forma efectiva las principales oportunidades de mejora, resulta necesario reconocer la dirección que tiene el entorno donde se desarrollará el análisis; conocer sus procesos, sub-procesos, los objetivos, indicadores que reflejan dichos objetivos y finalmente como se están cumpliendo dichos indicadores. Para la selección del proceso crítico se emplearon los objetivos estratégicos del balance scorecard de la empresa, mostrados en la Tabla 1.

TABLA 1  
OBJETIVOS DE LA PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA

NIVEL FINANCIERO	Aumento de la rentabilidad financiera
	Potenciar los ingresos de la unidad servicios
	Reducir Costos
NIVEL CLIENTES	Aumentar la productividad del cliente
	Generar soluciones innovadoras
	Aumentar la participación en el mercado
NIVEL PROCESOS	Reducir el nivel de incidentes
	Generar productos de calidad
	Incrementar las iniciativas en procesos
	Incrementar la productividad
NIVEL APRENDIZAJE	Incrementar la cultura de responsabilidad con el sistema integrado
	Gestión del capital humano

El peso entre los criterios se determinó con una matriz de comparaciones pareadas con input de gerentes de la empresa. El resultado fue que el macro proceso crítico seleccionado correspondía a las Soluciones en Servicio. El macroproceso se compone de dos procesos clave detallado en la Tabla 2.

TABLA 2  
MACROPROCESO DE SOLUCIONES EN SERVICIOS

Soluciones en servicios	Servicios de reparación y mantenimiento en Taller
	Servicios de reparación y mantenimiento en Campo

Para la selección entre ambos se emplean criterios operativos. Los subprocesos componentes de estos procesos se muestran en la Figura 1.

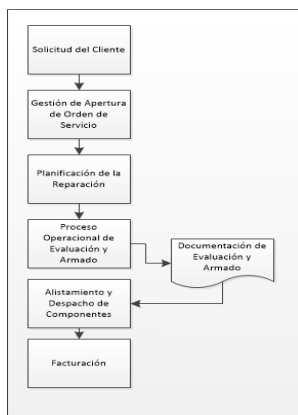


Fig. 1 Subprocesos

Para la selección del sub proceso a mejorar se emplearon tres criterios, cuyos pesos fueron calculados empleando una matriz de comparaciones pareadas. Bajo esto se concluye que el subproceso crítico es el Servicio de Reparación y Mantenimiento en Taller. El flujograma e las actividades es el referido en las Figura 2.

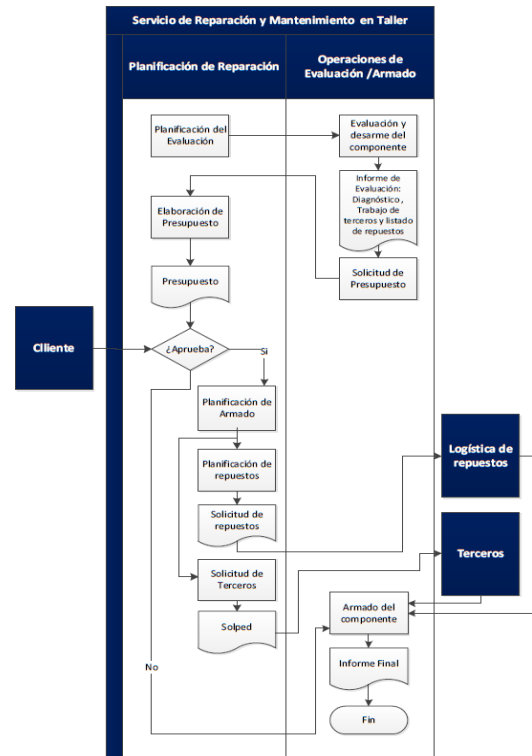


Fig. 2 Flujograma del servicio troncal parte 2

De acuerdo con la selección de sub-procesos obtenido, se presentan las 8 actividades anteriormente explicadas.

1. Planificación de evaluación
2. Elaboración de presupuesto
3. Planificación de armado
4. Planificación de repuestos
5. Solicitud de servicio de terceros
6. Evaluación y desarme
7. Solicitud de Presupuesto
8. Armado del componente

Se plantean indicadores para cada una de estas actividades, con el objetivo de evaluar el desempeño e identificar la posibilidad de existencia de problemas. Se emplean fichas de indicador con el fin de mapear los valores históricos, documentar las formulas, fuentes y observar desempeño versus el valore meta de cada uno. Como ejemplo la Figura 3 muestra el detalle para un indicador.

I1: Lead time de ingreso			
Descripción:	Este indicador señala cuantos días el componente espera para ingresar finalmente a la línea, interfieren en su programación la capacidad de línea y la buena planificación que se realice.	Fórmula/Cálculo:	Sumatoria del número de días en espera para ingresar al taller.
Responsable:	Supervisión de Planificación		Unidad: días
Fuente / Procesamiento:	Estatus-Taller de Componentes-Cierre 2017. Lead time/ Taller eléctrico.		
Frecuencia de Medición:	Mensual	Oportunidad:	Ultimo día del

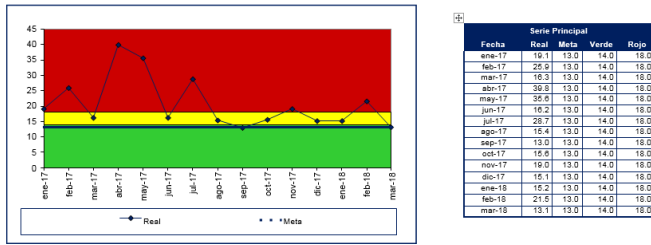


Fig. 3 Ficha de indicador

A partir del análisis de las fichas se logra determinar la lista de problemas, detallada en la Tabla 3, los cuales son priorizados empleando un diagrama de Pareto. Puede verse el diagrama en la Figura 4.

TABLA 3  
LISTA DE PROBLEMAS

Problema	Promedio	%	% Acumulado
A. Incompatibilidad en el trabajo de terceros de acuerdo a lo requerido por el cliente.	S/. 1,011,620.74	24.42%	24.42%
B. Falta de herramientas o equipos para la continuación efectiva de los trabajos	S/. 973,439.64	23.50%	47.93%
C. Equipos o herramientas gastadas utilizables.	S/. 915,523.70	22.10%	70.03%
D. Informes mal redactados que requieren reprocesos y generan retrasos en la línea.	S/. 317,041.63	7.65%	77.69%
E. Repuestos no conformes que llegan a la línea de trabajo y son inutilizables	S/. 235,911.03	5.70%	83.38%
F. Repuestos incompletos que llegan a la línea de trabajo y retrasan el flujo de reparación.	S/. 232,632.63	5.62%	89.00%
G. Documentación y retrasos en el ingreso del componente a la línea	S/. 198,711.22	4.80%	93.80%
H. Repuestos no disponibles en la línea	S/. 133,678.45	3.23%	97.02%
I. Alta cantidad de reprogramaciones	S/. 85,243.37	2.06%	99.08%
J. Altos trabajos de reprocesos en el desarme	S/. 38,062.16	0.92%	100.00%

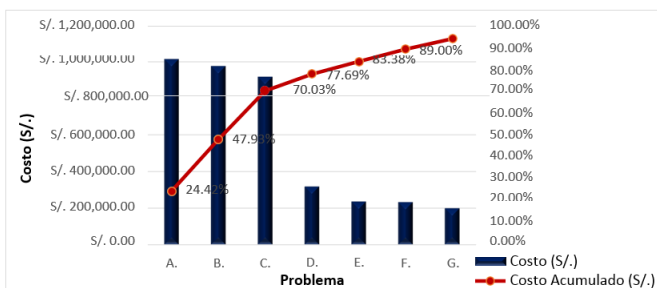


Fig. 5 Pareto de problemas identificados

Determinados los problemas principales que corresponden a (A) Incompatibilidad en el trabajo de terceros de acuerdo a lo requerido por el cliente, (B) Falta de herramientas o equipos para la continuación efectiva de los trabajos y (C) Equipos o herramientas gastadas utilizables. El paso siguiente fue desarrollar un estudio para determinar las causas y posteriormente las causas raíces de estos

problemas empleando un diagrama de Ishikawa. En total se desarrollan tres diagramas, mostrándose uno de ellos en la Figura 6. Complementando estos diagramas con una matriz de probabilidad e impacto se seleccionan las causas más importantes, para aplicar en estas un análisis 5W, como ejemplo uno en la Figura 7, para determinar las causas raíces que permitirán la selección correcta de contramedidas posteriormente.



Fig. 6 Diagrama de Ishikawa

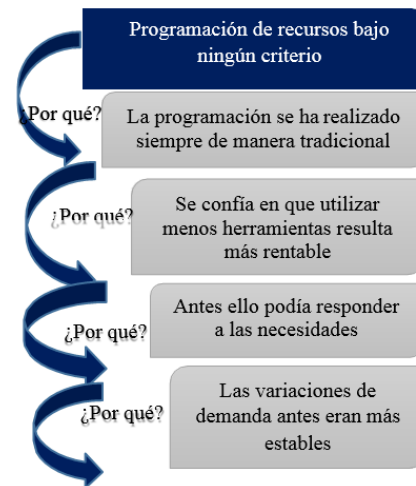


Fig. 7 Análisis 5W

En función de la identificación del conjunto de causas raíz se identifican cuatro posibles contramedidas.

1. Aplicar herramientas lean manufacturing para la gestión en la adquisición y puesta en línea de servicios/herramientas efectivamente.
2. Crear un taller para realizar los trabajos de terceros más solicitados dentro de la compañía y el puesto de especialista en herramientas/equipos.
3. Establecer un modelo sencillo para la planificación en base a la demanda
4. Utilizar un software de simulación que permita evaluar las demandas del taller eléctrico para a través de ello alinearlos con el número de herramientas /equipos requeridos.

Para decidir entre cual es estas mejoras diseñar, se emplea una matriz FACTIS . La evaluación de las alternativas se resume en la Tabla 4 donde puede observarse que los mayores puntajes corresponden con la contramedida 1 y la contramedida 3 que serán desarrolladas.

TABLA 4  
MATRIZ FACTIS

Criterio de selección	Determinación del problema						
	Contramedida 1			Contramedida 2			
	Criterio	Puntaje	Total	Criterio	Puntaje	Total	
F	3	Muy Difícil	1	3	Difícil	2	6
A	4	Si	1	4	Si	1	4
C	6	Mucho	5	30	Medio	3	18
T	5	Largo	1	5	Largo	1	5
I	2	Alto	1	2	Alto	1	2
S	2	Medio	2	4	Poco	1	2
			48				37
Criterio de selección	Contramedida 3			Contramedida 4			
	Criterio	Puntaje	Total	Criterio	Puntaje	Total	
	F	3	Fácil	3	9	Difícil	2
A	4	Sí	1	4	Sí	1	4
C	6	Poco	1	6	Poco	1	6
T	5	Corto	3	15	Medio	2	10
I	2	Poco	5	10	Medio	3	6
S	2	Poco	1	2	Poco	1	2
			46				34

### III. PROPUESTA DE MEJORA EN BASE A PRONÓSTICOS

En base a métodos de pronóstico y balance de línea se obtendrá respectivamente la demanda de componentes reparados y la cantidad de estaciones de trabajo que se necesitan; por tanto, la cantidad de kits de herramientas necesarias para trabajar adecuadamente. Dada la complejidad que tiene un centro de reparaciones, se desestima usar los pronósticos a plazos extensos; sin embargo, para el entorno inmediato es muy útil manejarlos.

Luego de realizada la evaluación de la cantidad tanto de herramientas como de servicios, se podrá tomar decisiones cruciales para diferenciar el orden de prioridad de los mismos y aclarar el escenario para las herramientas lean manufacturing.

#### A. Modelo para el establecimiento de la demanda

Se emplean diferentes modelos de pronóstico para los principales componentes, dentro de ellos suavizamiento exponencial, suavizamiento con ajuste a la tendencia, promedio móvil, promedio móvil ponderado para los para los principales componentes:

- Motor de tracción
- Alternador
- Blower

Se incluye también la clasificación ABC de los proveedores, y

considerando los tiempos estándar por componente de motor de tracción (58 días), alternador (40 días) y Blower (30 días). Sobre la base un crecimiento anual de la demanda de 15% por año de acuerdo a estimaciones previas se procede a realizar un pronóstico conjunto y un balance de línea para cada componente.

### IV. PROPUESTA DE MEJORA LEAN MANUFACTURING

Se desarrollará la visualización detallada del proceso, identificación de desperdicios y propuesta de mejora para la adquisición y puesta en línea de terceros. La propuesta se mostrará de manera secuencial en base a los resultados de las herramientas lean más pertinentes que arroje la evaluación del sistema actual y el orden más óptimo en el que debería realizarse la implementación.

#### A. Value Stream Map

A continuación, en la Figura 8 se muestra el Value Stream Mapping (VSM) de servicios de terceros realizado a partir de la visita y diálogo con los integrantes de los procesos involucrados. Para el requerimiento y puesta en línea de servicios de terceros se necesita tanto la parte administrativa como operativa, ello inicia con la elaboración de informe en taller y a continuación la hoja de servicios de terceros hecha por el Planner que realiza el requerimiento a través de un asistente administrativo; es crucial que estos informes no contengan errores pues ha llevado y lleva a confusiones a los proveedores, lo cual se traduce en re-procesos de trabajos y por tanto elevación del lead time de entrega.

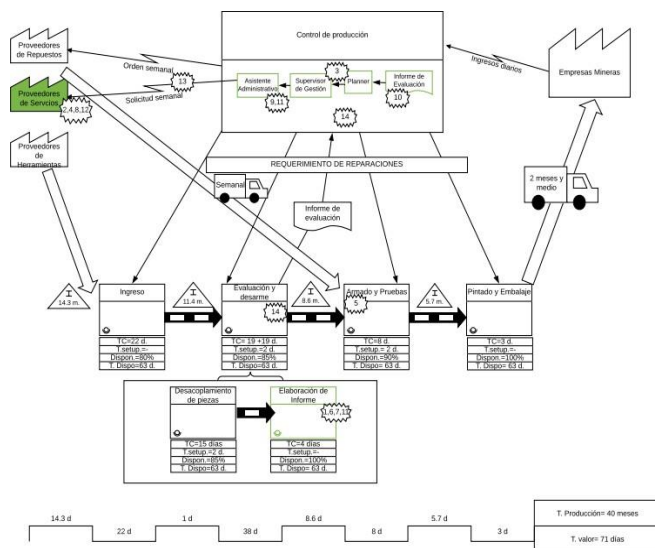


Fig. 8 VSM actual

Son aproximadamente 19 días en promedio los que tarda un tercero, lo cual eleva en gran medida el lead time total. Existe

problemas de calidad en el flujo de adquisición de terceros tanto por la parte del taller como de los proveedores; es necesario, entonces, contar con una relación estratégica con los proveedores, al requerir en el 90% de reparaciones de los trabajos de terceros. A partir del VSM se procede a la identificación d desperdicios.

### C. Identificación de desperdicios

Se identificación los desperdicios, fueron clasificados por categoría y se cruzaron versus las herramientas pilares Lean para seleccionar las herramientas idóneas a aplicar. Puede verse en la Figura 9 que las herramientas idóneas son el Trabajo estandarizado, la Gestión Visual y la Relación con proveedores.

N°	Descripción	Categoría	Herramientas Lean																	
			5S	SMED	TPM	TRABAJE ESTANDARIZADO	GESTIÓN VISUAL	POKAYOKE	KAIZEN	JIT	KANBAN	JIDOKA	R. PROVEEDORES							
1	Los informes no están listos.	Esperas					x													
2	Cuando no se cumplen plazos.	Esperas					x													x
3	Demoras para aprobar al tercero.	Esperas					x													x
4	No se realiza todos los trabajos.	Esperas					x	x	x											x
5	Reingresos de los componentes.	Transporte					x	x	x											
6	Se rehacen informes de evaluación.	Sobre procesos	x				x	x	x											
7	El informe entregado esta errado.	Sobre procesos	x				x	x	x											
8	El tercero no entiende el informe.	Sobre procesos					x	x	x											x
9	Los reprocesos administrativos.	Sobre procesos					x	x												
10	Cuando hay idas y regresos.	Exceso movimientos	x				x													
11	En informes de evaluación/ solicitud.	Defectos	x				x	x	x											
12	En los trabajos realizados.	Defectos					x													x
13	Relación con terceros no horizontal.	D.Humano							x											x
14	No hay un trabajo en equipo.	D.Humano																		x
Fuente: Elaboración Propia.			4	0	0	13	7	6	1	1	0	0	7							

Fig. 9 Pareto de problemas identificados

### D. Incorporación del sistema para la formación de proveedores

Se procedió a identificar a los proveedores y a priorizarlos considerando factores de cantidad de trabajos posibles a realizar, peso de la demanda y nivel de costo. La figura 10 muestra un esquema visual de la clasificación por puntajes obtenida.

Según el informe Informática Business Value Assessment citado por la EAE Business School, las empresas pueden ahorrar hasta 6 millones de dólares americanos anuales en gastos relacionados a temas de proveedores a través del aprovechamiento de la calidad de los datos y otras estrategias de información (2016).

En busca de la formación de un proveedor lean se propone considerar lo siguiente:

- Mostrar al proveedor los procesos que tendrán parte en la adquisición y puesta en línea de sus servicios, así como la necesidad de su cumplimiento.

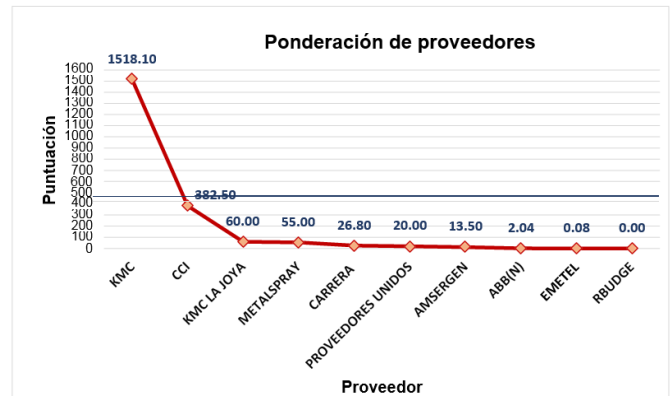


Fig. 10 Clasificación de proveedores

La propuesta es AlarmKM-providers, la cual sería una Web en línea a la que el usuario ingresaría con una contraseña brindada por la empresa, permitiendo tener comunicación acerca de los procesos en los cuales participa a partir de que es solicitado, cabe mencionar que actualmente esta comunicación se hace a través de llamadas y correos pero no es tan eficiente, así a través de un sistema de alertas, informes, aprobaciones en la Web

En la Figura 10, se puede observar la segunda pantalla donde el proveedor podrá escoger el tipo de componente sobre el cual desea ver los procesos realizados, en este caso se trata de un motor de tracción y automáticamente coloca este elemento, se visualizan todos los motores que han sido encargados para realizar trabajos en el lado derecho. En esta pantalla, el proveedor seleccionará que motor es de acuerdo con su fecha de ingreso y el trabajo solicitado, al dar clic lo direccionará hacia la pantalla central.

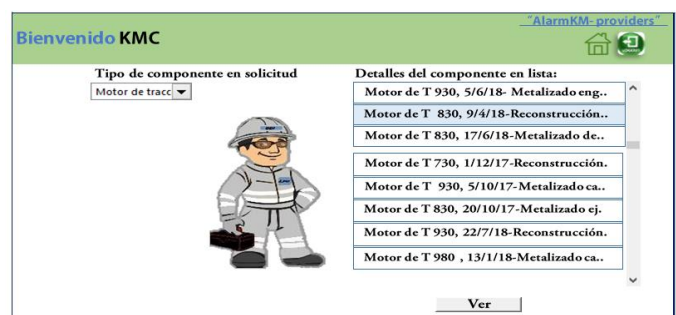


Fig. 11 Sistema propuesto para relación con proveedores Lean

### E. Incorporación de la herramienta de gestión visual

La gestión visual, en complemento con la estandarización, se ha convertido en uno de los procesos claves a incorporarse en el desarrollo lean, a continuación, se propone las



TABLA 7  
LEAD TIME LÍNEA DE HERRAMIENTAS

	Actual	Propuesta
Días de armado	8	7
Días de desarme	19	18
Días de ingreso	22	16

### B. Evaluación económica

Se realizó el cálculo de presupuesto de ingresos y egresos relevantes de la mejora, y en base a una estimación de costo de oportunidad se estimó un costo promedio ponderado de capital (CPPK) de 15.22%, en base a estos se analizaron los indicadores económicos usuales que se resumen en la Tabla 8.

TABLA 8  
INDICADORES ECONÓMICOS

CAPM	15.22%
TIR	62.30%
VAN	S/ 1,750,034.64

Se evidencia en síntesis la sostenibilidad económica de la propuesta desarrollada.

## VI. CONCLUSIONES

Los incidentes operacionales del taller eléctrico son los mayores en KRCP y se ha desarrollado las mejoras en este taller; sin embargo, la aplicabilidad de las herramientas presentadas puede ser dada en cualquiera de los talleres, dado que no son técnicamente específicas sino generaliza los problemas que los talleres manejan ya sea en el taller mecánico, módulos en relación a los terceros y las herramientas.

Para la adquisición y puesta en línea de terceros se usó las herramientas lean: estandarización de procesos, gestión visual y relación con proveedores. Disminuir la cantidad de incidentes a causa de la incompatibilidad de trabajos de terceros; por olvido, mal flujo de la información o su deficiencia, débil relación entre KM y sus Proveedores, significa un reto que a través del enfoque lean puede ser superado, en base a las herramientas presentadas en 3 años se espera reducir las IO's en un 80% y reducir el lead time implicado por reprocesos con los terceros en 70% bajo un escenario conservador, de acuerdo al estado del aporte de dichas herramientas. Cabe mencionar que las herramientas al ser incorporadas dan el soporte necesario y suficiente para alcanzar dichos indicadores, se evaluó a través de la toma de tiempo de las actividades propuestas en los flujogramas estandarizados

Para la adquisición y puesta en línea de herramientas se usó la estandarización, enfoque socio técnico y JIT. Lo cual permitirá reducir las IO's en un 90% en el periodo del proyecto, gran parte de esta implementación deberá estar

iniciada por la compra de las herramientas y equipos faltantes que permitan el desarrollo a tiempo de los procesos.

Los resultados de las herramientas al ser incorporadas resultarían en 13 días de ahorro por componente en el lead time considerando el éxito de la implementación en un 100% y en 9 días de ahorro si se toma en cuenta que la implementación resulta exitosa en 70%. Donde los indicadores de rendimiento considerando la implementación exitosa en un 70%, resultan en una TIR=62.3% y VAN= S/ 1, 750,034.64, lo cual es una muestra de la alta rentabilidad que generaría el proyecto.

## REFERENCES

- [1] MESCUA, Ángel (2011) Análisis del planeamiento estratégico en Komatsu Mitsui SA. [informe de clase].Lima.Consulta:10 de abril de 2018. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/75120118/Komatsu-mitsui-Planeamiento-Estrategico>
- [2] GIL, Yolanda y Eva VALLEJO (2008)Guía para la identificación y análisis de los procesos de la Universidad de Málaga. Madrid: Universidad De Málaga, Vicerrectorado de Calidad, Planificación Estratégica y Responsabilidad Social. Consulta: 13 de abril de 2018. Recuperado de [https://www.uma.es/publicadores/gerencia\\_a/wwwu\\_ma/guiaprosos1.pdf](https://www.uma.es/publicadores/gerencia_a/wwwu_ma/guiaprosos1.pdf)
- [3] Gómez, Lupita y Néstor ORTIZ (2012)“Una revisión de los modelos de mejoramiento de procesos con enfoque en el rediseño”. Elseiver Doyma Papers: Estudios gerenciales, 2012. Consulta: 13 de abril de 2018. Recuperado de [https://ac.els-cdn.com/S0123592312700037/1-s2.0-S0123592312700037-main.pdf?\\_tid=6d533ee0-5a85-44eb-a1789c266f32b1a5&acdnat=1523659182\\_66c8deb680233c1b412dd06961e1b28a](https://ac.els-cdn.com/S0123592312700037/1-s2.0-S0123592312700037-main.pdf?_tid=6d533ee0-5a85-44eb-a1789c266f32b1a5&acdnat=1523659182_66c8deb680233c1b412dd06961e1b28a)
- [4] ROMEIJNDERS, Ward, Ruud TEUNTER y Willem VAN JAARVELD (2012)“A two-step method for forecasting spare parts demand using information on component repairs”. European Journal of Operational Research: Stochastics and Statistics, 2012.Consulta: 14 de junio de 2018. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/257196065\\_A\\_twostep\\_method\\_for\\_forecasting\\_spare\\_parts\\_demand\\_using\\_information\\_on\\_component\\_repairs](https://www.researchgate.net/publication/257196065_A_twostep_method_for_forecasting_spare_parts_demand_using_information_on_component_repairs)
- [5] Fourie, C. y N. Umeh (2016)“Application of lean tools in the supply chain of a maintenance environment”. South African Journal of Industrial Engineering: Department of Industrial Engineering, 2016. Consulta: 15 de junio de 2018. Recuperado de <http://www.scielo.org.za/pdf/sajie/v28n1/16.pdf>
- [6] POCOREY, Luis y Makoto AYABE(2017)“Sistema De Producción Toyota (TPS), Eficiencia en la producción a través de la reducción de improductividad en todos sus niveles”. Revistas Bolivianas Año 15 No. 19, 2017. Consulta: 30 de junio de 2018. Recuperado de [http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rtft/v13n19/v13n19\\_a09.pdf](http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rtft/v13n19/v13n19_a09.pdf)