



Reduction of Defects in the Assembly Line of an Automotive Electrical Harness Company with the Application of Lean Manufacturing Tools

Beatriz Adriana Esparza, Fernando Ricárdez, Karen Elena Marquez and Isaías Emmanuel Garduño

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

October 3, 2022

Reducción de defectos en la línea de montaje de una empresa de arneses eléctricos automotrices con la aplicación de herramientas de manufactura esbelta

Beatriz Adriana Esparza Ramírez, Fernando Ricárdez
Rueda, Karen Elena Márquez Ochoa
Departamento de Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y
Henríquez
Lagos de Moreno, Jalisco. México.
beatriz.esparza@lagos.tecmm.edu.mx

Isaías Emmanuel Garduño Olvera
Cátedras CONACYT-CIATEQ A.C.,
San Luis Potosí, México.

Resumen—El propósito de este proyecto es reducir los defectos de calidad de la línea de montaje que forma el arnés específico del cliente (5) (17), el estado actual de la línea de producción se determina con herramientas de análisis Lean (2) (6): diagrama CTQ (parámetros Críticos de Estándares de Calidad), diagrama SIPOC (Supplier Inputs Process Outputs Customers) y VSM (gráfico de flujo de valor), que, junto con las métricas del proceso, muestran una condición real del estado de la línea. Procedemos a analizar la causa raíz de los defectos y en base a los resultados; se determinan las técnicas aplicadas para resolver las causas que generan los defectos. La forma Lean de resolver los defectos incluye las siguientes herramientas: Andon (LUP), Instrucciones de Trabajo, Matriz de Habilidades, Andon (Dashboard), Desarrollo de Talento para formación práctica y Poka Yoke con sensores de contacto para más enrutamiento. visual. El número promedio de defectos de calidad antes de las mejoras fue de 178 y con la implementación de las herramientas lean (2) (3) fue de 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—Línea de montaje de arneses automotrices, Defectos de calidad, Herramientas lean manufacturing, Poka Yoke, Andon.

I. INTRODUCCIÓN

La empresa que sirve como unidad de estudio es de origen alemán que opera en el sector automotriz creada ya que, en 1958, fue en 2007 cuando se inauguró la Planta Eléctrica 1, luego en 2009 y a mayor tamaño se inauguró la Planta Eléctrica 2, también en el municipio de Lagos de Moreno Jalisco en México, teniendo a BMW como su principal cliente.

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 BMW. La línea MAIN integra el arnés principal y este es un conjunto de módulos (montaje de cables y componentes) que se enrutan en la placa de montaje, misma placa a través de fijaciones y horquillas principalmente, uniendo las conexiones terminales y colocación de los componentes antes de ser pegados y formando el arnés en su totalidad.

Este proyecto muestra el desarrollo de una estrategia para reducir los defectos de calidad de la línea de montaje que forma el arnés específico del cliente, a través de la aplicación de herramientas de lean manufacturing (5) (1).

En primera instancia, el proyecto define el alcance y el equipo de trabajo. A continuación, se define el estado actual de la línea a través de herramientas de análisis para determinar las métricas del proceso que sirven para localizar numéricamente el panorama actual de defectos de calidad de la línea y medir su evolución al final del proyecto (1).

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. su declive (5).

Se implementan las herramientas de lean manufacturing que permiten la reducción de defectos con la mejora del proceso, se evalúan las soluciones que se desarrollaron, con el fin de compilar los resultados de la implementación de las mejoras y finalmente, hacer una evaluación estadística y financiera del proceso (9).

II. EXPERIMENTACIÓN

"Se utilizan más de 30 herramientas Lean en el horario regular del entorno de producción. Cada tipo de organización utiliza un tipo particular de herramienta lean para un problema particular para lograr una producción (3) óptima".

Mapeo de procesos SIPOC (Supplier 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 así la relación y relevancia de cada elemento dentro de esta cadena de valor.

Proveedores: 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. "La palabra Toyota Kanban un método de producción que tiene trabajo en progreso tirado hacia adelante sólo cuando la próxima estación está lista para ello (8)".

- **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.

Output (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.

Cliente: Es la persona a la que se envía el resultado final y que debe estar satisfecha con la calidad del producto.

- **KSK para BMW,** casado con el arnés de audio y listo para montar en su estratégico embalaje de mochila de tres capas.

Árbol CTQ (Crítico para la calidad)

A través de un árbol de características críticas de calidad, se identificaron los puntos que sirvieron de punto de partida en el estado actual de la línea a través de los diferentes indicadores cuantitativos internos.

El árbol CTQ presenta las características medibles clave del arnés y qué 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 (4).

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

1ª 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 (7).

Mapa de flujo de valor

El VSM (detalle de información confidencial) Figura 1, por sus siglas en inglés o value stream map se desarrolló una herramienta para entender el proceso e identificar todo lo generado como residuo dentro de la actividad de montaje de la línea (6) (18).

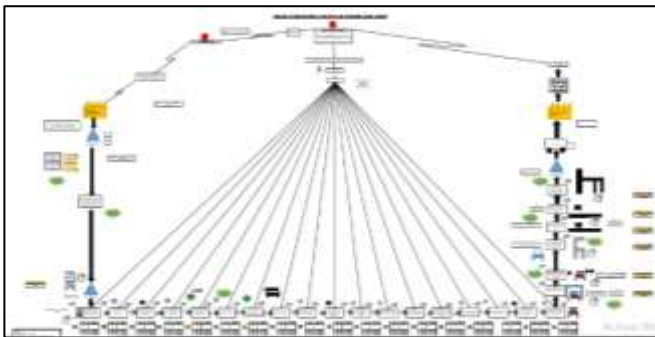


FIG 1: MAPEO DE FLUJO DE VALOR DEL PROCESO DE LA LÍNEA DE ENSAMBLAJE.

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.

Calcula el takt time Table 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	6.315789474	6.470342523

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 (7).

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 2), se interpretó lo siguiente: la línea azul que representa el tiempo takt o en otras palabras, 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.

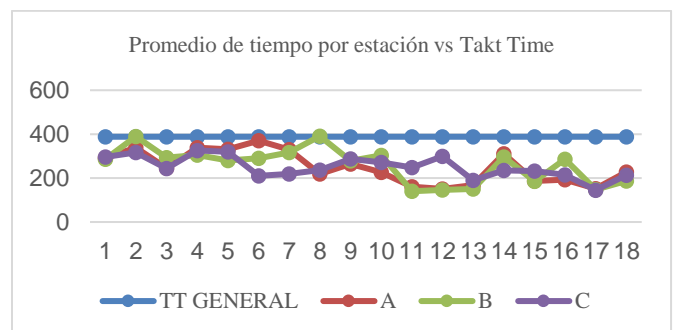


FIG 2: TIEMPOS PROMEDIO POR TURNO VS. EL TAKT TIME

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 retraso dentro de la línea.

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 3), 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

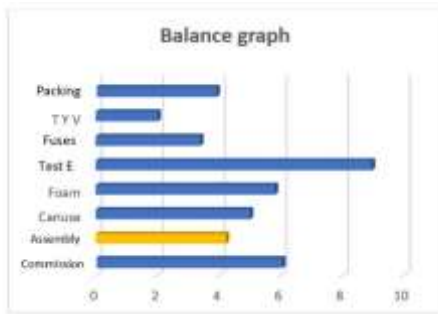


FIG 3: GRÁFICO DE CAPACIDAD DEL SISTEMA.

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 residuos 7+1 (inventario, movimientos, espera, transporte, sobreproducción, y subprocesamiento, defectos y talento no utilizado) son el último par de defectos, a los que se hizo mayor alusión en este proyecto (20).

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 (13).

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	

Se entiende entonces, que las herramientas de manufactura esbelta anteriores (11) 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 4) se refiere a la aplicación de la herramienta LUP (One Point Lesson) 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 (19).

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 due to lack of fit and direction of the component	

FIG. 4: LUP PARA CONFIGURAR COMPONENTES DE ENRUTAMIENTO EN LA PLACA DE LA LÍNEA DE MONTAJE

La implementación de la herramienta LUP (10) (14) 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 (11) 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 5), 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 (12).

WORKING INSTRUCTION OF GOOD ROUTING PRACTICES	
EXAMPLE	INSTRUCTION
	Place all connectors in the fixtures. Once the connector is placed in the fixture make sure it is fixed.
	Comb the wires that go in the nest component. Making sure you follow the correct routing according to the dashboard's guide lines.
	Adjust all the components in the fixture. Above all, in the fixture.
	Use each and every component to route the branch. No component as the branch passes should be omitted.

FIG. 5: INSTRUCCIÓN DE TRABAJO PARA BUENAS PRÁCTICAS DE ENRUTAMIENTO.

La instrucción de trabajo es una herramienta que proponía una contribución significativa en la reducción de defectos de rama de largo y corto tramo (14), 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.

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, 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 9), 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.

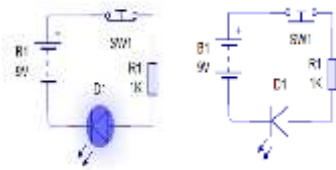


FIG 9: CIRCUITO PARA EL DESARROLLO DEL DISPOSITIVO POKA YOKE WARNING.

En la placa de montaje (Figura 10), 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.

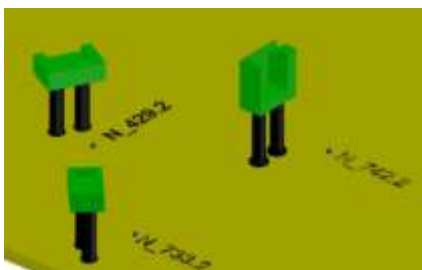


FIG 10: VISTA DEL DISPOSITIVO POKA YOKE EN LA PLACA DE MONTAJE.

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 (18) 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.

III. RESULTADOS

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 Arnese 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 BMW 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.

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, 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.

IV. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES INDUSTRIALES

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 tirada 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 (22).

Elemento de sujeción para conectores

El presente dibujo (Figura 11) 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.



FIG 11: ELEMENTO CON EJE CENTRAL PARA FIJAR LOS CONECTORES EN EL ACCESORIO.

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 12), 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.



FIG. 12: LIGA PROPUESTA PARA MANTENER LAS RAMAS DENTRO DE LA BIFURCACIÓN.

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 13), 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.

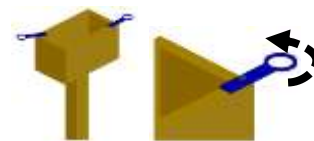


FIG 13: ELEMENTO CON EJE CENTRAL PARA EVITAR CABLES EN EL EXTERIOR.

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.

V. AGRADECIMIENTOS

Total agradecimiento al financiamiento de la Empresa de arneses eléctricos automotrices instalada en Lagos de Moreno, Jalisco, principalmente, al Gerente General por autorizar y apoyar mi trabajo de investigación a través de la vinculación Academia-Empresa y establecer un espacio para el desarrollo profesional de más de 20 alumnos de Licenciatura que han colaborado conmigo desde el 2016, también logrando en noviembre de 2017 el Premio Estatal “Galdón Manuel López Cotilla” al mejor proyecto de vinculación.

Gracias a los Gerentes de las áreas de corte y manufactura, a los Ingenieros de Proceso, a los Supervisores, Líderes y operadores, por sus valiosas aportaciones y apoyo en la implementación de la metodología y técnicas utilizadas en el proyecto.

VI. REFERENCIAS

1. Acuña, J. (2012). Control de calidad. Un enfoque integral y estadístico. Tecnológico de Costa Rica.
2. Acuña, Ó. (2004). Diagnóstico de la Implementación de Manufactura Esbelta en una Empresa de Arnese Eléctricos para la Industria Automotriz. Tecnológico de Monterrey.
3. Arunagiri, P., & Gnanavelbabu, A. (2014). Identification of high impact lean production tools in automobile industries using weighted average method, *Procedia Engineering*. *Procedia Engineering*.
4. Association, G. T. (2020). Obtenido de <http://blog.globaltrustassociation.org/es/el-arbol-ctq-critical-to-quality/>
5. Esparza, B. (2021). Reduction of the Scrap KPI in the Cutting Area of an Automotive Electrical Harness Company Using the Six Sigma DMAIC Methodology. Springer.
6. Cabrera, R. (2014). Manual de Lean Manufacturing TPS Americanizado. Obtenido de Academia: https://www.academia.edu/5205722/Manual_de_Lean_Manufacturing_TPS_Americanizado
7. Canive, T. (2019). Matriz de priorización de problemas.
8. Chappell, L. (2002). After 2 Missteps, McKechnie Makes Lean Methods Work. EBSCOhost.
9. Cuatrecasas, L. (2017). La gestión de la calidad y su mejora. Gestión 2000.com.
10. Díaz, E. (2015). La eficiencia técnica de la industria automotriz en México. *Revista Latinoamérica de Economía*.
11. Durán, 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>.
12. Hernández, J., & Vizán, A. (2013). Lean Manufacturing. EOI Escuela de Organización Industrial.
13. Imai, M. (2001). Kaizen, la clave de la ventaja competitiva japonesa. Compañía Editorial Continental.
14. Nuñez, E. (2008). Implementación de Estrategias de Manufactura para Mejorar la Productividad en el Ensamble de Interruptores Eléctricos para Motocicletas. Tecnológico de Monterrey.
15. Páez Rojas, D., & Rodríguez González, J. (2018). Cadenas productivas en la industria automotriz en la región centro-bajo de México. *Jóvenes de la ciencia. Jóvenes en la Ciencia*, vol 4 Núm 1.
16. Piña, R., & León, J. (2018). La adopción de la manufactura esbelta en Sonora. El caso de la industria maquiladora de nueva generación: Hermosillo, Guaymas y Empalme. En J. Egurrola, & R. Rózga Luter, *Agenda pública para el desarrollo regional, la metropolización y la sostenibilidad*.
17. Ricárdez, F. (2022). Design and Implementation of a Desktop Application for Personnel Consultation Centers, Information on Training, Labor Promotion and Transportation Routes, in an Automotive Electrical Harness Company. En J. García, *Algorithms and Computational Techniques Applied to Industry. Studies in Systems, Decision and Control*. Springer, Cham.
18. Rodríguez, L. (2017). Boletín Científico INVESTIGIUM de la Escuela Superior de Tizayuca. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
19. Salazar López, B. (2019). Ingeniería Industrial online.com. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-y-control-de-calidad/leccion-de-un-punto-lup-opl/>
20. Socconini, L. (2019). Lean Manufacturing paso a paso. Alfaomega.
21. Tejeda, A. (2011). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia República Dominicana*.
22. Triola, M. (2009). Estadística. México: Pearson Educación.