

ARTÍCULO ORIGINAL
INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES Y ESTADÍSTICA

Incremento de la productividad en Metrológica Instrumentes S.A. mediante herramientas Lean Manufacturing

Increased productivity in the company metrológica Instruments S.A. using lean manufacturing tools

Jessica Esthefanía Manzano Rodríguez <http://orcid.org/0000-0001-8963-3733>

Yanelis Ramos Alfonso* <http://orcid.org/0000-0001-8383-1245>

Universidad Técnica de Manabí, Carrera de Ingeniería Industrial, Portoviejo, Ecuador

*Correo para correspondencia: yramosalfonso@gmail.com

RESUMEN

Metrológica S.A es una empresa dedicada a ofrecer servicios de calibración. Se han presentado insatisfacciones de algunos clientes por servicios no conformes e incumplimiento de los plazos de entrega, en el proceso de calibración de equipos a presión. El objetivo de la investigación fue implementar las herramientas de lean manufacturing, particularmente *5 S: Kaizen; Andon y Kanban* como contribución a la mejora de la productividad del trabajo. La realización de un estudio cuantitativo, transversal y no experimental, permitió la reducción del tiempo de ciclo de calibración y el índice de incumplimiento por entrega de equipos que no habían sido calibrados que redundó. Lanterior, redundó en incremento en la productividad por día.

Palabras Clave: Lean manufacturing; *kaisen* ; 5S ;Kanban ; productividad ; calibración.

ABSTRACT

Metrológica S.A is a company dedicated to offering calibration services. Some customers have been dissatisfied with non-conforming services and non-compliance with delivery times in the process of calibrating pressure equipment. The objective of the research was to implement lean manufacturing tools, particularly *5 S; Kaizen; Andon and Kanban* as a contribution to improving work productivity. The conduct of a quantitative, cross-sectional, and non-experimental study allowed the reduction of calibration cycle time and the failure rate due to delivery of equipment that had not been calibrated. This results in an increase in productivity per day.

Keywords: *lean manufacturing; vsm 5s; kanba; productivity; calibration.*

Recibido: 7/06/2023

Aprobado: 30/06/2023

Introducción

De acuerdo a Mathiyazhagan, et al., (2022), "Lean Manufacturing (LM) ha demostrado una relevancia positiva en la mejora de la sostenibilidad y el desempeño económico operativo de las industrias manufactureras mediante la eliminación de las operaciones sin valor agregado" [1].

Autores como Maware, et al., (2022), han observado que LM mejora el rendimiento operativo de las organizaciones de fabricación en los países en desarrollo y desarrollados [2]. Las pequeñas y medianas empresas tienen dificultades para transformar sus organizaciones en organizaciones esbeltas en comparación con las grandes empresas. No se encontró ningún documento que informara el impacto negativo de implementar LM.

El papel predominante de la calidad en el mundo contemporáneo exige un aseguramiento constante de las mediciones que brinde seguridad y confianza en los resultados de las mismas a todos sus *stakeholders* (Guevara-Guerrero et al., 2014) [3].

Las diferentes actividades de las empresas e industrias necesitan controlar los procesos, por lo que requieren medir sus variables y es aquí donde entra la metrología, según Escamilla (2015), la define como una ciencia de las mediciones, "comprendiendo las determinaciones experimentales a cualquier nivel de incertidumbre en cualquier campo de ciencia y tecnología".

Actualmente, es esencial el rol de los laboratorios de calibración para el sector industrial al brindar un servicio que garantice la seguridad y el óptimo estado de los equipos (Mejía Castillo, 2013). Metrológica Instruments S.A. es una empresa de servicios de calibración de equipos de medición de presión a empresas de servicios petroleros e industriales, está constituida hace 10 años, certificada bajo la norma ISO 9001:2015 e ISO 17025.

La empresa desea mejorar el rendimiento del servicio de calibración de equipos de presión (manómetros, vacuómetros, manovacuómetros y registradores cartográficos de presión) que es el más solicitado por los clientes y de mayor criticidad, este se lleva a cabo por el método de comparación directa, es decir, la comparación de las medidas del ítem a calibrar con las medidas de referencia (equipo patrón) en las mismas condiciones ambientales.

La empresa tiene como objetivo estratégico el incremento de los niveles de ingresos anuales resultantes de los servicios que se brindan, y la productividad, con el aumento de la satisfacción del cliente por la entrega a tiempo de sus equipos. Emplear herramientas LM para el logro de objetivos estratégicos de la empresa, resulta óptimo siempre y cuando se defina objetivamente que se quiere mejorar y si se tienen los recursos necesarios (Carrera, 2019). En consecuencia, se plantea como objetivo implementar las herramientas de lean manufacturing, particularmente *5 S: Kaizen; Andon y Kanban* como contribución a la mejora de la productividad del trabajo en la empresa.

Métodos

La figura 1 muestra el procedimiento propuesto, para dar respuesta al objetivo antes propuesto.

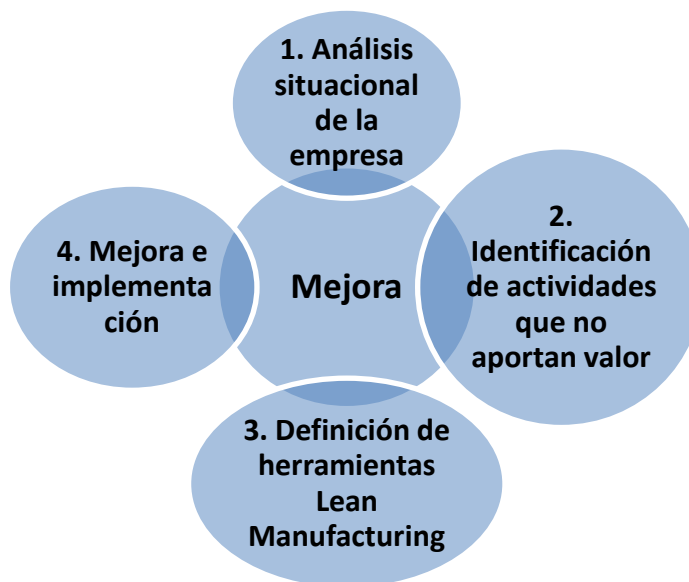


Fig. 1. Procedimiento para la mejora de la productividad.

1. Análisis situacional de la empresa

El estudio inicia con la recopilación de datos de los procesos en el laboratorio, a través de la revisión de registros históricos, indicadores de gestión, documentos de sistema de gestión de calidad, entrevistas, reuniones, entre otros. Las observaciones se anotarán para su posterior estudio, proporcionando una introducción a lo que debe cambiarse. Los empleados de la empresa suministrarán el análisis de datos, que abarcará el período de septiembre de 2021 a agosto de 2022.

La herramienta SIPOC será usada para conocer el proceso, ya que es un modelo de sistema organizativo empleado para la gestión de procesos y la mejora. Cada sigla de SIPOC interpreta una de sus partes:

S suppliers/proveedores,

I inputs/entradas, P process/proceso),

O outputs/salidas y

C customers/Clientes (Zhang et al., 2022).

1. Identificación de actividades que no aportan valor

La herramienta empleada para esta etapa es el mapeo de flujo de valor (VSM), en donde se registra la situación actual del laboratorio, identificando las actividades claves y los desperdicios de los procesos. La utilización de recursos en exceso, dígame el equipamiento, materiales, la fuerza de trabajo, el tiempo, entre otros; representan desperdicios que no contribuyen a la cadena de valor, tanto en la manufactura como en los servicios (Pérez et al., 2011).

Según Socconini (2019), los siete tipos de desperdicios o mudas (tiempo de espera, defectos, inventario, transporte, movimientos innecesarios, procesos innecesarios y sobreproducción) que afectan la productividad deben ser detectados, minimizados y en el mejor de los casos eliminados.

“Un desperdicio se puede definir como cualquier otro tipo de esfuerzo realizado en la empresa que no sea absolutamente esencial para agregar valor al servicio tal como el cliente lo requiera” (Vargas-Hernández et al., 2018).

La minimización de pérdidas y desperdicios necesita una descripción general de los procedimientos que muestre de inicio las diversas operaciones, identificando falencias donde se puede potenciar la eficiencia, mediante la supresión, unificación, automatización, aseguramiento de componentes del sistema. Para ello, el VSM, presenta una visualización macro del proceso, distinguiendo las actividades que agregan o no valor, evidenciada en cada etapa. (Cantó & Gandia., 2019).

La condición existente del proceso fue diagnosticada visualmente utilizando la herramienta VSM. Se especificó el problema en términos de tiempos e inventarios, y se establecieron posibilidades de mejora definiendo minuciosamente los procesos o actividades que contribuyeron favorablemente al resultado (Zahraee et al., 2014).

2. Definición de herramientas Lean Manufacturing

Las necesidades de la organización y la experiencia existente se tienen en cuenta al definir los criterios para la selección de herramientas.

Para la selección de las herramientas se utiliza el método de concordancia de Kendall. El mismo, de acuerdo a García, León Pino & Rodríguez (2021), mide el grado de asociación entre varios conjuntos (k) de N entidades. Brinda un modelo para la ordenación de entidades de acuerdo a un consenso, establecido por el Coeficiente de Concordancia de Kendall (W), el que oscila entre 0 y 1. El valor de 1 significa una concordancia de acuerdos total y el valor de 0 un desacuerdo total, aceptándose valores superiores a 0,5. Este coeficiente se calcula con el uso de las fórmulas que muestran a continuación:

$$W = \frac{12 \sum (\Delta^2)}{M^2 (k^2 - k)} \quad (1)$$

$$\Delta = \sum_{j=1}^m (a_{ij} - T) \quad (2)$$

$$T = 1/2 M(k + 1) \quad (3)$$

W: Coeficiente de Concordancia W de Kendall ($0 < W < 1$); si $W \geq 0,5$ es Confiable, si no se debe reprocesar todo el experimento.

M: Cantidad de expertos.

K: Número de atributos, características o criterios a evaluar.

Δ : Desviación del valor medio de los juicios emitidos. Este valor se determina a través de la siguiente expresión:

a_{ij} : Juicio de importancia del atributo i dado por el experto j

INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN METROLÓGICA INSTRUMENTES S.A. MEDIANTE HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING

T: Factor de comparación (valor medio de los rangos).

Los criterios para la ponderación y esta última, serán establecidos por un grupo de al menos siete especialistas conocedores de la actividad y condiciones de la empresa, así como de los métodos a aplicarse. De no contarse con personal especializado dentro de la empresa, se puede optar por la presencia de un consultor externo.

Las herramientas a considerar de acuerdo a los criterios de prioridad y condiciones de la empresa, obtenidos desde la literatura especializada, son: KAIZEN; GEMBA; HOSHIN KANRI; TPM; 5S; HEIJUNKA; KANBAN; POKA YOKE; ANDON.

1. Mejora e implementación

El plan de implantación, que servirá de base para la elaboración de los futuros VSM, se llevará a cabo una vez definidas las herramientas mediante el método Kendall con el fin de contribuir al aumento de la productividad del servicio de calibración. Se identifica la esencia de los métodos seleccionados con el fin de capacitar a los trabajadores en la utilización de las herramientas elegidas. Para su valoración se realiza un análisis dinámico de los indicadores que dan inicio a la investigación (tiempo de ciclo, porcentaje de equipos entregados a tiempo, servicio no conforme y satisfacción del cliente)

Resultados

Se presenta lo obtenido del: análisis situacional de la empresa, Identificación de actividades que no aportan valor, Definición de herramientas Lean Manufacturing y Mejora e implementación

1. Análisis situacional de la empresa

Es de vital importancia conocer y caracterizar más a fondo el servicio que presta la empresa utilizando el diagrama SIPOC, se observó que no se dio seguimiento a las quejas por la entrega tardía del equipo calibrado.

Acorde a las reuniones mantenidas, se planteó que hace falta personal en el área técnica y área de ventas. En la Figura 2 se refleja el diagrama el SIPOC del servicio de calibración que la empresa realiza.

SERVICIO DE CALIBRACIÓN					
	S	I	P	O	C
	CLIENTE	PROFORMA APROBADA	Verificación de disponibilidad y negociación y acuerdo del precio y tiempo de entrega con el cliente	CONTRATO	ADMINISTRACIÓN Y SERVICIO AL CLIENTE
	ADMINISTRACIÓN Y SERVICIO AL CLIENTE	CONTRATO	Generación de orden de trabajo e Ingreso en la planificación operativa	FOR-GC-047 PLANIFICACIÓN DE OPERACIONES	GERENCIA TÉCNICA
	GERENCIA TÉCNICA	FOR-GC-047 PLANIFICACIÓN DE OPERACIONES	Recepción de equipos (verificar su estado), codificación de equipos y colocación en la percha trabajos por realizar	REGISTRO DEL TRABAJO FOR-TC-009 "CONTACTO CON EL CLIENTE Y ASEGURAMIENTO DE LA INTEGRIDAD DE LOS ÍTEMS BAJO SERVICIO". ST	LABORATORIO
	LABORATORIO	ST	Secuencia de calibración	EQUIPO CALIBRADOS, "REGISTRO DE LECTURAS" FOR-TC-014	ASEGURAMIENTO DE CALIDAD
	ASEGURAMIENTO DE CALIDAD	REGISTRO DE LECTURAS " FOR-TC-014	Tratamiento y análisis de datos. Recepción del trabajo terminado (colocación en la percha trabajos realizados)	INFORME TÉCNICO CON ERROR MÁXIMO PERMITIDO, EN EL FORMATO FOR-TC-016	GERENCIA TECNICA
	GERENCIA TÉCNICA	Informe técnico FOR-TC-016	Liberación de equipo	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	CLIENTE

Fig. 2. SIPOC proceso de calibración

Al revisar la base de datos correspondiente al número de trabajos realizados en el periodo de estudio, resaltó que durante el periodo septiembre 2021 a agosto 2022 hubo un total de 763 trabajos, de los cuales 602 lograron la entrega en el tiempo establecido equivalente a un 78,9%, mientras que 161 fueron entregados fuera del tiempo acordado, equivalente a un 21,1%, como se muestra en la figura 3.

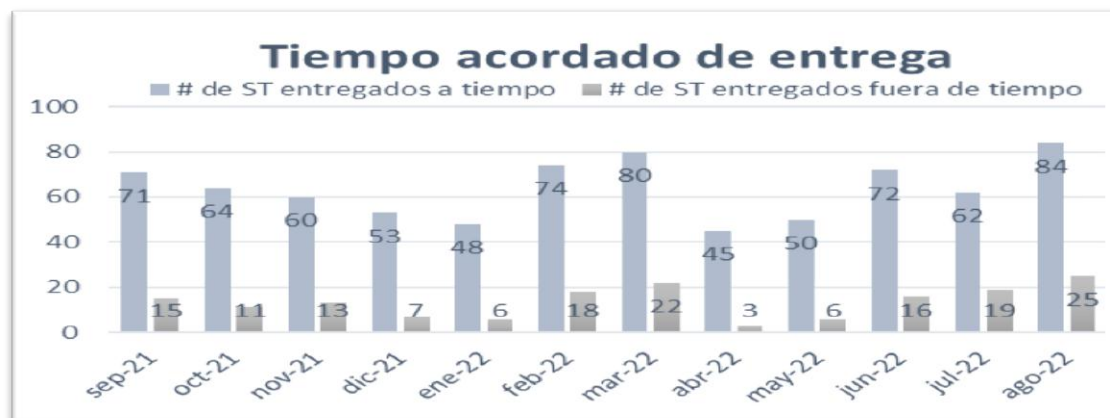


Fig. 3. Número de trabajos entregados a tiempo

En consideración a que se tienen penalidades por entrega fuera de los términos de contrato, se ha presentado una pérdida de ingresos y fidelidad del cliente. Al revisar los Servicios de Trabajo (ST) se evidenció un total de 14 trabajos no conformes mensuales. Se calibran un promedio de 14 manómetros al día.

INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN METROLÓGICA INSTRUMENTES S.A. MEDIANTE HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING

2. Identificación de actividades que no aportan valor

La figura 4 ilustra el VSM actual, se establece la cadena de valor completa del proceso de calibración desde la recepción del equipo hasta la liberación del mismo. Las siguientes acciones que no proporcionan valor se evidencian mediante el VSM:

- Comunicación ineficiente (tiempo de espera): errores en el proceso por flujo de información incorrecto.
- Reclamos (tiempo de espera): cuando el cliente solicita información al laboratorio sobre la demora de sus calibraciones y los certificados de calibración.
- Falta de competencias del personal(defectos): las actividades que implican volver a hacer un trabajo o una actividad, o repetirla, así como alguna tarea que no se ha hecho y finalmente una tarea o actividad mal ejecutada
- Organización del laboratorio (movimientos innecesarios): las herramientas, materiales de trabajo no se encuentran en lugares definidos, lo que ocasiona tiempos de pérdida.

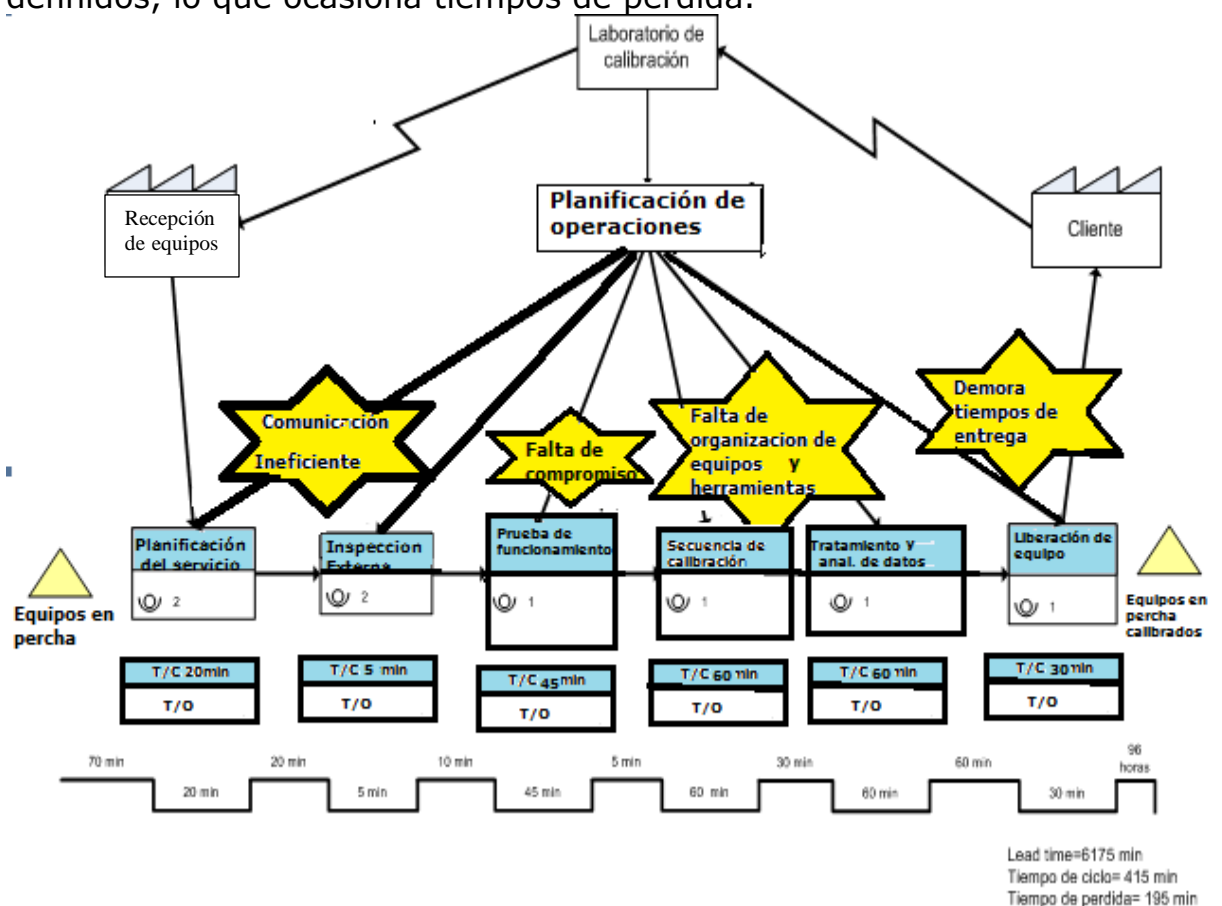


Fig. 4 VSM actual.

Se puede observar que cada 4.28 días se entrega al cliente el equipo calibrado desde su recepción, esto se lo conoce como *Lead time*. El tiempo que demora el proceso de calibración es de 10.2 horas y un tiempo que no agrega valor de 3.25 horas, que es el lapso en el que el equipo no es manipulado y reposa en percha. Además, no se evidencia la generación de un cuello de botella en el proceso.

2. Definición de herramientas *Lean Manufacturing*

La ponderación de los expertos y procesamiento del coeficiente de concordancia de Kendall se aprecian en la tabla 1, se obtuvo una coincidencia del 93,5 % de lo abordado, lo que permitió la elección de los métodos que presentan una $a_{ij} \leq T$.

Los criterios considerados fueron:

- 1) Eliminación de ineficiencias,
- 2) Mejora en la calidad del servicio
- 3) Costos asociados.

Tabla 1. Aplicación del método Kendal.

HERRAMIENTAS	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Aij	Δ	$\Delta 2$
5S	1	2	1	1	2	1	1	9	- 25,78	664,6084
KAIZEN	2	1	3	4	3	3	4	20	- 14,78	218,4484
KANBAN	3	3	2	2	1	4	2	17	- 17,78	316,1284
ANDON	4	4	4	3	2	2	3	22	- 12,78	163,3284
GEMBA	5	7	5	5	6	5	6	39	4,22	17,8084
HOSHIN KANRI	7	6	6	6	5	6	5	41	6,22	38,6884
TPM	6	5	7	7	7	8	7	47	12,22	149,3284
HEIJUNKA	8	8	9	8	9	7	8	57	22,22	493,7284
POKA YOKE	9	9	8	9	8	9	9	61	26,22	687,4884
								313		2749,5556

4. Mejora e implementación

Con la aceptación de la gerencia, se identificaron las personas que supervisarán la implementación de la herramienta y asignaron roles y responsabilidades en el proyecto, así como los canales de comunicación eficientes para evitar confusiones y establecer lineamientos claros.

El proyecto comenzó con la capacitación de todo el personal sobre la cadena de valor, eventos *kaizen* y LM, que es la clave de la implementación, de acuerdo a los criterios mostrados en la tabla 2.

**INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN METROLÓGICA INSTRUMENTES S.A.
MEDIANTE HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING**

Tabla 2. Teoría utilizada en capacitaciones.

Herramienta Lean Manufacturing	Definición
5S	Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke corresponden a las etapas de la Metodología 5S, su traducción se establece como: Seleccionar, ordenar, limpiar, estandarizar y disciplinar; respectivamente. Se debe seleccionar lo necesario y eliminar lo que no lo es, colocar cada cosa en su sitio y un sitio, limpiar el puesto de trabajo, mantener, controlar y crear una autodisciplina (Piñero et al., 2018).
Andon	Viene de la mano con la LM con el propósito de alertar al personal mediante luces y sonidos cuando aparece un problema o un fallo (Medina, A.,2018).
Kanban	Se establece como fin crear una cultura de optimización al emplear la cantidad de piezas o unidades necesarias mediante un mecanismo básico de tarjetas, identificando si el proceso requiere o no de más insumos (Arango et al.,2015).
Kaizen	El objetivo es mejorar la productividad de cualquier área o sección escogida en cualquier empresa, mediante la implantación de diversas técnicas y filosofías de trabajo de Manufactura Esbelta y técnicas de solución de problemas y detección de desperdicios basados en el estímulo y capacitación del personal (Acuña et al., 2017).

La tabla 3 muestra la relación de las problemáticas halladas con las herramientas a utilizar para su mejora.

Tabla 3. Herramientas LM para el proceso de calibración.

Muda	Causa	Descripción	Herramienta
Tiempo de espera	Comunicación ineficiente	Flujo de información incorrecto.	ANDON, KAIZEN
Tiempo de espera	Reclamos	Los clientes no han recibido sus certificados de calibración y equipos.	KANBAN
Defectos	Falta de competencias personal	Las actividades que implican un retrabajo, así como alguna tarea faltante o mal ejecutada	KAIZEN 5 s
Movimientos innecesarios	Organización del laboratorio	Las herramientas, materiales de trabajo no se encuentran en lugares definidos lo que ocasiona tiempos perdidos.	5 s KAIZEN

Para reducir los movimientos innecesarios generados en el proceso de pruebas de funcionamiento, secuencia de calibración, liberación del equipo y generación de

documentos, en la calibración se aplicó las 5 "S". Las actividades realizadas en la implantación de esta herramienta fueron:

- Seiri (Separar y eliminar): Se identificó todos los materiales e instrumentos inoperativos del área de trabajo, luego los que se mantienen se separaron de acuerdo a su uso y frecuencia, se utilizó el sistema de tarjeta roja, logrando clasificar aquellos materiales que van a ser eliminados del área de trabajo
- Seiton (Ordenar): Una vez clasificado los materiales e instrumentos, se estableció cuáles se usan más y así reubicarlos lo cerca posible del lugar de trabajo, colocándolos en un lugar de fácil acceso a fin de reducir los tiempos por búsqueda.
- Seiso (Limpiar): Esta fase en equipo se centró en la eliminación de fuentes de suciedad implementando una política para trabajo limpio, se asignó un tiempo de 10 minutos para la limpieza de sus puestos de trabajo antes de retirarse de la jornada laboral.
- Seiketsu (Estandarizar): Se generó un checklist de actividades que se deben realizar previo y posterior a las actividades diarias, además se generó un instructivo de aplicación de la metodología.
- Shitsuke (Disciplina): A fin de mantener implantada la metodología y alcanzar esta autodisciplina, se elaboró un proceso de auditorías 5 "S" se la realiza una vez por semana durante dos meses y después dos veces al mes.

Control visual (Andon)

La implementación de Andon se enfocó en 3 puntos;

- El primer punto se enfoca en la recepción de equipos y puestos de trabajo; en recepción, donde se ubica la percha de los equipos sin calibrar se colocó estanterías por colores para identificar si los equipos están funcionales, requieren mantenimiento o se encuentran dañados, siendo los colores azul, verde y rojo respectivamente. En los puestos de trabajo se colocaron letreros con información del procedimiento de calibración y los tiempos que se deben mantener.
- El segundo punto en la gestión de indicadores y productividad: Se instaló un tablero para registrar eventualidades. Este tablero estará a la vista de cualquier integrante del personal para que pueda hacer uso de este. Al final de cada mes se establecieron indicadores que representen los reprocesos, reclamos y problemas presentes.
- El Tercero punto se enfoca en la Calidad del servicio: Se instaló un tablero en la recepción de equipos para evaluación del servicio mediante adhesivos de colores, amarillo para una entrega puntual y rojo para una entrega fuera de tiempo.

Kaizen

Teniendo en cuenta el diagnóstico realizado a través del VSM, los eventos *kaizen* en el proceso de calibración del equipo y ventas fueron:

INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN METROLÓGICA INSTRUMENTES S.A. MEDIANTE HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING

- Reuniones con las Gerencias y técnicos involucrados en el servicio de calibración, a fin de plantear propuestas para disminuir el *lead time*, realizando un análisis de causa raíz y Pareto para definir la problemática.
- Capacitación del personal en atención al cliente.
- Registrar todas las actividades que porten al área de operaciones.

El tiempo de atención de las solicitudes mejoró de 4 días a 3 aproximadamente, como meta se quiere llegar a 2 días.

Kanban

Se implementó el sistema de tarjetas kanban desde que se recibe el equipo en percha hasta que es regresado a la misma para su liberación. En la tarjeta se estableció el casillero para medir el tiempo ciclo de cada proceso a fin de tener un seguimiento y presentar las acciones necesarias en el caso de que aumente. La Figura 5 ilustra la necesidad de reducir la duración del ciclo de tareas, así como el rendimiento de las actividades a medida que se agregan nuevas tareas al flujo de trabajo

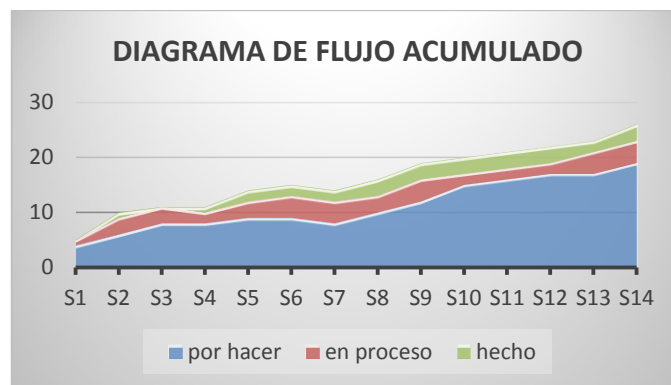


Fig. 5. Diagrama de flujo acumulado.

Del VSM futuro (figura 6) queda claro que los tiempos de ciclo se reducirán en un 40 %, lo que aumentará la productividad al permitir la calibración de equipos adicionales. Adicionalmente, se consolidó el procedimiento de inspección y pruebas de funcionamiento, lo que disminuyó el número de técnicos requeridos y agregó responsabilidades de soporte y seguimiento a las implementaciones.

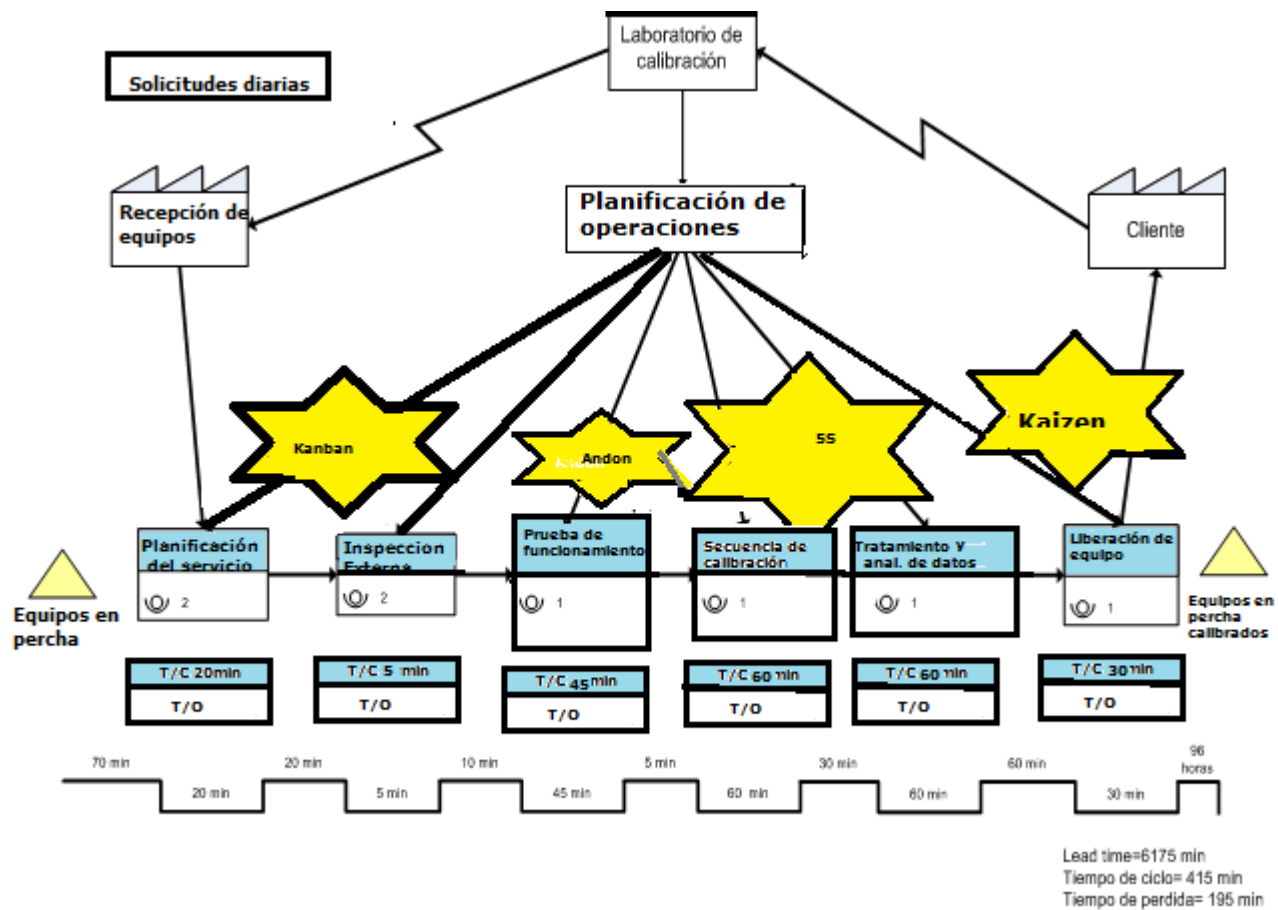


Fig. 6. VSM Futuro.

Implantada las herramientas LM, se logró disminuir el Lead time a 3.19 días en la entrega del equipo calibrado al cliente. El tiempo que demora el proceso de calibración mejoro a 5.98 horas, evidenciado una disminución del tiempo que no agrega valor a 1.8 horas.

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos luego de implementar herramientas lean en el mismo periodo de evaluación para los años 2021 y 2022.

Tabla 4. Resultados.

Aspectos	Nov- dic 2021	Nov- dic2022
Equipos calibrados	12 ST/dia	16 ST/dia
Tiempo de ciclo	425 min	250.5 min
% equipos entregados a tiempo	78.9%	100%
Servicio no conforme	14	2
Satisfacción del cliente	70.5%	87,1%

INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN METROLÓGICA INSTRUMENTES S.A. MEDIANTE HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING

Para medir la satisfacción del cliente, se administraron cuestionarios a 22 clientes entre noviembre y diciembre de 2022. Las encuestas utilizaron una escala tipo Likert de 1 a 5, donde 1 indica que el consumidor no está nada contento y 5 indica que el cliente está satisfecho.

Las actividades Kaizen ayudaron a elevar el grado de satisfacción del cliente de 70.5 a 87.1. Se establecerá como objetivo del sistema de gestión de la calidad, llegar a una meta del 92%, e incrementar en uno por ciento cada año.

Discusión

Mallma (2020), encontró que, en todos los casos de implementación en laboratorios de prueba, se redujeron los desperdicios y los tiempos de producción, y cuatro de los siete casos de estudio obtuvieron ahorros de costos significativos. 5S, VSM, SMED. Control visual y *One Piece Flow* son las tecnologías que tuvieron la mayor influencia en todos los estudios de casos. Estos instrumentos son, por tanto, los que, en términos generales, pueden tener una mayor influencia en la mejora de las operaciones de los laboratorios de servicios de ensayo.

El VSM actual demostró gráficamente que las etapas Inspección y pruebas de funcionamiento, secuencia de calibración, tratamiento y análisis de datos y liberación de equipo, demandan una mejora, a fin de evitar generación de desperdicios; con el fin de proponer una solución a los tipos de muda identificados en el VSM futuro, las opciones propuestas fueron 5 S, control visual, *Kanban*, *Kaizen*. Se coincide con el estudio de Rodríguez-Fernández, Yadira, Abreu-Ledón, René, & Franz, Matthias. (2019), en la utilidad de la herramienta para la reducción de desperdicios, por la revisión de 29 obras sobre la temática. La clave para mantener las mejoras es el seguimiento, el mismo se lo hace mediante los indicadores de tiempos de entrega, servicio no conforme y satisfacción del cliente.

La metodología y uso de las herramientas LM permitió una mejora en los indicadores de resultados, siendo que las herramientas lean las que permitieron mejorar la satisfacción del cliente y la optimización de procesos, en coincidencia con Mallma (2020).

Conclusiones

1. La aplicación de LM demostró, mediante su implementación en Metrológica Instrumentes, la utilidad de dichas herramientas para la mejora de la calidad, la reducción de los desperdicios, tiempos de ciclo, y la satisfacción del cliente. El tiempo de ciclo en el proceso de calibración se redujo de 7 a 4 horas, provocando una minimización del incumplimiento en la entrega de equipos calibrados a cero, evidenciado así un crecimiento de la productividad de 12 a 16 equipos por día.
2. El VSM constituye una herramienta útil para el análisis de valor de las actividades y la mejora de la eficiencia de los procesos, en paralelo a la

implementación de herramientas como 5 S. Kaisen, Control visual (ANDON), y Kanban, para la mejora de la conformidad y satisfacción del cliente.

3. Se establece la utilidad de la propuesta para: la operatividad, la mejora continua en empresas con reservas de eficiencia en sus procesos productivos y de servicios. La elección de las herramientas de LM está en correspondencia a las condiciones de la entidad objeto de estudio, y el consenso de los especialistas de la misma, en consideración a criterios de prioridad específicos a cada caso.

Referencias

1. MATHIYAZHAGAN, K.; GNANAVELBABU, A.; AGARWAL, V. (2022). "Un marco para implementar manufactura esbelta sostenible en la industria de fabricación de componentes eléctricos y electrónicos: la perspectiva de un país de economías emergentes". *Revista de Producción más Limpia*, 334, 130-169. ISSN: 1909-0455.
2. MAWARE, C.; OKWU, MO; ADETUNJI, O. (2022). "Una revisión sistemática de la literatura sobre la implementación de la manufactura esbelta en los sectores basados en la manufactura de los países en desarrollo y desarrollados". *Revista internacional de Lean Six Sigma*. 13 (3), 521-556. ISSN 0718-0764.
3. GUEVARA-GUERRERO, E. I.; SUÁREZ-PIÑA, W.; TAMAYO-GARCÍA, P. (2014). El sistema de gestión en laboratorios de calibración para su acreditación. *Ciencias Holguín*, 20(4), 1-13. ISSN 1027-2127.
4. ACUÑA, B. P.; DOMÍNGUEZ, D. C.; NAVARRO, P. B. (2017). Tres casos de empresas internacionales con éxito: estudio de las estrategias de comunicación interna. *Chasqui. Revista Latinoamericana de Comunicación*, (134), 315-330. ISSN 1390-1079.
5. ARANGO SERNA, M. D.; CAMPUZANO ZAPATA, L. F.; ZAPATA CORTES, J. A. (2015). "Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban". *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(27), 221-233. ISSN 1692-3324.
6. CANTÓ, M. G.; GANDIA, A. A. (2019). "Cómo aplicar Value Stream Mapping" (VSM)". *3c Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 8(2), 68-83. ISSN 2254-4143.
7. CARRERA, R. M. (2019). Mejoramiento del proceso de producción de losas alveolares bajo metodología Lean Six Sigma en la empresa pública cementera EPCE. *Novasinerгия*, 2(2), 94-103. ISSN 2631-2654.
8. ESCAMILLA, A. (2015). *Metrología: y sus aplicaciones*. México: Grupo Editorial Patria. ISBN 978-607-438-927-2
9. GUEVARA-Guerrero, E. I.; Suárez-Piña, W.; Tamayo-García, P. (2014). "El sistema de gestión en laboratorios de calibración para su acreditación". *Ciencias Holguín*, 20(4), 1-13. ISSN 1027-2127.

**INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN METROLÓGICA INSTRUMENTES S.A.
MEDIANTE HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING**

10. GUTIÉRREZ MONSALVE, O. L.; OREJUELA CÓRDOBA, J. J. (2018). "Evaluación de Herramientas Lean aplicadas al proceso de ingeniería de Schneider Electric de Colombia-SEC". Tesis de maestría. Universidad de la Sabana, Colombia.
11. MALLMA TAPIA, J. A. (2020). "Aplicación de Lean Manufacturing en laboratorios para reducir el tiempo de entrega de resultados de los análisis". Repositorio Pontificia Universidad Católica del Perú.
12. MATHIYAZHAGAN, K.; GNANAVELBABU, A.; AGARWAL, V. (2022). "Un marco para implementar manufactura esbelta sostenible en la industria de fabricación de componentes eléctricos y electrónicos: la perspectiva de un país de economías emergentes". Revista de Producción más Limpia, 334, 130-169. ISSN 1909-0455.
13. MAWARE, C.; OKWU, MO; ADETUNJI, O. (2022). "Una revisión sistemática de la literatura sobre la implementación de la manufactura esbelta en los sectores basados en la manufactura de los países en desarrollo y desarrollados". Revista internacional de Lean Six Sigma, 13 (3), 521-556. ISSN 0718-0764.
14. MEJÍA CASTILLO, E. C. (2013). "Elaboración de procedimiento de calibración de manómetros, vacuómetros y manovacúómetros bajo la norma técnica colombiana NTC 2263: 1987 y la guía alemana de calibración de medidores de presión DKD-r 6-1: 2003, en la empresa metrología instrumentación y control MIC SAS". [Consultado el: 7 de junio de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/4908>
15. MEDINA CAICEDO, A. I. (2018). Evaluación financiera de un modelo de gestión operacional basado en un sistema Andon para el control de producción del sector de Calzado (Bachelor's thesis). Repositorio Universidad Técnica de Ambato. [Consultado el: 7 de junio de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28282>
16. PÉREZ RAVE, J., ET AL. (2011). Identificación y caracterización de mudas de transporte, procesos, movimientos y tiempos de espera en nueve pymes manufactureras incorporando la perspectiva del nivel operativo. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 19(3), 396-408. **ISSN 0718-3305.**
17. PIÑERO, E. A., VIVAS, F. E. V.; DE VALGA, L. K. F. (2018). Programa 5S s para el mejoramiento continuo de la calidad y la productividad en los puestos de trabajo. Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, 6(20), 99-110. ISSN1856-8327.
18. POZO FRANCO, PATTY ELIZABETH DEL; PEÑAFIEL PALACIOS, ALEX JAVIER; CRUZ PIZA, IYO ALEXIS. (2021). Estudio causal mediante Kendall y Pareto de la violencia contra la mujer en tiempos de confinamiento por COVID-19. *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores 2021*; 8(spe3), 00031. ISSN 2007-7890
19. FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, YADIRA; ABREU-LEDÓN, RENÉ; FRANZ, MATTHIAS. (2019). Mapeo del Flujo de Valor para el análisis de

- sostenibilidad en cadenas de suministro agro-alimentarias. *Ingeniería Industrial*, 40(3), 316-328. ISSN 1815-5936.
20. SOCCONINI, L. (2019). Lean manufacturing. Paso a paso. España: Marge books. ISBN 9788417903046
 21. VARGAS-HERNÁNDEZ, J. G.; MURATALLA-BAUTISTA, G.; JIMÉNEZ CASTILLO, M. T. (2018). Sistemas de producción competitivos mediante la implementación de la herramienta Lean Manufacturing. *Ciencias administrativas*, (11), 81-95 ISSN 2314-3738.
 22. VIDAL, L.A., MARLE, F.; BOCQUET, J.C. (2011). Uso de un proceso Delphi y el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) para evaluar la complejidad de los proyectos. *Sistemas expertos con aplicaciones*, 38 (5), 5388-5405. ISSN 0718-3305.
 23. Zhang, H.; Fan, L; Chen, M.; Qiu, C. (2022). El impacto de SIPOC en la reingeniería de procesos y la sostenibilidad de la gestión de adquisiciones empresariales en entornos de comercio electrónico mediante el aprendizaje profundo. *Revista de Informática Organizacional y de Usuario Final (JOEUC)*, 34 (8), 1-17. ISSN 2550-6730.

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses

Contribución de cada autor:

Jessica Esthefanía Manzano-Rodríguez: Realizó la parte de: introducción, resultados y conclusiones de la investigación en el objeto de estudio, evaluación de la capacidad productiva. Esto mediante la revisión y análisis de libros y artículos relacionados al tema de estudio, además realizó el cálculo e interpretación de resultados luego de haber aplicado la metodología respectiva, obteniendo así las conclusiones.

Yanelis Ramos-Alfonso: contribuyó en la parte de: métodos y discusión de la investigación en el objeto de estudio, evaluación de la capacidad productiva. Esto mediante una metodología con un enfoque cuantitativo para obtener números reales de la empresa, en la discusión a través del análisis teórico y revisión de los resultados además colaboró en la organización e ideas de la investigación.