

REDUCCIÓN DE DEFECTOS EN UNA DE LÍNEA DE MONTAJE DE ARNESES ELÉCTRICOS AUTOMOTRICES APLICANDO MANUFACTURA ESBELTA

Beatriz Adriana Esparza Ramírez¹, Fernando Ricárdez Rueda²
Isaías Emmanuel Garduño Olvera³

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

Recibido: 16/05/2023 Aceptado: 20/09/2023 Publicado: 25/10/2023

Resumen.- El objetivo general de este proyecto es reducir los defectos de calidad de una línea de ensamble de arneses eléctricos automotrices. El estado actual del proceso de la línea de producción se determinó con herramientas de análisis Lean como: Diagrama CTQ (parámetros Críticos de Estándares de Calidad), diagrama SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers) y VSM (gráfico de flujo de valor), y la evaluación de las métricas del proceso para determinar el estado de la línea. Derivado del análisis de las causas raíz de los defectos se identificó viable la utilización de las siguientes herramientas Lean: Andon (LUP), Instrucciones de Trabajo, Matriz de Habilidades, Andon (Dashboard), Desarrollo de Talento para formación práctica y Poka Yoke con sensores de contacto para asegurar el enrutamiento visual de los cables del arnés. El número promedio de defectos de calidad antes de las mejoras fue de 178 y con la implementación del método propuesto se redujo a 146 de las 2348 piezas producidas semanalmente, lo que demuestra una reducción significativa de los defectos de calidad internos en la línea del 17.98%.

Palabras Clave: Lean, Arnés automotriz, Poka Yoke, Andon, Calidad. LUP lección de un punto

DEFECT REDUCTION IN AN ASSEMBLY LINE OF AUTOMOTIVE ELECTRICAL HARNESES APPLYING LEAN MANUFACTURING

Abstract. - The overall objective of this project is to reduce the quality defects of an automotive electric harness assembly line. The current state of the production line process was determined with Lean analysis tools such as CTQ diagram (Quality Standards Critical parameters), SIPOC diagram (Supplier Inputs Process Outputs Customers), and VSM (value flow chart), and evaluating process metrics to determine line status. Derived from the analysis of the root causes of defects, the use of the following Lean tools was determined to be feasible: Andon (LUP), Work Instructions, Skills Matrix, Andon (Dashboard), Talent development for practical training, and Poka Yoke with contact sensors to ensure visual routing of harness cables. The average number of quality defects before improvements was 178 and with the implementation of the proposed method was reduced to 146 of the 2348 pieces produced weekly, which demonstrates a significant reduction of internal quality defects in the line of 17.98%.

Keywords: Lean, Automotive Harness, Poka Yoke, Andon, Quality. OPL (One Point Lesson)

Introducción

Este proyecto muestra el desarrollo de una estrategia para reducir los defectos de calidad de una línea de montaje que produce el arnés específico del cliente, a través de la aplicación de herramientas de lean manufacturing según menciona Chien – Ho (2012) “Lean manufacturing es una filosofía de administración empresarial enfocada en mejorar flujos”.

La empresa que sirve como unidad de estudio es de origen alemán que opera en el sector automotriz fundada en 1958, fue en 2007 cuando se inauguró la Planta Eléctrica 1 en el municipio de Lagos de Moreno Jalisco en México, luego en 2009 inauguró la Planta Eléctrica 2, teniendo a OEM Alemana fabricante de automóviles premium como su principal cliente.

¹ Profesora-Investigadora Dra. en Manufactura Avanzada. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, unidad académica de Lagos de Moreno. LGAC Calidad y productividad de los procesos industriales. Perfil deseable PRODEP. <https://orcid.org/0000-0001-8895-6661> beatriz.esparza@lagos.tecmm.edu.mx (**Autor corresponsal**).

² Profesor-Investigador. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, unidad académica de Lagos de Moreno. LGAC Calidad y productividad de los procesos industriales. <https://orcid.org/0000-0002-6847-8970> fernando.ricardez@lagos.tecmm.edu.mx

³ Cátedras CONACYT-CIATEQ A.C., San Luis Potosí, México. <https://orcid.org/0000-0002-8944-7954> isaias.garduno@ciateq.mx

Esta planta comprende varias áreas, donde MAIN G01 es uno de los procesos intermedios más importantes para reunir el KSK (arnés específico del cliente). El arnés MAIN se ensambla en esta línea de producción, que junto con el arnés COCKPIT (Panel Central del camión) y AUDIO (Parte interior de la cabina del vehículo) forman el sistema eléctrico total del proyecto para OEM Alemana. La línea MAIN integra el arnés principal y este es un conjunto de módulos (montaje de cables y componentes) que se enrutan en la misma placa de montaje a través de fijaciones y horquillas principalmente, uniendo las conexiones terminales y colocando los componentes antes de ser pegados para formar el arnés en su totalidad.

En primera instancia, en el proyecto se define el alcance y el equipo de trabajo. A continuación, se diagnostica el estado actual del proceso de la línea con herramientas de análisis y las métricas del proceso (López, 2016, p. 95) “es una expresión numérica (ratio) representativa de una magnitud, que permite conocer el desempeño de un proceso” para determinar cuantitativamente el promedio actual de defectos de calidad de la línea y medir su evolución al final del proyecto.

A continuación, se presenta el análisis de los defectos de la línea de montaje con el apoyo de algunas de las herramientas de calidad esenciales, con el fin de obtener la causa raíz de los defectos de calidad que más afectan a la línea y las herramientas de manufactura esbelta que se aplican a ellos.

Se implementan las herramientas de lean manufacturing que permiten la reducción de defectos con la mejora del proceso, Tejeda (2011) menciona “Es una filosofía de trabajo que propone obtener mayores beneficios utilizando menos recursos “, se evalúan las soluciones que se desarrollaron, con el fin de consolidar los resultados de la implementación de las mejoras y finalmente, hacer una evaluación estadística y financiera del proceso.

Marco teórico

La industria de los arneses automotrices, primordialmente en zonas como el noroeste del país, ha cobrado gran importancia desde los 80's y para el siglo XX con el TLCAN, su incremento en ventas fue exponencialmente considerable. El departamento de aduanas estadounidenses declaró que en México la producción de arneses creció más del 70% entre los 90's y 2000's. En el estado de Jalisco, específicamente en el municipio de Lagos de Moreno las plantas de arneses están enfocadas en la venta de autopartes y componentes eléctricos de las marcas Volkswagen y OEM Alemana. Un producto tan importante como el arnés debe ser fabricado con alta calidad porque, en la actualidad, los vehículos son controlados con la asistencia de complejos sistemas eléctrico-electrónicos y cada acción es operada con sistemas sofisticados que van de la mano de circuitos trenzados, conectores y centros electrónicos (el sistema nervioso de los automóviles) (Durán, 2019, p. 2).

Los operadores conducen los procesos operativos y por ello deben de involucrarse de manera relevante y clave en la implementación de la manufactura esbelta, debe incentivarse las aportaciones técnicas del capital humano. Acuña (2004), menciona “los empleados son quienes desarrollan las actividades y conocen a la perfección cada una de las deficiencias de las mismas, ellos pueden identificar áreas de oportunidad y generar ideas para lograr la mejora continua”. Esta afirmación, aplica bastante al desarrollo del proyecto y abre un panorama al responsable de la implementación de este, referente a la tarea clave que tiene respecto al personal operativo y su involucramiento. En la búsqueda de la mejora continua (Figura 1), en un proyecto de implementación Lean a la industria del arnés, se distingue un vínculo importante que muchas veces no está presente en la referencia de tópicos importantes para las organizaciones, la experiencia del operador debe convertirse en conocimiento y Lean manufacturing es una excelente oportunidad para generar este lazo tan importante.

Figura 1
Búsqueda de la mejora continua



Nota: Kaizen. Acuña (2004) (p.10)

Involucrar a los trabajadores de forma activa, aporta los siguientes beneficios:

- Los colaboradores comprendan realmente los objetivos y beneficios de la metodología.
- Incentiva económicamente el desarrollo del personal.
- Establecer un sistema de multi habilidades en la planta de modo que el personal pueda ser ubicado en diferentes funciones según sea requerido para lograr la producción solicitada por los diferentes clientes.
- Proporciona una línea de ascenso laboral basado en Multi-Habilidades. Cabrera (2014) indica “Los trabajadores debe pasar por distintos procesos de su sección y desempeñar tareas diferentes. Aumentaran su destreza, se disminuirá la monotonía y se facilitarán los procesos de ayuda mutua”.
- Impulsar el desarrollo de los trabajadores mediante equipos de alto desempeño, dándole primeramente capacidad para la toma de decisiones básicas y así sucesivamente hasta llegar a formar equipos autónomos.
- Aportarán ideas novedosas siendo ellos mismos quienes observen a sus compañeros, tomen tiempos y aporten las ideas de modo que tengan sentido de pertenencia. Martínez (2021) menciona que en la trayectoria de la disciplina de Lean Manufacturing las habilidades blandas como observación e involucramiento de los trabajadores son clave. “Por lo tanto, que los trabajadores cooperen voluntariamente con la gerencia para mejorar la eficiencia productiva” (Fairris, 2002, p. 529).
- Ubicación de recursos donde son requeridos.

Materiales y métodos

Es posible utilizar más de 30 herramientas Lean en el horario regular del entorno de producción. Cada tipo de organización elige un tipo particular de herramienta lean para un problema particular para lograr una producción óptima. Diaz (2020) menciona “La sistematización y estructuramiento ordenado de los procesos productivos, permiten optimizar la utilización y aprovechamiento de recursos a partir del cuidado y eliminación del desperdicio”, como menciona Stephens (2019) “Afortunadamente, existe una poderosa cura para la muda: pensamiento esbelto y manufactura esbelta. El pensamiento esbelto y la fabricación esbelta alientan a los diseñadores a pensar en el valor y crear acciones en la mejor secuencia”.

Mapeo de procesos SIPOC (Suppliers Inputs Process Outputs Customers) A continuación, se presenta el desarrollo del mapa SIPOC, así como la descripción detallada de cada uno de sus puntos, mostrando la relación y relevancia de cada elemento dentro de esta cadena de valor. Como menciona Brow (2019) “el SIPOC es la herramienta ideal para identificar todos los elementos relevantes de un proyecto de mejora de procesos antes de que el trabajo inicie”.

Proveedores: (Suppliers): Se refiere a las áreas o departamentos que abastecen la línea de producción:

- Logística (Comisionado): es el área de la empresa que se encarga de poner en marcha los módulos requeridos por el arnés según la variante representada a través del Dockchart (carga de trabajo).
- Kanban: es un área logística encargada del suministro de material y componentes a la línea de producción. Como expresa Tofan (2022) “El método Kanban se utiliza en una producción. debido a las siguientes ventajas: Garantiza comunicación entre procesos de negocio; Proporciona control de inventario; Indica el almacenamiento y lugares de entrega, la cantidad estándar y el tipo de contenedor, el método /frecuencia de transporte y permite la identificación de cualquier defecto que pueda ocurrir; proporciona gestión visual”.
- Retornable: Una división logística responsable de suministrar materiales retornables a la línea de producción.

Entrada: Todos los datos o elementos necesarios para llevar a cabo el proceso.

- Tablero: es la estación de montaje horizontal donde se enrutan todos los módulos que componen el arnés MAIN G01.
- Encabezado: es una pieza de información dibujaban en el tablero que describe, la revisión del arnés que se está procesando y los símbolos pertenecientes a las estaciones de bordillo.
- Módulos: son conjuntos de cables y componentes, que servirán para montar el arnés y trabajar con un código de colores.
- Antena: son cables gruesos que servirán para montar el arnés.
- Retornables: Son paquetes únicos para proteger la caja de fusibles.
- Correas: Son material necesario para el embalaje del arnés para su manipulación en procesos posteriores.
- Cubiertas, sellos, candados, placas múltiples y cables: estos son los componentes necesarios al final del módulo para generar la conexión en el coche.
- Arandelas, clips, cintas para zonas húmedas y secas, tubos corrugados y de malla, canaletas y tijeras: son elementos de la zona de pegado del arnés que sirven de operación para proteger las ramas del arnés.

- Caja de soporte de componentes: es para que los operadores tengan los componentes para ser utilizados en breve.
- Herramientas de funcionamiento complementarias: sirven al operario para realizar su operación con mayor facilidad y sin dañar el material.
- Herramienta de relé: utilizada para la corrección inmediata de errores cometidos por los operadores.
- Pistolas N: se utilizan para quitar las corbatas de las correas.
- P80: es un lubricante que se utiliza en la arandela para facilitar la entrada de la canal.

Proceso (Process): Serie de actividades que generan una línea entre la entrada y el punto de salida, estableciendo un valor requerido.

- Las estaciones s 1, 2, 3, 4 y 5 son las estaciones encargadas del enrutamiento del módulo, así como de la inserción de cables y componentes que corresponden al arnés según su variante.
- Estación 6: esta es la estación donde se realiza el engarzado de múltiples placas (evitar terminales bajos en las múltiples placas) principalmente, además de las correspondientes actividades de cinta.
- Estaciones 7, 9, 10, 11, 14, 15 y 16: son las estaciones donde se realiza el frenado, (de ramas mediante la colocación de cintas para zonas húmedas y secas, ojales, canaletas, lugares para correas y clips).
- Estación 8, 12 y 13: Las estaciones se encargan de realizar el ultrasonido, (uniendo cables depilados y aplicando tapas protectoras) a los cables principalmente, además de las correspondientes actividades de grabación.
- Estación 17: esta es la estación donde se cortan las correas con las pistolas de corte y los clips se colocan en los postes antes de la prueba de clip.
- Estación 18: Es la estación donde se realiza la Prueba de Clip, se retira el arnés, se colocan las correas y se lleva al carro para los siguientes procesos.

Salida (Output): Resultado final obtenido, a partir de un seguimiento de las actividades en cada uno de los puestos de trabajo de la línea de producción.

- Arnés: es el arnés principal del automóvil listo para pasar a los siguientes procesos, compuesto por el total de módulos y componentes protegidos a su vez con la cinta adecuada según la zona en la que se vaya a montar, así como aquellos componentes necesarios para el montaje en el interior del vehículo.
- KSK para OEM Alemana, casado con el arnés de audio y listo para montar en su estratégico embalaje de mochila de tres capas.

Clientes (Customers): Es la organización a la que se envía el resultado final y que debe estar satisfecha con la calidad del producto. El cliente final es OEM original equipment manufacturer un fabricante de automóviles por lo que el nivel de la empresa unidad de estudio es TIER 1: que son los proveedores de primer nivel, que manufacturan sistemas, subsistemas y componentes completamente terminados para facilitarlos directamente al fabricante de vehículos, Páez (2016) menciona “La innovación de sus procesos y autopartes es constante todo esto, para lograr sobresalir en el mercado automotriz, su esquema de proveeduría es jerárquico de mayor a menor nivel, estos se clasifican como Tier 1, este nivel es el que provee a los ensambladores de autopartes terminadas, el cual es más exigente con sus proveedores. Tier 2 provee al Tier 1. Varias empresas proveen al Tier 2”.

“La implementación de la manufactura esbelta permite que el valor fluya a través de los procesos de manufactura de la empresa, y es jalado por la demanda del cliente previene o más bien elimina el desperdicio” (Chick, 2016, p. 4).

Desperdicios son nombrados muda “todo aquello que no añade valor al cliente” (Pérez-Rave, 2015, p. 249) en Lean.

- Muda de Sobreproducción. “Producir más de lo necesario, producir más rápido de lo necesario. Las reglas Kanban previene la sobreproducción” (Domingo, 2015, p. 2).
- Muda de Movimiento. “Es el movimiento innecesario de personal y operadores en el piso de la fábrica sin adición de valor a los productos y/o servicios, se pierden esfuerzos y tiempo. Estos movimientos evitables ocurren por lay out mal organizado, baja estandarización de procesos, fuerza laboral deficientemente entrenada, y un mal diseño de proceso” (Okpala, 2014, p. 8).
- Muda de Espera. “Sucede cuando los operadores se detienen en espera de partes, maquinas u otros colegas. Las posibles causas son fallas en la maquinaria o falta de material en el almacén” (Simboli, 2014, p. 178).
- Muda de Transporte. “Se debe a las distancias largas entre las etapas del proceso de producción. Por lo tanto, el movimiento de materiales, producto en proceso y terminados, requiere la participación de medios de transporte

asociado con costos adicionales, pérdida de tiempo y generación de daños durante el proceso de transporte”. (Grzelczak, 2016, p. 4).

- Muda de Sobre proceso. “Hacer más operaciones a un producto de lo que requiere el cliente final resulta en que toma más tiempo y cuesta más producir” (Siddiqui, 2021, p. 31828).
- Muda de Stock o Inventario. “Manejar stocks innecesarios lo que resulta en otros tipos de muda como, esperar, corregir y sobre procesar” (Pieńkowski, 2014, p.11).
- Muda de defectos. “El esfuerzo involucrado en la inspección y reparación de defectos” (Abebe, 2021, p. 79).

Descripción de la implementación: En esta sección se despliega el uso de las herramientas Lean aplicadas. Árbol CTQ (Crítico para la calidad) Martínez (2022) menciona “Los árboles CTQ para traducir los requisitos de los clientes a requisitos críticos para la calidad en los procesos”. A través de un árbol de características críticas de calidad, se identificaron los puntos que sirvieron de punto de partida en el estado actual del estado de la línea a través de los diferentes indicadores cuantitativos internos.

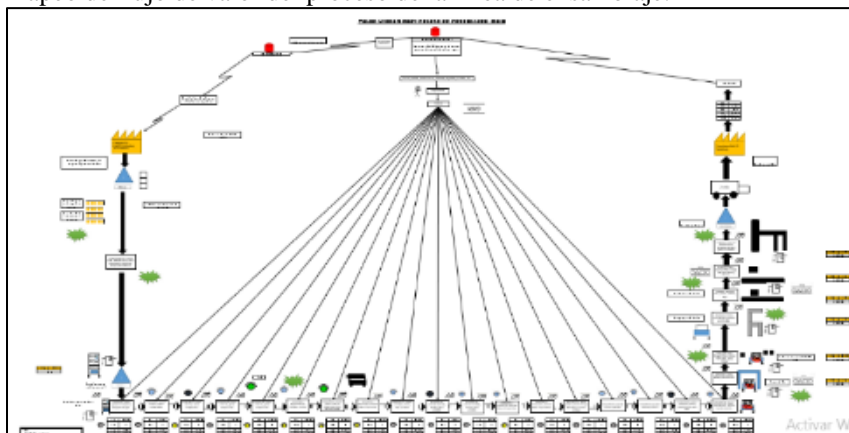
El árbol CTQ presenta las características medibles clave del arnés y cuales estándares de rendimiento o límites de especificación deben cumplirse para satisfacer al cliente. Representa un punto esencial en la definición del problema para identificar y dar seguimiento a lo que genera un impacto en los defectos de calidad de la línea.

El problema central son los defectos de calidad generados en la línea de montaje, de los que surgen dos determinantes:

- Reducción del Informe Diario (informes diarios de clientes). Los parámetros críticos de calidad: longitud de rama corta, embalaje incorrecto, cable dañado y terminal bajo, representan principalmente aquellos factores significativos que se evalúan a través de la métrica objetivo Y (350 ppm) y G (200 ppm), ppm (defectos por millón de oportunidades) calculados a través de las unidades defectuosas con respecto a las unidades relativas a las unidades producidas semanalmente. Las metas fueron evaluadas semanalmente, la meta Y, por su parte, responde a un estado amarillo, que es una meta secundaria, y el estado ideal, la letra G, verde, es la meta final a alcanzar.
- 2º Reducción de informes internos de calidad. Los parámetros críticos de calidad de: rama corta / larga, daño y ausencia de componentes, terminal y aislamiento dañados, proceso incorrecto de cinta y engarce y ultrasonido incorrecto, representan principalmente aquellos factores significativos para cumplir con los objetivos internos de ppm que se evaluaron en consecuencia. Semanalmente, esta ppm respondió a la métrica que evaluó el progreso con la meta Y de 21,000 ppm para el primer trimestre y la meta G de 12,000 ppm para el primer trimestre también.

Mapa de flujo de valor. El VSM (detalle de información confidencial) Figura 2, por sus siglas en inglés o value stream map “El diagrama identifica los flujos de información que se coordinan entre todas las unidades funcionales y estaciones de trabajo del área productiva de una empresa” Calero (2017), se desarrolló una herramienta para entender el proceso e identificar todo lo generado como residuo dentro de la actividad de montaje de la línea.

Figura 2
Mapeo de flujo de valor del proceso de la línea de ensamblaje.



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

La línea de montaje cuenta con 18 estaciones que componen el conjunto del arnés y un montaje realizado por 7 operarios que deben realizar 210 operaciones.

Cálculo del takt time “Sincronizar el ritmo de producción con el ritmo de Ventas” The New Lean Pocket Guide (2007)
Tabla 1:

Tabla 1
Cálculo del tiempo takt de funcionamiento de la línea.

Data/Shift	1	2	3	TAKT TIME General para los tres turnos
Tiempo disponible	27000	25200	28800	
Demanda de los clientes	70	63	76	
Takt Time:	385.7142857	400	378.947368	388.2205514
Takt Time (minutos)	6.428571429	6.666666667	6.31578947	6.470342523

Nota: Elaboración propia con datos del proceso

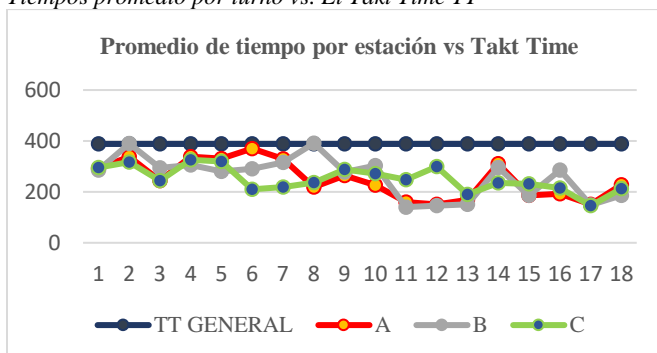
El tiempo disponible corresponde al tiempo en segundos de cada turno: el número uno corresponde al turno de mañana, dos al turno de tarde y el número tres al turno de noche, segundos que a su vez se dividen entre la demanda o las piezas objetivo establecidas para cada turno en la semana 13 respectivamente, obteniendo un Takt Time para los tres turnos de 388,22 segundos (6,4703 minutos) por arnés.

Este estudio permite obtener información valiosa de las áreas anteriores, posteriores y, por supuesto, de las actividades internas de la línea de montaje con el fin de identificar las oportunidades de mejora del proceso en la cadena de valor.

También se obtuvo un gráfico comparativo de los tiempos reales pertenecientes a la tabla anterior. Finalmente, los tiempos reales de cada turno se trazan contra el Takt mencionado anteriormente (6.4703 minutos por arnés) que se presenta a continuación.

A partir del siguiente gráfico (Figure 3), se interpretó lo siguiente: la línea azul que representa el tiempo tacto la velocidad a la que la línea debe trabajar para cubrir la demanda está por encima del tiempo de todas las operaciones, excepto: estación 2 del turno B y estación 8 del mismo turno, casos excepcionales que correspondían a: cambio de revisión y problemas del operador para adaptarse a su carga, respectivamente.

Figura 3
Tiempos promedio por turno vs. El Takt Time TT



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Lo anterior reveló que debido a problemas de tiempos reales de operación en las estaciones; la línea debe cumplir con sus metas diarias. Sin embargo, otra serie de factores que no le permiten cumplir con este objetivo: paradas de mantenimiento, falta de soporte de carga y problemas de calidad que se reflejan en el retrabajo dentro de la línea.

“La herramienta básica de análisis sigue siendo el VSM actual a partir del cual se identifican oportunidades de mejora para lograr un VSM futuro y así satisfacer el valor para nuestro cliente. Así mismo buscamos obtener un ritmo de entrega igual al takt time acorde a la demanda” (Suárez, 2020).

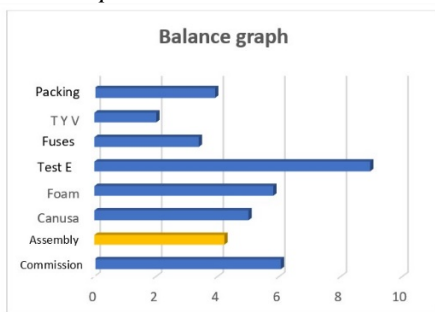
Con el VSM , también se obtuvo la siguiente aproximación de corriente de la capacidad del sistema (Tabla 2), con la toma de tiempos reales por estación (Figura 4), siguiendo el mismo principio que se utilizó para la toma de tiempos de la línea de producción tomando un total de 5 ciclos.

Tabla 2
Tabla de capacidad del sistema de producción

Procesos		En tiempo real	Salidas
1	Commission	6.05800926	2
2	Assemble	4.22179012	1
3	Canusa	5.01	H
4	Foam	5.80916667	3
5	Test E	8.96	2
6	Fuses	3.39	1
7	T Y V	2.01	1
8	Packing	3.92	1
La operación más lenta		8.96	
Capacidad		100.483	Piezas

Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Figura 4:
Gráfico de capacidad del sistema.



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

El tiempo promedio disponible de 450 minutos (450 min para el primer turno, 420 min para el segundo y 480 para el tercer turno) se dividió por la actividad más lenta; Prueba eléctrica: 8.96 (8.96 con dos salidas simultáneas es igual a 4.48 min), obteniendo una capacidad por turno de la línea MAIN G01 de 100 piezas por turno, presentando un área de atención para presentarse como un posible cuello de botella a partir de la toma de tiempos precisos de cada estación de trabajo.

Aplicación de herramientas de manufactura esbelta. Lean manufacturing es una filosofía que basa sus esfuerzos en desarrollar estrategias que logren eliminar los desperdicios 7+1 (inventario, movimientos, espera, transporte, sobreproducción, y subprocesamiento, defectos y talento no utilizado) son el último par de defectos, a los que se dio mayor enfoque en este proyecto, del talento no utilizado, Lewis (2013), menciona que ocasiona “Pérdida de tiempo, ideas, habilidades y oportunidades de aprendizaje por no involucrar o escuchar a sus colaboradores”.

El par de cambios (defectos y talento no utilizado), es una parte importante de los problemas en la línea de producción MAIN G01; es fundamental aprovechar la capacidad del capital humano y que las herramientas de lean manufacturing que se determinaron tengan profundo sentido para ellos, ya que son los operadores quienes, a través de la gestión del responsable, llevan a la práctica las herramientas de lean manufacturing, ayudando al proceso en busca de su mejora.

En la tabla 3 se describen aquellas herramientas de lean manufacturing a aplicar, debido a la detección de necesidades de mejora detectadas para la reducción de defectos.

Tabla 3
Herramientas de Lean manufacturing que se aplican a las necesidades detectadas.

Need for improvement detected	Lean manufacturing tool that applies	Supports for improvement
One Point Lessons (R)	1. Andon (LUP)	
Routing using the board components (R)	2. Work instructions	Support from leaders who listen to the needs of the operators (R), Communication and a good environment of the stations (R), and a band for branches that pass through the fork (R).
Polyvalence operators.	3. Polyvalence matrix.	
Information board for operators (R)	4. Andon (Board)	Real-time piece counter (R).
Practical training (R)	5. Talent Development	
Contact sensors for more visual routing (R)	6. Poka Yoke	

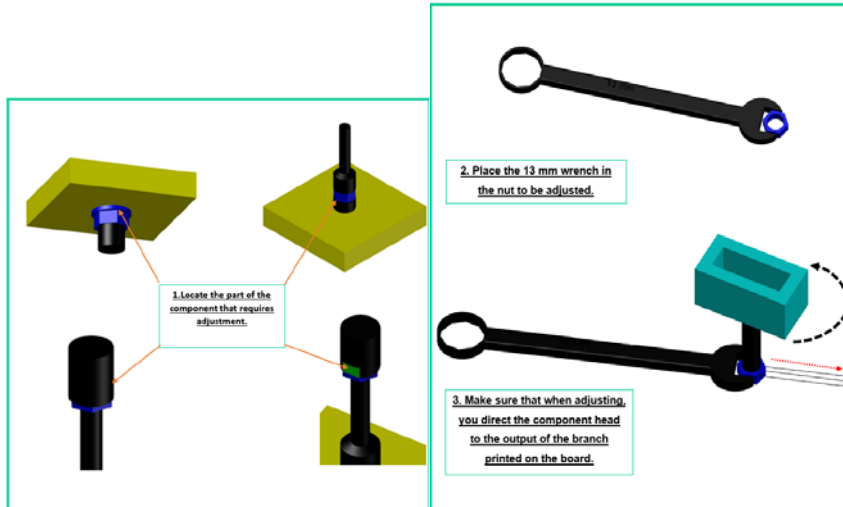
Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Se entiende entonces, que las herramientas de manufactura esbelta anteriores eran las necesarias (para eliminar defectos de enrutamiento (R) donde cada una de estas herramientas se aplicaba, siendo defectos de cinta adhesiva y defectos notables áreas que requieren menos atención porque sus necesidades de mejora no requieren el apoyo de herramientas de manufactura esbelta para la reducción de defectos.

Andon LUP. La primera herramienta desarrollada (Figura 5) se refiere a la aplicación de la herramienta LUP (One Point Lesson) que “es una herramienta de comunicación, utilizada para la transferencia de conocimientos y habilidades simples o breves” Salazar (2020) que responde a la pregunta planteada por Hernández (2013) ¿Se utilizan los estándares de trabajo para formar al personal nuevo? se aplicó a la configuración de componentes de la placa; horquillas, postes y accesorios. La necesidad constante de ajustar estos elementos, debido al uso constante de panel por panel, hizo evidente el problema de los operadores de la estación de enrutamiento de no poder utilizar los componentes para el enrutamiento porque no podían abordar la rama por error.

Figura 5
LUP para configurar componentes de enrutamiento en la placa de la línea de montaje

SINGLE-POINT LESSON FORMAT					
Prepared by:				Area:	
Reviewed by:				Date:	
LUP Type	TPM	Safety	Environment	Quality	Other
	X				
Theme:	The adjustment of board components for correct routing.		Reason for selection:	Defects dueto lack of fit and direction of the component	







Nota: Elaboración propia con datos del proceso

La implementación de la herramienta LUP en el ajuste de horquillas, postes y accesorios, fue una propuesta con un impacto significativo en el correcto enrutamiento de módulos y ramas de cada una de las cubiertas, evitando no hacerlo en aquellas cubiertas en las que no se fijaba un componente de la cubierta y a las que el área de mantenimiento no daba un ajuste inmediato, por lo que el enrutamiento correcto a través del componente era imposible para el operador, siendo esta omisión del uso del componente una de las principales contribuciones a los dos defectos más significativos de la línea; rama longitud larga y rama longitud corta.

Instrucción de trabajo. En segundo lugar, se generó una instrucción de trabajo (Figura 6), que sirvió para ilustrar un método estándar en la línea; el enrutamiento, una operación de ensamblaje fundamental y apoyada en las buenas prácticas descritas en las instrucciones de trabajo, definió el soporte necesario en las longitudes correctas de las ramas del módulo.

Figura 6
 Instrucción de trabajo para buenas prácticas de enrutamiento.

WORKING INSTRUCTION OF GOOD ROUTING PRACTICES	
EXAMPLE	INSTRUCTION
	<p>Place all connectors in the fixtures.</p> <p>Once the connector is placed in the fixture make sure it is fixed.</p>
	<p>Comb the wires that go to the next component.</p> <p>Making sure you follow the correct routing according to the dashboard's guide lines.</p>
	<p>It directs all the components inside d.e.</p> <p>Above all, in the forks.</p>
	<p>Use each and every component to route the module.</p> <p>No component as the branch passes should be omitted.</p>

Nota: Elaboración propia con datos del proceso

La instrucción de trabajo es una herramienta que proponía una contribución significativa en la reducción de defectos de rama de largo y corto tramo, la concientización a través del video y el uso de la instrucción de trabajo fue un

complemento a la idea de un necesario cambio de cultura en los operadores, respecto a aquellas buenas prácticas que se deben realizar al montar el arnés para no afectar a las estaciones post-enrutamiento, monitorear a 91 operadores en la línea es complicado para los líderes y en su caso también para los relés, es por eso que es extremadamente esencial que las personas ayuden a hacer su carga de manera responsable y correcta, generando un impacto positivo en los resultados grupales del arnés principal ya ensamblado.

Matriz de polivalencia. La tercera herramienta que aplicó fue una matriz de polivalencia (Figura 7); es fundamental que en las empresas haya la menor dependencia posible de un trabajador. A más tardar, se consigue mejorando la formación de todo el personal y proporcionando una formación adecuada a un número suficiente de trabajadores en una función específica. “La matriz de competencias explica de forma esquemática que personal está capacitado para desempeñar las distintas actividades que permiten la correcta ejecución de los procesos en la organización” (Lima, 2016). Es precisamente lo anteriormente descrito lo que se buscó con esta matriz, preparar los relés de cada par de estaciones de enrutamiento en todas y cada una de las 14 cargas que corresponden a cada una logrando entonces, que la operación de enrutamiento no sea vista como tal una operación del operador a cargo, sino que, en su ausencia, alguien más estaba preparado para cubrir la carga sin enviar defectos en el arnés.

Figura 7
Matriz de polivalencia para relés de estaciones de enrutamiento.

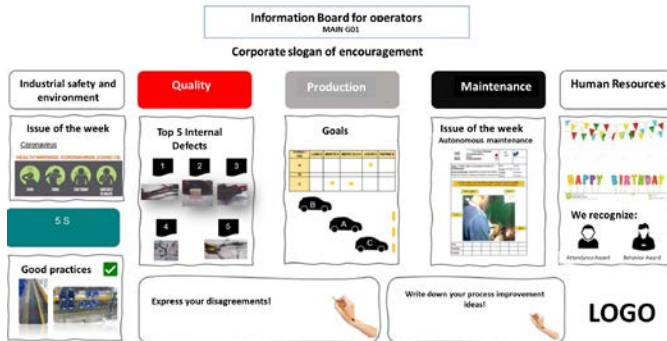
Nota: Elaboración propia con datos del proceso

El impacto de la matriz de polivalencia es dar a los líderes de cada turno una base de datos directa de las cargas que dominan cada uno de sus relés, relés que, a su vez, conocen cada una de las cargas; logró retroalimentar a los líderes con respecto a esas condiciones desfavorables que dificultaban el excelente desarrollo de la carga de poner una acción correctiva inmediata. Fue posible colocar los relés en una posición fija para que manejen las cargas estudiadas en la matriz, con la calidad y eficiencia requerida en la línea y al mismo tiempo tener un propietario responsable de los problemas de un área determinada.

Tablero Andon. También se generó el tablero de resultados (Figura 8), una herramienta de control visual utilizada para incluir diversos indicadores e información relevante (Acharyaa, 2011). “La intención del sistema de control visual es que todo el lugar de trabajo esté configurado de modo que cualquier persona, en cuestión de minutos conozca lo que está pasando, entiende el proceso, y lo que se está haciendo correctamente o que está fuera de lugar”. Esta herramienta fue diseñada para mostrar que el hecho de que las personas sean conscientes de su desempeño influye en el resultado de sus procesos. A excepción de otras placas de línea de montaje, esta placa se centra única y exclusivamente en los operadores de líneas de montaje. Se propuso requerir el apoyo de cada uno de los departamentos correspondientes para mantener actualizada la información de cada campo, semana a semana.

El impacto de esta herramienta cumple dos funciones; en primer lugar, proporcionar un espacio que hiciera sentir al operador una parte importante del proceso, al encontrar información a su alcance y fácil comprensión que le permitiera participar más allá de sus actividades de montaje y refrescar temas de calidad, seguridad, medio ambiente y otros que con el paso del tiempo se dejan de lado. En segunda instancia, crear un entorno de información a nivel operativo respecto a metas y defectos generados por cada turno, concientizar sobre aquellas acciones que impactan en el proceso que realizan, y generar un medio de sana competencia entre turnos para mejorar sus resultados.

Figura 8
Matriz de polivalencia para relés de estaciones de enrutamiento.

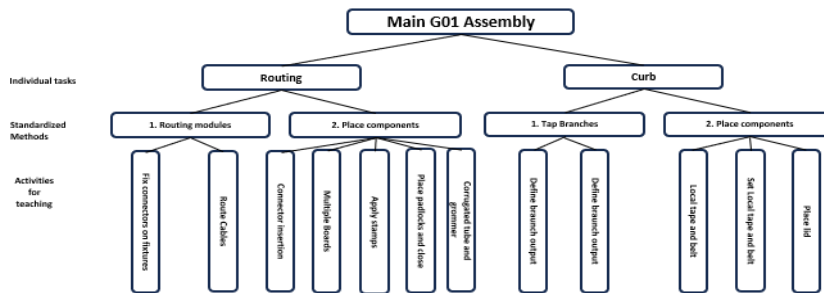


Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Desarrollo del talento. Se trata de una técnica que se centra en el fortalecimiento de las habilidades prácticas del personal, de acuerdo con Ospina (2022), “disponer de éste nuevo rol de gestión humana potencializará el desempeño de la organización y le permitirá mejorar su desempeño con respecto a los objetivos propuestos para la producción desarrollo, formación, rendimiento y eficiencia”. Es por eso que sugirió incluir capacitación práctica antes de ingresar a la línea la semana de inducción y capacitar al nuevo personal operativo dirigido a la línea de montaje identificando aquellas actividades críticas en el futuro puesto que ocupen los operarios y proporcionando los medios necesarios para llevar a cabo dicha formación práctica.

El enrutamiento y la grabación se consideraron tareas críticas ya que, de todos los defectos, la mayoría se generan en este par de áreas (Figura 9).

Figura 9
Identificación del conocimiento crítico



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

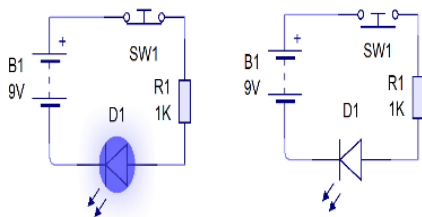
Estaciones para formación práctica. El siguiente diseño para la capacidad del área de capacitación se propuso con la ayuda de las estaciones de capacitación para la empresa, donde 10 operadores al mismo tiempo pueden desarrollar su capacitación práctica o, el Manual del Instituto Lean Six Sigma recomienda una persona calificada en cada instrucción de trabajo por cada diez empleados, por lo que 5 tableros de capacitación práctica distribuidos en el área de capacitación darían un buen apoyo a 10 personas. Enrutar los módulos, definir las salidas de la rama al pegar y el uso del encabezado; estas son actividades críticas dentro del montaje del arnés, actividades que se cubrirían en el área de capacitación propuesta.

Poka Yoke. Y por último, el método de Poka Yoke, de acuerdo con Acuña (2004), “se refiere al concepto de diseño en el cual se considera como evitar que se cometan errores sea por confusión o ignorancia”, método que se recomendaba para evitar ramas cortas y/o largas; defecto generado por causas provenientes principalmente de las áreas

de enrutamiento, se recomendó la modificación de las placas que unen a cada uno de los accesorios un dispositivo de advertencia Poka Yoke que por medio de luz pone en aviso a los operadores de aquellos componentes que no están completamente fijados al accesorio, a través del método de contacto donde, el dispositivo sensible detecta la presencia del conector. El medidor utilizado en este sistema Poka Yoke entra en la categoría de medidor de contacto, el interruptor de límite o micro interruptor se encarga de verificar la presencia y posición del objeto, un interruptor equipado con luz para un fácil uso.

Para la elaboración del Poka Yoke, se propuso un circuito para cada conector (Figura 10), con una fuente de alimentación de 9 voltios, un interruptor de límite normalmente cerrado (los focos están encendidos hasta que el contacto del conector en el accesorio abre el interruptor), una resistencia de 1 K Ω y un diodo LED azul ultrabrillante de 3.6 V.

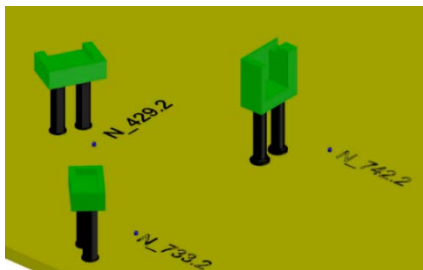
Figura 10
Circuito para el desarrollo del dispositivo Poka Yoke Warning.



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

En la placa de montaje (Figura 11), el dispositivo Poka Yoke ilumina cada posición donde se encuentra un accesorio antes de colocar el conector, para advertir al operador de aquellos conectores que no arregló, teniendo que avanzar la placa entonces, con todos los LED apagados asegurándose de que todos los accesorios se usaron en el enrutamiento.

Figura 11
Vista del dispositivo Poka Yoke en la placa de montaje.



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Se sugirió la aplicación de un dispositivo de advertencia Poka Yoke como herramienta de apoyo visual para que la rutina y la presión de tiempo no adviertan al operador de aquellas posiciones en las que no colocó los conectores en el accesorio, asegurándose de que la rama esté fija y se eviten defectos. Los LED encendidos advierten a los líderes y relés que está funcionando incorrectamente y puede retroalimentar al operador para que el arnés avance con los LED apagados, también serviría para que el operador informe inmediatamente esos sujetadores en los accesorios; que no son funcionales para reportar al mantenimiento y todos los accesorios están en condiciones de montar los conectores.

Resultados y Discusión

En el presente proyecto se representó como una nueva etapa en los proyectos que han sido desarrollados por el área de investigación en la Compañía Alemana de Arnés Eléctricos Automotrices, ya que, por primera vez en varios años, el proyecto se centró en el área de operaciones de ensamblaje. La línea de montaje de clientes de OEM Alemana era un nuevo proyecto para la compañía y solo tenía unos meses de puesta en marcha cuando comenzó el presente

proyecto, por lo que resultó ser un desafío debido a la considerable cantidad de oportunidades de mejora encontradas. Las actividades Lean exitosas nunca provienen de libros de texto estándar dependen de la solución de problemas.

Con equipos de expertos que involucran personal interno de diferentes departamentos y diferentes niveles empresariales y consultores externos” (Protzman, 2016). Cada una de las etapas del proyecto dejó importantes aportes, en primera instancia se logró consolidar el equipo responsable de resolver los problemas de calidad de la línea Principal, con el gerente de producción, el asesor interno, el área de ingeniería, supervisores, líderes, relevos, operadores y por supuesto la persona a cargo del proyecto.

El análisis que se hizo de los problemas que presentaban en la línea de producción con respecto a los defectos de calidad, reveló la amplia necesidad de enfocar el estudio y los esfuerzos en las primeras cinco estaciones de la línea llamadas como estaciones de enrutamiento, las métricas del proceso respaldaron este enfoque determinando que los defectos que entran en las reglas de operación de Pareto tomadas en su conjunto representaban un 87% un par de defectos: rama de longitud corta y rama de longitud larga; defectos que, aunque no se generan en su totalidad en las zonas de enrutamiento son áreas que los generan en su mayoría. El enrutamiento se convirtió en una prioridad y los gráficos en tiempo real del mapeo del flujo de valor respaldaron la idea, mostrando concentraciones muy altas en tiempo real de las operaciones de enrutamiento en relación con el resto de las áreas.

Se desarrollaron 6 herramientas para la reducción de defectos, comenzando con la Instrucción de Trabajo (Esparza, 2016), en los cuales se documentarán las actividades minuciosamente con el objetivo de apoyar a los operarios para que realicen su trabajo efectivamente, o en su defecto estos instructivos realicen la fusión de guía en el caso de nuevas contrataciones, Andon (LUP), Desarrollo de Talento, Matriz de Polivalencia, Andon (tablero) y dispositivo de advertencia Poka Yoke, donde se destacó la implementación de la matriz de polivalencia para relés; una nueva práctica que no estaba disponible en la empresa lo que servirá en el futuro también para contar con operadores con múltiples habilidades que respondan a las necesidades de los tableros de montaje.

La búsqueda práctica de la funcionalidad de los componentes era una actividad muy beneficiosa también y que nunca se había llevado a cabo en las líneas de montaje, esta práctica reveló un estudio detallado en la placa de montaje de aquellos componentes que aunque el diseño de enrutamiento los sugería, no eran funcionales para el operador por lo que se sugirió que fueran reemplazados o soportados por los dispositivos auxiliares que se presentaban como un aporte extra a la componentes de la placa para fijar los conectores en el accesorio, los cables en el T01 y T02, así como los eslabones para mantener las ramas dentro de la horquilla y así proporcionar al operador los medios necesarios para llevar a cabo su funcionamiento correctamente.

Se logró una reducción de defectos en la línea Principal G01 de 17.98%, con solo una fracción de la implementación de todas las herramientas lean del proyecto, mostrando luego la evidencia de la factibilidad de las propuestas que, en su totalidad, destacan un beneficio - costo de 7.38%, una tasa interna de retorno de 44% y una recuperación de la inversión en 52 días desde su inicio.

Conclusiones

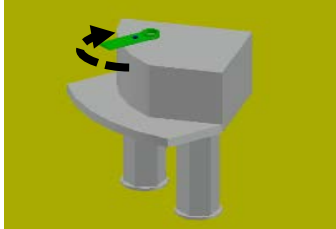
Se realizó una prueba piloto en los tres turnos de la implementación, se determinó un área dentro de las cinco estaciones de enrutamiento para cada relé. Para desarrollar la simulación de cómo se comportaron los defectos de la línea antes de implementar la prueba piloto, se utilizaron datos de la métrica de proceso de defectos de calidad internos. Se realizó la simulación del comportamiento del proceso antes de ejecutar la mejora, y se obtuvo un total de salidas medias de 2.343 piezas de arnés, de las que se obtuvo una media semanal de 178 arneses con defecto.

Las ubicaciones (estaciones de trabajo) trabajan al 93% de su capacidad. Viendo la capacidad como un estado múltiple en la totalidad de las estaciones, resultó que cuando la estación 1 está completamente ocupada como el resto de las estaciones, la estación 20 está esperando que se monte el arnés; por lo que reduce un 13% de su capacidad en cada ciclo de montaje.

Se realizó una corrida de 35 réplicas, para conocer el comportamiento futuro de los defectos tras la implantación y se obtuvo un total de 2343 arneses producidos, con una media de defectos, de las 35 semanas simuladas, tras la implantación, de 146 piezas defectuosas, frente al comportamiento de la línea antes de implementar mejoras con una media de defectos de 178 piezas defectuosas sobre 2343 producidas, se determinó un porcentaje de reducción de defectos del 17,98% con la simulación.

Elemento de sujeción para conectores. El presente dibujo (Figura 12) se refiere a un elemento que se propuso colocar en el borde del accesorio; para evitar que el operador no fije los conectores en el accesorio al enrutar. Una contribución que evita en gran medida los defectos de: rama de longitud corta y rama de longitud larga. Este elemento tiene un tornillo que funciona como un eje central y permite al operador fijar y soltar el conector cuando sea necesario.

Figura 12
Elemento con eje central para fijar los conectores en el accesorio.

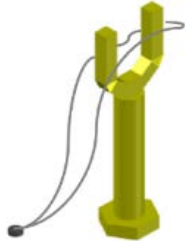


Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Este aporte beneficia significativamente al mantenedor de los componentes mencionados en la luminaria y no afecta a las zonas posteriores al área de enrutamiento, así como, facilita al operador una vez fijado el extremo del módulo para continuar enrutando todo el módulo.

Liga para mantener las ramas dentro de la bifurcación. El presente dibujo es el diseño del responsable del proyecto y hace referencia a una banda que se propuso colocar en la horquilla (Figura 13), de manera que las ramas de los módulos no se queden fuera de la horquilla al realizar el enrutamiento y se provoque una rama final corta o larga. También se agrega un tornillo que funciona como un soporte de correa en la placa de ensamblaje.

Figura 13
Liga propuesta para mantener las ramas dentro de la bifurcación.

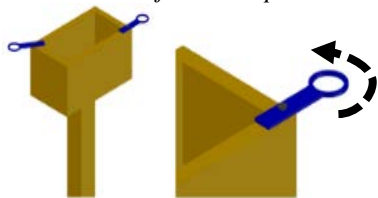


Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Aquellas horquillas en las que se detectó que debido a las variantes del arnés la mala práctica de cables en el exterior incluso cuando el operador hacía bien el enrutamiento, era imprescindible proponer este enlace que los cables de la horquilla se aseguraran y mantuvieran y evitar defectos en las longitudes del ramal.

Pestaña con eje central. Este dibujo es el propio diseño del jefe de proyecto y se refiere a un elemento (Figura 14), que se propuso colocar en el borde del componente del producto, para evitar que el operador al realizar el enrutamiento deje fuera cables causando ramas cortas y / o largas.

Figura 14
Elemento con eje central para evitar cables en el exterior.



Nota: Elaboración propia con datos del proceso

Un elemento que se planteó como idea para impactar en la reducción de cables mal ensamblados, condición que es evidente tablero por tablero, este factor genera mayoritariamente tensiones y cables cortos en el ramal, que se reflejan en defectos principalmente.

Se cumplió el objetivo de la disminución de defectos en una línea de ensamble a través del trabajo conjunto del equipo de implementación con la selección y ejecución de las técnicas seleccionadas de Lean Manufacturing “los kits de herramientas Lean y Six-Sigma se utilizarán según sea necesario, y se implementarán los sistemas apropiados para impulsar la mejora” (Holt, 2019).

Referencias bibliográficas

- Abebe, A. (2021). Implementation of Kaizen 5S, MUDA, and PDCA for Productivity Improvement of Manufacturing Firms in Ethiopia: The Mediating Role of PDCA and Waste (Muda) Elimination between 5S and Productivity Improvement. Consultado en <http://hdl.handle.net/123456789/6810>
- Acharyaa, T (2011). Material Handling and Process Improvement Using Lean Manufacturing Principles. *International Journal of Industrial Engineering* 18 (7): 357–68. Consultado en <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=64305967&lang=es&site=ehost-live>.
- Acuña, O. (2004). Diagnóstico de la Implementación de Manufactura Esbelta en una Empresa de Arneses Eléctricos para la Industria Automotriz. Consultado en https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/572113/DocsTec_1798.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Brown, C. (2019). Why and how to employ the SIPOC model. *Journal of Business Continuity & Emergency Planning*, 12(3), 198–210. Consultado en <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=135613394&lang=es&site=ehost-live>.
- Cabrera, C. (2014). Entrenamiento continuo. En *Manual de Lean Manufacturing: TPS Americanizado*. (56-57). Editorial AOTS. Consultado en <https://www.coursehero.com/file/61475162/Manual-de-Lean-Manufacturing-TPS-Americanpdf/>
- Calero, L., Suastes, W. et al. (2017). Cadena de valor hexagonal general. *Boletín de valor hexagonal general. Boletín Científico INVESTIGIUM de la Escuela Superior de Tizayuca*. <https://doi.org/10.29057/est.v2i4.2150>
- Chick, G. (2016). Case Study: Strategic Cost Management : Lean Production at a Global Vehicle Manufacturer. Kogan Page. Consultado en <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=1335058&lang=es&site=ehost-live>
- Chien, H. (2015). Making formwork construction lean. *Journal of civil engineering and management* volume 21(4): 444–458 Recuperado de: https://www.researchgate.net/figure/Value-stream-map-for-current-formwork-construction-practices_fig2_277656174 doi:10.3846/13923730.2014.890655
- Díaz Muñoz, G.A., & Salazar Duque, D.A. (2021). La calidad como herramienta estratégica para la gestión empresarial. *Podium*, 39,19–36. doi:10.31095/podium.2021.39.2
- Domingo, R. T. (2015). Identifying and eliminating the seven wastes or muda. *Asian Institute of Management, godina nepoznata*, 1–4. <https://rtdonline.com/BMA/MM/SevenWastes.pdf>
- Durán J., Ruiz, E., Espinoza, A., García A., Andrade, P., Aguilar, J., & Ruiz, J. (2019). Automatización del Proceso de Aplicación de PA-5 en Troquelado de Terminales Críticas. *Revista De Investigación Académica Sin Frontera: División De Ciencias Económicas Y Sociales*, (31), 27. <https://doi.org/10.46589/rdiasf.v0i31.269>
- Esparza, B.A (2016) Diseño del sistema de gestión de calidad (sgc) basado en la norma iso 9001:2008 para preparar la certificación de una empresa de electrificaciones de baja y media tensión Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Celaya 2016 Elibro Online con ISSN 1946-5351, Consultado en: <https://static1.squarespace.com/static/55564587e4b0d1d3fb1eda6b/t/600f4848182ead00c0bb5c8c/1611614288448/Memorias+del+Congreso+Celaya+2016++Tomo+10.pdf>
- Fairris, D. and Tohyama, H., "Productive efficiency and the lean production system in Japan and the United States," *Economic and Industrial Democracy*, vol. 23, pp. 529-554, 2002. Recuperado de: <https://library.fes.de/libalt/journals/swetsfulltext/15872778.pdf>
- García, R. (2006). Estudio del trabajo Ingeniería de métodos y medición del trabajo. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Grzelczak A, Lewandowska, K. (2016) Eliminating Muda (Waste) in Lean Management by Working Time Standardization. *Arabian J Bus Manag Review* 6: 216. doi:10.4172/2223-5833.1000216
- Hernández, J. & Vizán, A. (2013). *Lean Manufacturing*. Madrid: Fundación EOI. Recuperado de : <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/78202/lean-manufacturing-concepto-tecnicas-e-implantacion>

- Holt, P. (2019). *Leading with Lean : An Experience-Based Guide to Leading a Lean Transformation*. Management Impact Publishing. Consultado en <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=2453404&lang=es&site=ehost-live>.
- Lewis, P., & Cooke, G. (2013). Developing a lean measurement system to enhance process improvement. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 4(3), 145-151. Consultado en: <https://www.metrology-journal.org/articles/ijmqe/pdf/2013/03/ijmqe130058.pdf>
- Lima, A. (2016). ¿Cómo realizar una matriz de competencias? Abril 24, 2020 de ISOTools excellence Recuperado de: <https://www.isotools.org/2016/11/02/realizar-una-matriz-competencias/>
- Martínez López, P. (2016). *Herramientas para la mejora de la calidad en Madrid España: Fundación Confemetal*. <https://qualitasbiblo.files.wordpress.com/2013/01/libro-herramientas-para-la-mejora-de-la-calidad-curso-unit.pdf>
- Martínez Martínez, A. (2021). Implementation of Lean Manufacturing through the Reconstruction of its Trajectory: An Experience of an Auto Parts Company in Mexico. *Análisis Económico*, 36(93), 99–118. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2021v36n93/>
- Martínez, M.A y Morales, J. (2022). Lean Six Sigma para la mejora de procesos. Universidad Miguel Hernández 2022. <https://editorial.umh.es/2022/01/13/lean-seis-sigma-para-la-mejora-de-procesos/>
- Okpala, C. C. (2014). Tackling muda the inherent wastes in manufacturing processes. *Int J Adv Engg Tech/Vol. V/Issue IV/Oct.-Dec*, 6, 11. Consultado en: <https://www.technicaljournalonline.com/ijeat/VOL%20V/IJAET%20VOL%20V%20ISSUE%20IV%20%20OCTBER%20DECEMBER%202014/Vol%20V%20Issue%20IV%20Article%202.pdf>
- Ospina, W. (2022). Importancia sobre el desarrollo del talento humano basado en competencias. Universidad cooperativa de Colombia Recuperado de: <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/7da6fb88-ea9e-4a6d-9398-d177525bc365/content>
- Protzman, C. Whiton, F. et al (2016). *The Lean Practitioner's Field Book : Proven, Practical, Profitable and Powerful Techniques for Making Lean Really Work*. Productivity Press.
- Páez Rojas, D. , & Rodríguez, J.. (2016) Cadenas productivas en la industria automotriz en la región centro-bajío de México. *Jóvenes de la ciencia*, 4(1), 1352 -1355. Recuperado de: <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2449>
- Pérez-Rave, J., Cortés-Zapata, S., & Restrepo-Rico, D. A. (2015). Micro-world of “The airplane of the muda”: A systemic approach to Lean. *Ingeniería Industrial*, 36(3), 238–252.
- Pieńkowski, M. (2014). Waste measurement techniques for lean companies. *International Journal of Lean Thinking*, 5(1), 9-24. Consultado en <https://pdf4pro.com/amp/view/waste-measurement-techniques-for-lean-20611b.html>
- Salazar, B. (2020) Lección de un punto (LUP – OPL). *Ingeniería Industrial online.com* Recuperado de: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-y-control-de-calidad/leccion-de-un-punto-lup-opl/>
- Siddiqui, A. (2021). Comparing the Workplace Organization Method 5s with the 7 Wastes (Muda) in Waste and Failure Management Tool, in the Health Care Quality Management. *Biomed J Sci & Tech Res*, 40(1), 31825-31831. DOI: 10.26717/BJSTR.2021.40.006387
- Simboli, A., Taddeo, R. and Morgante, A. (2014). "Value and Wastes in Manufacturing. An Overview and a New Perspective Based on Eco-Efficiency" *Administrative Sciences* 4, no. 3: 173-191. <https://doi.org/10.3390/admsci4030173>
- Tejeda, A. S. (2011). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia y sociedad*. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/870/87019757005.pdf>
- Stephens, M. (2019). *Manufacturing Facilities Design & Material Handling : Sixth Edition: Vol. Sixth edition*. Purdue University Press. <https://industri.fatek.unpatti.ac.id/wp-content/uploads/2019/03/140-Manufacturing-Facilities-Design-Material-Handling-Matthew-P.-Stephens-Fred-E.-Meyer-Edisi-5-2013.pdf>
- Suárez, A, & Novau, A. (2020). *Estrategia y operaciones esbeltas: Vol. Primera edición*. Editorial Digital del Tecnológico de Monterrey. Consultado en <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=2766949&lang=es&site=ehost-live>
- The New Lean Pocket Guide: Tools for the Elimination of Waste! (2007). MCS Media, Inc. Recuperado de <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=441005&lang=es&site=ehost-live>
- Tofan, C. A., & Balteanu, A. M. (2022). Study on the Application of Kanban Methods in a Production Flow. *Review of Management & Economic Engineering*, 21(3), 198–207. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=159586703&lang=es&site=ehost-live>.