

Reduction of loss of balance in the manufacturing process of beds for the health sector applying Lean tool (Heijunka, Kanban and Supermarket)

Napoleón Hernández, Ingeniero¹, Michael Ccapacca, Ingeniero², Fannyng Roncal, Ingeniero³, Wilmer Atoche, Magister⁴

^{1,2,3}Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, ¹napoleon.hernandez.v@uni.pe, ²michael.ccapacca.m@uni.pe, ³fannyng.roncal.r@uni.pe, ⁴Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú ⁴watoche@pucp.edu.pe

Abstract– *The present study work has been carried out in a metalworking company dedicated to the manufacture of hospital furniture.*

The strategies are aimed at reducing the loss of balance in the work schedules with the aim of increasing productivity in the material transformation processes, for this reason it focuses specifically on the elimination of waste or activities that do not add value using the Map of value stream as a diagnostic tool. After that, the Lean Manufacturing tool: Heijunka was used to optimize the loss of balance in the work schedule that is the object of study. Likewise, the Kanban and Supermarket system was applied for inventories.

A two-phase methodology was used. Phase one consists of the analysis of the time cycle, calculation of the takt time and number of process operators as well as the design of the Supermarket and Kanban. In the second phase, a training plan was programmed for the operators to convert the operators into multitasking, turning them into personnel with greater flexibility in the activities of the work cell.

The main achievement is the reduction from 25% to 16% of the balancing losses of the work schedule and reducing inventories to zero. Likewise, there was a positive economic impact due to the generation of savings according to the financial indicators VAN, IRR, B / C and Recovery period.

Keywords- *Lean Manufacturing, Value Stream Map, Heijunka, Loss of Balance, Supermarket.*

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.432>

ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

Reducción de pérdida de balanceo en proceso de manufactura de camas para el sector salud aplicando herramienta Lean (Heijunka, Kanban y Supermercado)

Napoleón Hernández, Ingeniero¹, Michael Ccapacca, Ingeniero², Fannyng Roncal, Ingeniero³, Wilmer Atoche, Magister⁴

^{1,2,3}Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, ¹napoleon.hernandez.v@uni.pe, ²michael.ccapacca.m@uni.pe, ³fannyng.roncal.r@uni.pe, ⁴Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú ⁴watoche@pucp.edu.pe

Abstract– The present study work has been carried out in a metalworking company dedicated to the manufacture of hospital furniture.

The strategies are aimed at reducing the loss of balance in the work schedules with the aim of increasing productivity in the material transformation processes, for this reason it focuses specifically on the elimination of waste or activities that do not add value using the Map of value stream as a diagnostic tool. After that, the Lean Manufacturing tool: Heijunka was used to optimize the loss of balance in the work schedule that is the object of study. Likewise, the Kanban and Supermarket system was applied for inventories.

A two-phase methodology was used. Phase one consists of the analysis of the time cycle, calculation of the takt time and number of process operators as well as the design of the Supermarket and Kanban. In the second phase, a training plan was programmed for the operators to convert the operators into multitasking, turning them into personnel with greater flexibility in the activities of the work cell.

The main achievement is the reduction from 25% to 16% of the balancing losses of the work schedule and reducing inventories to zero. Likewise, there was a positive economic impact due to the generation of savings according to the financial indicators VAN, IRR, B / C and Recovery period.

Keywords– Lean Manufacturing, Value Stream Map, Heijunka, Loss of Balance, Supermarket.

Resumen– El presente trabajo de estudio se ha realizado en una empresa metalmeccánica dedicada a la fabricación de mobiliario hospitalario.

Las estrategias están orientadas a reducir la pérdida de balanceo en las células de trabajo con el objetivo de aumentar la productividad en los procesos de transformación del material, por ello se centra específicamente en la eliminación de desperdicios o actividades que no agregan valor valiéndose del Mapa de flujo de valor como herramienta de diagnóstico. Luego de ello se recurrió a la herramienta de Manufactura esbelta: Heijunka para la optimización de la pérdida de balanceo en la célula de trabajo que es objeto de estudio. Así mismo se aplicó el sistema Kanban y Supermercado para los inventarios.

Se usó una metodología de dos fases. La fase uno consiste en la en el análisis del ciclo del tiempo, cálculo del takt time y número de operarios de los procesos, así como el diseño del Supermercado y Kanban. En la segunda fase se programó un plan de capacitaciones en los operarios para convertir a los operarios en multitarea

convirtiéndolos en personales con mayor flexibilidad en las actividades propias de la célula de trabajo.

El principal logro es la reducción de 25% a 16% de las pérdidas de balanceo de la célula de trabajo y reducir a cero los inventarios. Así mismo hubo un impacto económico positivo por la generación de ahorros de acuerdo a los indicadores financieros VAN, TIR, B/C y Periodo de recuperación.

Palabras claves– Manufactura esbelta, Mapa de flujo de valor, Heijunka, pérdida de balanceo, Supermercado.

I. Introducción

La expresión Manufactura esbelta (lean manufacturing) quedó acuñada por primera vez en 1990 con la publicación del libro “La máquina que cambió al mundo”, *The Machine that Changed the World* de Womack, Jones y Roos (y directores del IMVP), en la cual tiene como base de estudio del sistema de producción Toyota TPS. Womack nos mostró cómo la administración, los trabajadores de línea, máquinas, métodos y los proveedores podían realizar actividades dentro de una sinergia en las fábricas para mejorar la eficiencia operacional a través de mejoras de la calidad y de las entregas a tiempo, reduciendo los costos, aumentando la velocidad de entrega y tiempos de ciclo, incrementando la productividad e impactando positivamente sobre los resultados financieros. [1]

El *Value Stream Mapping* VSM es una potente metodología que nos ayudará a definir el camino y los hitos para la implantación del lean manufacturing en la fábrica. Mediante la puesta en práctica de sucesivos ciclos de mejora PDCA se avanza de hito en hito hacia una fábrica más eficiente, con menos despilfarro convirtiéndola en un modelo de buenas prácticas con la metodología Lean. [2]

La publicación de la Cámara de Comercio de Lima (2018) señala que, en el Perú el 99.8 % de las empresas son micro, pequeñas y medianas generando el 20 % de las ventas totales del país, por lo que requieren mejorar su competitividad y productividad. [3]

II Estado del Arte

Se han tomado trabajos de referencia con respecto a la implementación del Lean manufacturing, entre ellos, el de Manuel Salazar (2018) con su trabajo “Mejora de la productividad durante la fabricación de cabina cerrada implementando Lean Manufacturing en una empresa privada de metalmecánica” donde se demuestra que la eliminación de actividades innecesarias incrementa la productividad en 25% y reduce los tiempos del proceso en 32% aplicando herramientas de Lean manufacturing como el flujo continuo en la distribución de planta. [4]

Según Escudero-Santiago (2020), citando a Socconini (2017), nos dice que los diagramas de flujo de valor (VSM) permiten la detección de las actividades que no agregan valor al proceso. Así mismo nos dice, en relación a las cédulas de trabajo, citando a Bicheno y Holweg (2009), lo siguiente: la manufactura celular permite reducir el lead time, reduce inventarios y permite identificar tempranamente problemas de calidad. Sus resultados con respecto a la elaboración de un producto en promedio de 2:43 minutos, que representa una disminución del lead time en 99% aumentando así la productividad de 17 % a 20 % en relación al valor inicial. Con esto demuestra que el análisis y desarrollo de un flujo continuo, empleando herramientas como la gráfica de equilibrio, 5S, VSM y manufactura celular permitió eliminar los desperdicios de sobreproducción, exceso de inventarios, movimientos innecesarios, transporte de materiales y tiempos de espera. En el impacto económico menciona que se logró reducir los costos de horas extras para niveles de producción iguales o similares. [5]

Linares (2018), en su trabajo “Aplicación de Herramientas de Lean Manufacturing para mejorar la productividad de la Empresa Soquitex”, decidió realizar un estudio para utilizar herramientas de manufactura esbelta y mejorar la productividad para aumentar la competitividad de la empresa. Para esto se utilizó diferentes herramientas para poder realizar los cambios y reducir las actividades que no generan valor. Entre ellas aplicó una de las herramientas del Lean Manufacturing, Heijunka, donde diseñó un sistema de distribución de los pedidos mediante lotes más pequeños de trabajo, se cambió la secuencia de actividades realizadas en los puestos para mejorar el ritmo de producción (Tiempo Takt) Mediante estas técnicas de trabajo se logró reducir los retrasos en un 18% de los pedidos totales, se mejoró la productividad en 15% y la rotación de los inventarios aumento en 10%. [6]

III Procesos de fabricación

Dentro de los procesos de fabricación utilizados para llevar a cabo la fabricación de este mobiliario para hospital se hallan:

1. Cizallado. Es la operación de corte de una lámina de metal a lo largo de una línea recta entre dos bordes de corte.
2. Punzonado. Éste implica el corte de una lámina de metal a lo largo de una línea cerrada en un solo paso para separar la pieza del material circundante. Donde la pieza que se corta es el producto deseado en la operación y se designa como la parte o pieza deseada. El perforado es muy similar al punzonado, excepto porque la pieza que se corta se desecha y se llama pedacería.
3. Doblado o Plegado. Se define como la deformación del metal alrededor de un eje recto. Durante la operación de doblado, el metal dentro del plano neutral se comprime, mientras que el metal por fuera del plano neutral se estira. El metal se deforma plásticamente, así que el doblado toma una forma permanente al remover los esfuerzos que lo causaron. El doblado produce poco o ningún cambio en el espesor de la lámina metálica.
4. Soldado del tipo MIG. La soldadura MIG (por metal inert gas welding, que significa soldadura metálica con gas inerte). Es la soldadura por arco metálico con gas o proceso MIG, la fusión del cordón de soldadura es producida por un arco que se establece entre el extremo del alambre alimentado continuamente y la pieza a soldar o metal base. El gas inerte es para proteger el arco (zona de unión) del metal fundido con la contaminación de la atmósfera.
5. Esmerilado. Es un proceso de remoción de material en el cual las partículas abrasivas están contenidas en una rueda de esmeril aglutinado que opera a velocidades periféricas muy altas. Por lo general la rueda de esmeril tiene una forma de disco, balanceada con toda precisión para soportar altas velocidades de rotación. Este es uno de los procesos donde se atiende la optimización del recurso, para este fin se trata de la mano de obra.
6. Lijado. Es el esmerilado con hojas de papel con partículas abrasivas pegadas en una de sus caras. El trabajo se realiza manualmente para eliminar las impurezas superficiales antes que el producto ingrese a la línea de pintura. Conjuntamente con el esmerilado, será el proceso en la cual se aplicará la metodología Heijunka.
7. Pintado electrostático. En el método por aspersión, se aplica una carga electrostática a cada partícula para atraerla a una superficie de la pieza que forma una tierra eléctrica. Existen diversos diseños de cañones para aspersión a fin de impartir la carga a los polvos; se operan en forma manual o mediante robots industriales. Se usa aire comprimido para impulsar los polvos a la boquilla. Los polvos están secos cuando se dispersan y es posible

reciclar cualquier exceso de partículas que no se pega a la superficie (a menos que se mezclen múltiples colores de pintura en la misma cabina para aspersión). Los polvos se aplican a temperatura ambiente sobre la pieza, después ésta se calienta para fundirlos; también pueden aplicarse sobre una pieza que se ha calentado por encima del punto de fusión del polvo, con lo cual se obtiene un recubrimiento más grueso. El acabado se realiza con pintura en polvo electrostático híbrido (poliéster epoxy), aplicado sin solventes (ecológico) curado en horno a temperatura promedio de 200°C.

8. Corte y doblado. El doblado de material tubular es más difícil que el de la lámina porque un tubo tiende a romperse o deformarse cuando se hacen intentos para doblarlo. Para evitar ello se usan mandriles flexibles especiales que se insertan en el tubo antes de doblarlo para que soporten las paredes durante la operación.
9. Taladrado. El taladrado es una operación de maquinado que se usa para crear agujeros redondos en una pieza de trabajo. El taladrado se realiza por lo general con una herramienta cilíndrica rotatoria, llamada broca que tiene dos bordes cortantes en su extremo. La broca avanza dentro de la pieza de trabajo estacionaria para formar un agujero cuyo diámetro está determinado por el diámetro de la broca. El taladrado se realiza en taladros de columna, aunque otras máquinas herramienta puedan ejecutar esta operación. Dos tipos de agujeros: a) agujero pasado y b) agujero ciego.
10. Soldado del tipo TIG. La soldadura con arco de tungsteno y gas (GTAW, por sus siglas en inglés) es un proceso que usa un electrodo de tungsteno no consumible y un gas inerte para proteger el arco (zona de unión) del metal fundido con la contaminación de la atmósfera. Con frecuencia, este proceso se denomina soldadura TIG (por *tungsten inert gas welding*, que significa soldadura de tungsteno con gas inerte). El tungsteno es un buen material para electrodo debido a su alto punto de fusión de 3 410 °C (6 170 °F). Los gases protectores es la mezcla de dióxido de carbono en argón (comercialmente llamado Indurmig).
11. Pulido y decapado. El decapado es un procedimiento químico de limpieza para eliminar la cascarilla y las oxidaciones producidas en caliente (soldadura, tratamientos térmicos, contaminación de otros materiales, etc.) en los aceros inoxidables. El baño de decapado tiene una composición apropiada para no dañar al acero inoxidable (al menos durante un tiempo estipulado) pero sí lo suficientemente activo como para eliminar óxidos y contaminaciones de hierro fundamentalmente. El baño tradicional de decapado es: 20 - 30% ácido nítrico, 3 - 6%

ácido fluorhídrico y el resto agua. Para acelerar la operación el baño se calienta entre 40°C y 50°C.

12. Ensamble. En el ensamble mecánico se usan diferentes métodos de sujeción para sostener juntas en forma mecánica dos (o más) piezas. En la mayoría de los casos, los métodos de sujeción implican el uso de componentes de mecánicos separados, llamados sujetadores, que se agregan a las piezas durante la operación de ensamblado. En otros casos, el mecanismo de sujeción implica el formado o reformado de uno de los componentes que se van a ensamblar y no se requieren sujetadores separados. Los métodos de sujeción mecánica se dividen en dos clases principales: 1) los que permiten el desensamble y 2) los que crean una unión permanente. Los sujetadores roscados (por ejemplo, tornillos, pernos y tuercas) son ejemplos de la primera clase y los remaches ilustran la segunda [7].

IV Materiales empleados

1. Acero LAF. Acero al carbono laminados al frío (LAF). Utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal. Tubos para estructuras ligeras, muebles, cerrajería en general, fabricados según la norma ASTM A513 tipo 2.
2. Acero inoxidable. El acero inoxidable, calidad 304 usado en este proceso, es también muy recomendable para el uso de otros mobiliarios de hospitalario, pues tiene excelentes cualidades tales como:
 - Buena resistencia a la corrosión por picaduras y a la corrosión cavernosa.
 - Buena ductilidad.
3. Plástico ABS. Nombre dado a una familia de termoplásticos. Se le llama plástico de ingeniería, debido a que es un plástico cuya elaboración y procesamiento es más complejo que los plásticos comunes, como son las poliolefinas (polietileno, polipropileno).

V Estado actual

Ante las significativas pérdidas económicas se inició como punto de partida la identificación de los procesos, construyendo una herramienta Lean como el Mapa de Flujo de Valor (VSM por sus siglas en inglés) aplicado en el Software Visio del paquete de Microsoft. Con ello se logró identificar aquellos procesos que generan desperdicios.

En la Figura 1, se identifican algunos procesos en que los tiempos exceden al takt time calculado por demanda diaria de producto de fabricación. En el área de esmerilado se encuentra un desbalance en los tiempos de proceso con respecto al takt time, son 60 minutos para esmerilado y 90 minutos para el lijado. Así mismo se encontró inventarios antes y después de los procesos mencionados.

jefe de producción, planificador de producción y asistente de planificación. La designación tomó 1 día con la correspondiente reunión de trabajo para los alcances del proyecto.

b) El trabajo de campo. la realizó específicamente el asistente de planificación para la toma de variables como los tiempos de actividades, recursos utilizados, etc.

c) Creación del Mapa de Flujo de Valor. El trabajo requirió de la presencia de todos los miembros donde se volcaron los criterios en la especificación de los valores cuantitativos. Se utilizó el Software Visio del paquete de Microsoft, mostrada en la figura 1.

d) Identificación de pérdidas. En el balance de operarios o equilibrado de célula [8].

Una vez estructurado el VSM, se procedió a seleccionar las pérdidas más relevantes y sobre ella trazar las estrategias. en este caso se decidió por el Heijunka ya que atendía de mejor manera las pérdidas de balance en la célula de trabajo del área de esmerilado y lijado.

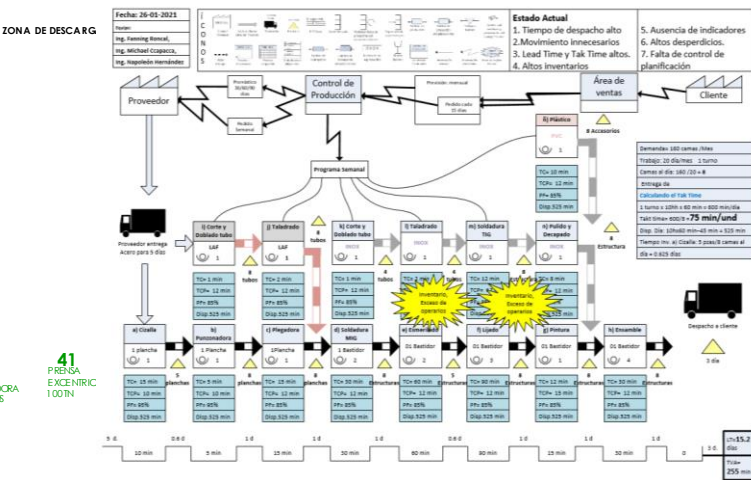


Fig. 1 Mapa de flujo de valor actual

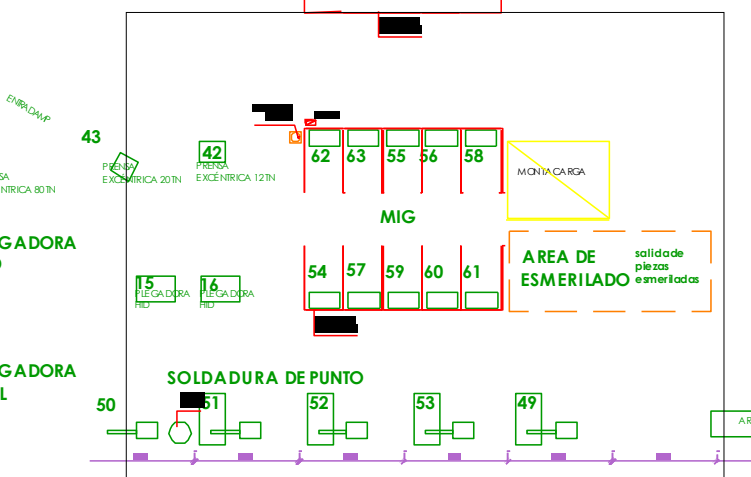


Fig. 2 Layout de la zona de esmerilado

VI Análisis cuantitativo

En esta primera fase se realizó los procesos de análisis de los tiempos empleados en la célula de trabajo. En los procesos de esmerilado y lijado de los componentes de acero de las camas, donde se encontró un bajo aprovechamiento de los recursos (humano). Para ello se crearon las siguientes actividades:

a) Creación del Grupo de trabajo. Se conformó un grupo de trabajo con competencias multidisciplinares. Liderado por el Jefe de Mantenimiento, así mismo incluyendo al

d 1.) *Tiempo de ciclo*
Se ha sumado los tiempos de procesos individuales el cual nos da un resultado de un tiempo de ciclo de 150 minutos

Tabla 1 Tiempo de ciclo

Proceso	A Esmerilado	B Esmerilado	C Lijado	D Lijado	E Lijado	Total
min	20 ¹⁰	40 ²⁵	24	36	30	150

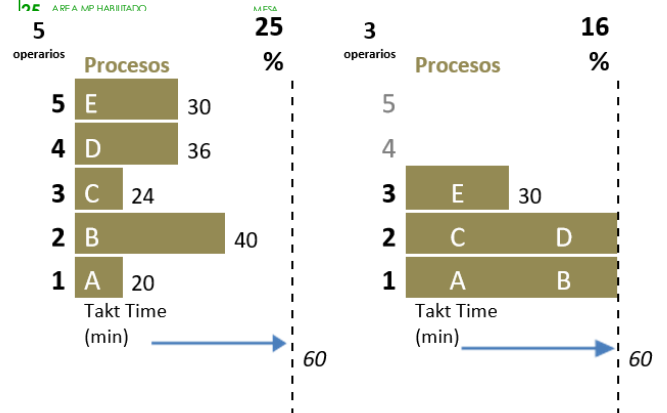


Fig. 3 Diagrama de balance de celda de trabajo con 5 y 3 operarios.

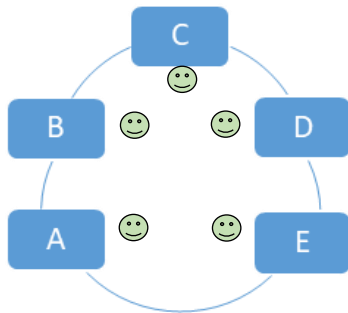


Fig. 4. Representación gráfica de la disposición de operarios en cédula de trabajo

d 2.) *Takt time*

El takt time permite que el sistema de producción conserve un ritmo estable bajo el dictado de la demanda. Las 8 horas diarias representan 480 minutos de tiempo disponible por día. Así mismo se ha considerado 20 días laborales al mes con una demanda mensual de 160 camas. Las 8 unidades de producción resultan de la división de este último con los días laborales.

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tiempo disponible en minutos por día}}{\text{Unidades demandadas por día}}$$

$$\text{Takt Time} = \frac{480 \text{ min}}{8 \text{ und}} = 60 \text{ min/und} \quad (1)$$

d 3.) *Número teórico de operarios*

A partir del tiempo de ciclo y el takt time se calculó el número de operarios requeridos para la cédula de trabajo. El resultado fue de 2.5 que, en su equivalente práctico resulta ser 3 operarios que, a manera de conclusión es el número requerido para redistribuir las operaciones y las recolocaciones correspondientes.

$$\text{Número teórico de operarios} = \frac{\text{Tiempo de ciclo}}{\text{Takt Time}}$$

$$\text{Número teórico de operarios} = \frac{150 \text{ min}}{60 \text{ min}} = 2.5 \quad (2)$$

d 4.) *Pérdida de balanceo con 5 operadores*

Las pérdidas por balanceo son el resultado de la mala distribución de los operarios en las cédulas de

trabajo generando un alto consumo de tiempo en algunos operarios en comparación con el resto donde el tiempo ocioso es evidente. A continuación, se realizó el cálculo de la pérdida de balanceo con 5 operarios.

$$\text{Pérdidas balanceo} = \frac{T \text{ más largo} \times \text{Nro Opera} - T \text{ de ciclo}}{T \text{ más largo} \times \text{Nro Opera}}$$

$$\text{Pérdidas balanceo} = \frac{40 \times 5 - 150}{40 \times 5} = 25\% \quad (3)$$

d 5.) *Pérdidas totales con 3 operadores*

Se realizó el cálculo de las pérdidas totales con los 3 operadores producto del cálculo del número teórico requerido.

$$\text{Pérdidas totales} = \frac{\text{Takt Time} \times \text{Nro Opera} - T \text{ de ciclo}}{\text{Takt Time} \times \text{Nro Opera}}$$

$$\text{Pérdidas totales} = \frac{60 \times 3 - 150}{60 \times 3} = 16.7\% \quad (4)$$

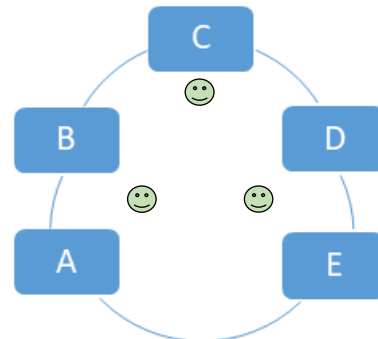


Fig. 5. Representación gráfica de la disposición de 3 operarios en cédula de trabajo

La reducción de personal logrado por el cálculo del balanceo en la cédula de trabajo permite también reducir los costos de mano de obra mensuales de S/. 6 900.00 a S/. 4 500.00 generando un ahorro de S/. 2 400.00 mensuales lo cual está sujeto a una evaluación económica para la toma de decisión sobre la factibilidad del proyecto de mejora.

Tabla 2 Costo de mano de obra de 5 operarios

Área	Nro. de operarios	Sueldo mensual	Total, mes
Esmerilado	3	1 500.00	4 500.00
Lijado	2	1 200.00	2 400.00
			6 900.00

Tabla 3 Costo de mano de obra de 3 operarios

Área	Nro. de operarios	Sueldo mensual	Total, mes
Esmerilado y lijado	3	1500.00	4 500.00
			4 500.00

e) Aplicación del sistema pull mediante Kanban y Supermercado. En el supermercado debe haber en todo momento existencias de todos los productos que consume el proceso para el cliente al que sirve. [9]. Un kanban es un sistema de señales que controla el movimiento de piezas entre los procesos. Facilitando la transmisión de información entre ellos. Indicándole a un proceso anterior que fabrique y reemplace las unidades de las piezas que se utilizaron en un proceso posterior. [10]

KANBAN DE PRODUCCIÓN			
REFERENCIA	770445 BZ	CAJA	EU-4
DENOMINACIÓN	Eje principal	CANTIDAD	40
CENTRO DE PRODUCCIÓN	SUPERMERCADO / RACK		
Célula P1	SUP 3 / F-5		

Fuente: Madariaga 2013

Fig. 6 Tarjeta Kanban donde se especifica la referencia (orden de producción), denominación (nombre de la pieza), Centro de producción (área de trabajo) y cantidad.

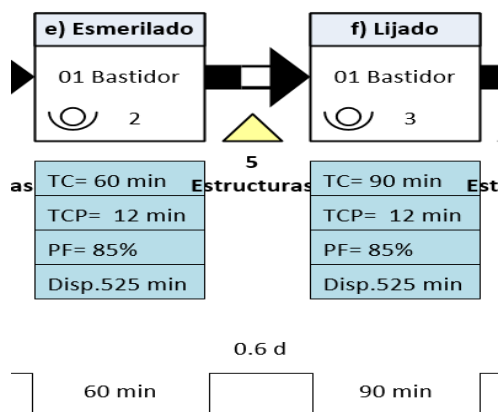


Fig. 7 Puestos de trabajo para cada actividad de esmerilado y Lijado. Se muestra un inventario de 0.6 días de 5 estructuras de bastidor por procesar.

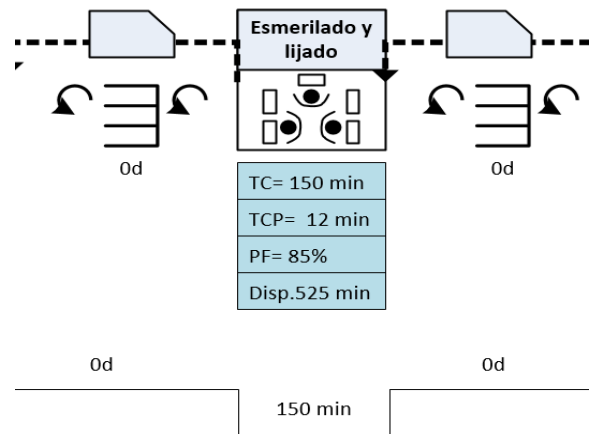


Fig. 8 Celda de trabajo donde está unificado las áreas de esmerilado y lijado. Véase también la incorporación de los Supermercados en reemplazo de los inventarios y la utilización del Kanban.

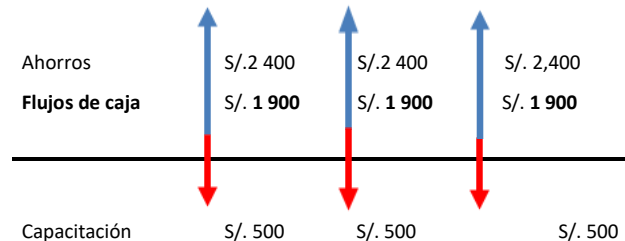
El reemplazo de Inventarios por Supermercados permitió reducir el Lead Time de 15.2 a 13.6 días.

f) Evaluación económica

La ingeniería económica permite evaluar proyectos de inversión y establecer si un proyecto es viable. Existen varios criterios para determinar la viabilidad de un proyecto. Estos son: valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), periodo de recuperación y beneficio/costo. [11]

Para ello se elaboró una propuesta económica con los indicadores financieros mencionados.

Tabla 4 Flujos de caja sobre los ahorros mensuales



Los flujos de caja económica consignados refieren a los ahorros mensuales: S/. 2 400.00 (ver tablas) menos los costos de capacitación mensual: S/. 500.00. Se toma en cuenta los ahorros y no las ventas, ni gastos administrativos ya que se trata de un proyecto de mejora.

El capital de inversión es de S/. 3 000.00 que corresponde a los gastos de acondicionamiento de la nueva cédula de trabajo. La tasa de interés se fijó en 12%.

Un proyecto debe ser aceptado cuando su VAN sea mayor que cero y debe rechazarse cuando este sea menor que cero. El resultado del cálculo nos da un valor de S/. 1 563.48 siendo

este mayor que cero, el proyecto es aceptado por este indicador financiero

Tabla 5 Flujos Neto Efectivos para el Cálculo del VAN

n	Flujo Neto Efectivo	(1 + i) ^ n	FNE / (1 + i) ^ n
0	-S/. 3 000.00	1.00	- S/. 3,000.00
1	S/. 1,900.00	1.12	S/. 1,696.43
2	S/. 1,900.00	1.25	S/. 1,514.67
3	S/. 1,900.00	1.40	S/. 1,352.38
			S/. 1,563.48

i: tasa de descuento (tasa de interés (%)) o costo de oportunidad del capital

n: vida útil del proyecto

La TIR es una tasa porcentual que indica la rentabilidad promedio anual (o periódica, dependiendo de la periodicidad de los flujos) que genera el capital que permanece invertido en el proyecto, en caso se trate de una inversión. Cuando la TIR es superior a la tasa de descuento (costo de oportunidad del dinero o tasa de interés), el proyecto es rentable. Para este caso, el TIR resultante es de 40%, superior a la tasa de interés que es de 12%.

Tabla 6 Tasa Interna de Retorno (TIR)

TIR (i)	VAN
0%	2700.00
10%	1725.02
12%	1563.48
15%	1338.13
18%	1131.12
20%	1002.31
22%	880.26
30%	450.61
40%	18.95
50%	-325.93
52%	-386.01
54%	-444.86

La relación beneficio/costo es un indicador que permite hallar la relación existente entre el valor actual de los flujos futuros y el valor actual de la inversión del proyecto (en valor absoluto). Relación B/C = 1.52, de acuerdo a la ecuación (5), lo cual significa que el valor presente de los flujos futuros es mayor a la inversión.

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Valor presente de los flujos futuros}}{\text{Inversión inicial}}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{\frac{1900}{(1 + 0.12)^1} + \frac{1900}{(1 + 0.12)^2} + \frac{1900}{(1 + 0.12)^3}}{3000} = 1.52 \quad (5)$$

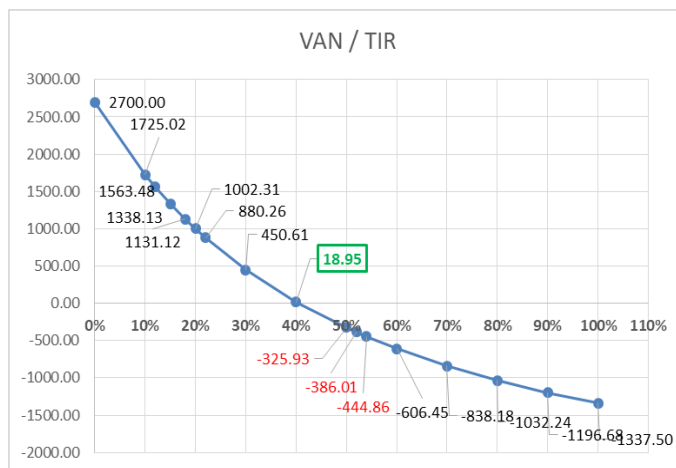


Fig. 8 Gráfico de la evolución del TIR con respecto a la VAN

El periodo de recuperación de la inversión (PRI), de acuerdo a la ecuación (6), se calcula de la siguiente manera: A los S/. 3 000 de capital de inversión, se le resta el monto del primer mes de ahorro: S/. 1 900. Al resultado se le divide entre el primer mes de ahorro, que es S/. 1 900. El resultado es el saldo por recuperar en proporción al final del mes: 0.58 meses, que es el tiempo a recuperar en el siguiente mes el total del capital invertido. Por lo tanto, a este monto se le suma la unidad resultando 1.58 meses.

$$PRI = \left(\frac{3000 - 1900}{1900} \right) = 0.58 \text{ meses} \quad (6)$$

Tabla 7 Resumen de indicadores financieros

Indicador financiero	Resultados	Condición
valor actual neto (VAN)	S/. 1 563.48	> 0
tasa interna de retorno (TIR)	40%	> 12%
ratio beneficio/costo (B/C)	1.52	> 1
periodo recuperación de inversión (PRI)	1.58 meses	

VII Aplicación de la metodología

En la segunda fase se realizó la implementación de la metodología donde se programó un plan de capacitaciones en los operarios para transformarse en operarios multitarea convirtiéndolos en personales con mayor flexibilidad en las actividades propias de la célula de trabajo.

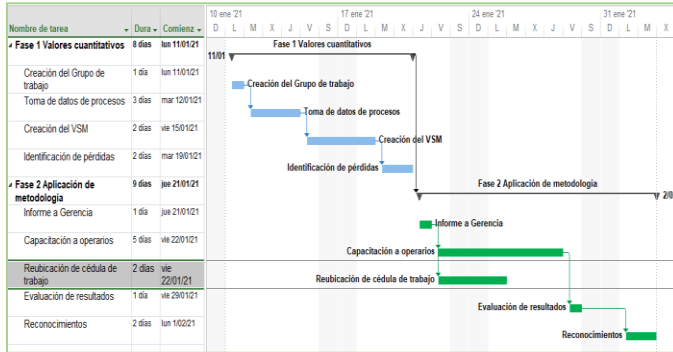


Fig. 9 Diagrama de actividades del proyecto.

a) Presentación a Gerencia. La contundencia del estado actual de los procesos y sus pérdidas fueron argumentos sólidos en la que la alta gerencia tuvo poca objeción para la aplicación de la metodología.

b) Capacitación a operarios. Colocar a los operarios directamente en un nuevo trabajo sin ninguna capacitación es un enfoque que implica hundirse o nadar. Aunque la compañía puede pensar que ahorra dinero, definitivamente no lo hace. Algunos operarios harán las cosas mal y finalmente se adaptarán a la nueva técnica, en teoría “aprendiendo”. Sin embargo, pueden aprender el método incorrecto y nunca lograrán el estándar deseado. Por lo tanto, pueden emplear un tiempo mayor para alcanzar ese estándar. Pero esto significa una curva de aprendizaje más larga. [12]

En coordinación con el área de Recursos Humanos se programó un conjunto de capacitaciones cuyo objetivo era informar y entrenar a la persona (operario) que fue recolocado para sus nuevas funciones correspondiendo para ello un seguimiento una curva de aprendizaje.

c) Se realizó una evaluación tanto de los resultados del proceso de cambio como en el mismo personal (operario) obteniéndose como resultado el cumplimiento de los objetivos. Los dos operarios salientes del puesto también fueron capacitados y reubicados en el área de ensamble para cubrir vacaciones evitando así la contratación de personal eventual para estos casos.

d) En una ceremonia se realizó la mención y reconocimiento del personal involucrado en la recolocación resaltando los logros obtenidos.

VIII Resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos se comprobó que, con el ajuste en el número de operadores y la recolocación y capacitación de los mismos, las pérdidas de desbalance en la célula de trabajo redujeron de 25% a 16% logrando así un aumento del aprovechamiento del tiempo.

El reemplazo de Inventarios por Supermercados permitió reducir el Lead Time de 15.2 a 13.6 días. Así mismo se realizó el análisis financiero del proyecto donde los indicadores de los mismos resultaron óptimos otorgando un ahorro de S/. 2 400.00 mensuales con un periodo de recuperación de capital invertido de un mes y tres semanas.

Fue determinante la decisión gerencial en la aprobación del proyecto y el sentido de pertenencia del personal involucrado. La debida información y capacitación de los interesados conlleva a generar resultados satisfactorios en la aplicación de la metodología.

Tabla 8 Resumen de resultados

	Antes	Después	Diferencia
Pérdida de balance	25 %	16 %	9 %
Lead time	15.2 días	13.6 días	1.6 días
Costo de mano de obra mensuales	S/. 6 900.00	S/. 4 500.00	S/. 2 400.00

Tabla 9 Resultados de evaluación a operadores en nueva celda de trabajo

	Operario 01	Operario 02	Operario 03
Evaluación 01	12	10	8
Evaluación 02	14	12	12
Evaluación 03	18	16	17

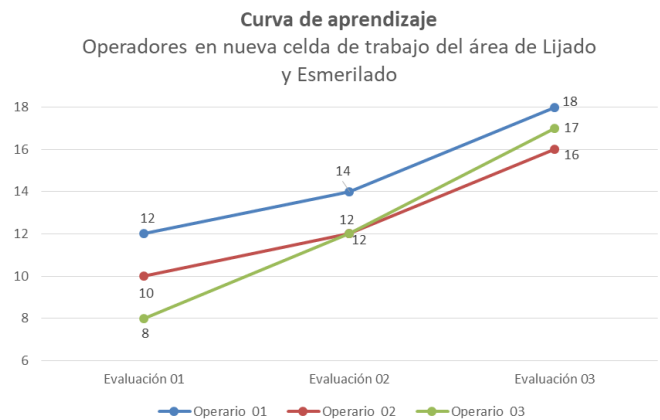


Fig.10 Curva de aprendizaje de acuerdo a evaluación de operarios.

IX Conclusión

Se concluye que mediante la implementación de la herramienta Lean Manufacturing (Heijunka) en la fabricación de camas hospitalarias permite identificar aquellos procesos que generan desperdicios, donde se exceden en el takt time del proceso de esmerilado y del proceso de lijado causando pérdidas económicas en la organización. Es importante tener involucrados a los responsables que intervienen de manera directa o indirecta en dichos procesos con el objetivo de analizar esos desperdicios y poder realizar un cambio positivo para mejorar la rentabilidad en la empresa. Es por ello que mediante una evaluación económica como el VAN donde arrojo un valor superior a cero y el TIR con un valor aproximado de 40% que nos permite analizar si el proyecto de inversión para el cambio es viable o no para la alta gerencia. Dicha metodología contribuye a la mejora de los tiempos de la productividad de los operarios y en la fabricación de las camas hospitalarias optimizando la cantidad de personas que intervienen en dichos procesos. Por lo tanto, reduciendo los costos por personal, permitiendo invertir una cantidad mínima en la capacitación del personal operativo y así convertirlo en un personal multifuncional en el proceso que se desempeña volviéndolo más eficiente en ese proceso y de esta manera aportar con la rentabilidad de la organización.

X Agradecimiento

El departamento de Mantenimiento agradece y reconoce la voluntad y entrega del personal operario involucrado. Así mismo agradece la colaboración de las áreas de Producción y Recursos Humanos por brindar el apoyo inmaterial para la consecución del proyecto de la aplicación de la herramienta Lean (Heijunka).

Referencias

- [1] [2] [8] [9] F. Madariaga. "Lean manufacturing" Exposición adaptada a la fabricación repetitiva de familias de productos mediante procesos discretos. Editado por Bubok Publishing S.L. 2013. ISBN pdf: 978-84-686-2815-8. 2013..
- [3] Cámara de Comercio de Lima (10 de diciembre del 2018). Urge aumentar la competitividad de mypes. https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r857_3/eventos%202.pdf
- [4] Manuel Salazar. "Mejora de la productividad durante la fabricación de cabina cerrada implementando Lean Manufacturing en una empresa privada de metalmecánica". Tesis de grado, Universidad San Ignacio de Loyola. http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/3212/1/2018_Salazar-Bozzeta.pdf
- [5] Bruce Escudero-Santiago. Mejora del lead time y productividad en el proceso de armado de pizzas aplicando. Revista Ingeniería Industrial. Universidad de Lima. 2020. p 52.

- [6] Diego Linares. "Aplicación de Herramientas de Lean Manufacturing para mejorar la productividad de la Empresa Soquitex." Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima. 2018. <http://hdl.handle.net/10757/624049>.
- [7] Mikell P. Groover "Fundamentos de manufactura moderna" Materiales, procesos y sistemas. Editado por McGraw-Hill Interamericana- 2007. ISBN-13: 978-0-471-74485-6.
- [10] Zandin, Kjell B. Maynard. Manual del ingeniero industrial. 5ª ed. México DF: McGraw Hill / Interamericana editores. 2005. Tomo II pag 9.71. ISBN: 970-10-4797-4
- [11] P. Arroyo, R. Vásquez. "Ingeniería económica: Cómo medir la rentabilidad de un proyecto". Fondo editorial Universidad de Lima. 2016. ISBN versión electrónica: 978-9972-45-355-7
- [12] B.W. Niebel, A. Freivals. "Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño de trabajo" 12ª ed. Editado por McGraw-Hill Interamericana- 2009.pag 526. ISBN-978-970-10-6962-2