

## Reducción de piezas defectuosas en máquina de prensado de tablillas electrónicas aplicando herramientas de solución de problemas

César Enríquez<sup>1</sup>, Noé Alba Baena<sup>1</sup>, Javier Molina<sup>1</sup>, Jorge Flores Garay<sup>1</sup>, Karla Gabriela Gómez Bull<sup>1</sup>, René Ramón Martínez Arroyo<sup>1</sup>, Jesús Gonzalo Palacios Valerio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

### Resumen

Ante la apertura del mercado y globalización, las compañías necesitan mejorar y volverse más competitivas, eliminando desperdicios en todo el proceso de producción, volviendo el proceso más racionalizado, exacto y eficiente. El desperdicio, representado por partes rechazadas por el control de calidad es considerado uno de los grandes problemas en la industria, demostrando la ineficiencia del proceso. La solución de problemas de manufactura se traduce en incremento en productividad y ganancias, mejorando la calidad del producto, por lo que es del interés de las compañías emplear métodos que ayuden para este fin. El presente proyecto presenta un problema de calidad en manufactura, presente en una planta de electrónica automotriz, resuelto a partir del análisis y empleo de herramientas de solución de problemas, siguiendo el método de ingeniería. Herramientas como lluvia de ideas, visualizaciones o caricaturas, diagramas de flujo, diagramas de concentración, pareto, diagramas causa-efecto y cinco porque son empleados de manera sistemática y creando un ciclo de mejora continua PDCA. Al final se realiza una prueba estadística en la cual se comprueba la mejora del proceso de manufactura. El resultado del presente proyecto muestra la efectividad de las herramientas para diagnosticar correctamente el problema y sus causas.

**Palabras clave:** Reducción de defectos, análisis causa-efecto, análisis pareto, método de ingeniería, solución de problemas.

### Introducción

En el presente proyecto se trabaja en la solución de un problema de manufactura en una planta de electrónica automotriz en Ciudad Juárez que produce la unidad de control denominada ESP, siendo uno de los productos más importantes por su importancia en el vehículo y de alto costo de unidades de control electrónico. El problema

que presenta esta máquina se denomina “Tablilla electrónica sin prensar” la cual se presenta de dos maneras: el primer modo de falla aparece al descargar la tablilla sobre la carcasa plástica sin estar prensada, el segundo modo de falla se presenta al descargar la tablilla y la carcasa plástica de manera separada, véase la Figura 1. Las

fallas se presentan en la segunda estación de la máquina de prensado de tablillas. En la

Figura 2 se muestran las proporciones de defectos.

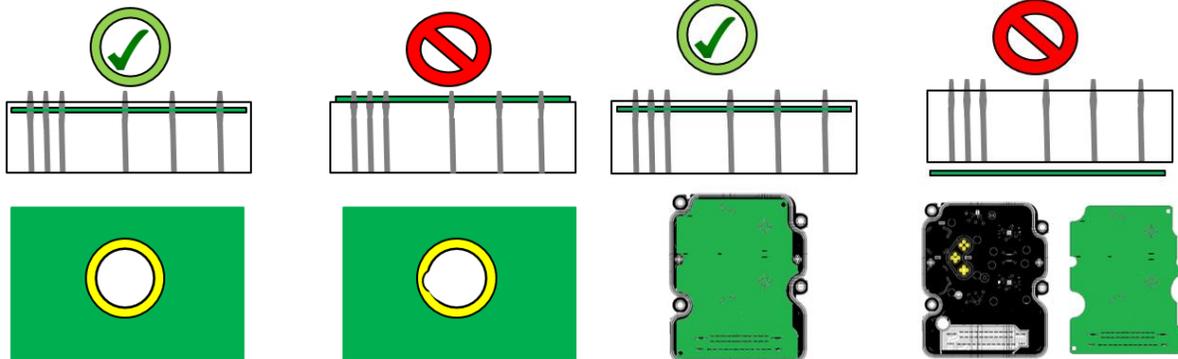


Figura 1. Defecto por colisión y por tablilla no tomada por “pick and place”

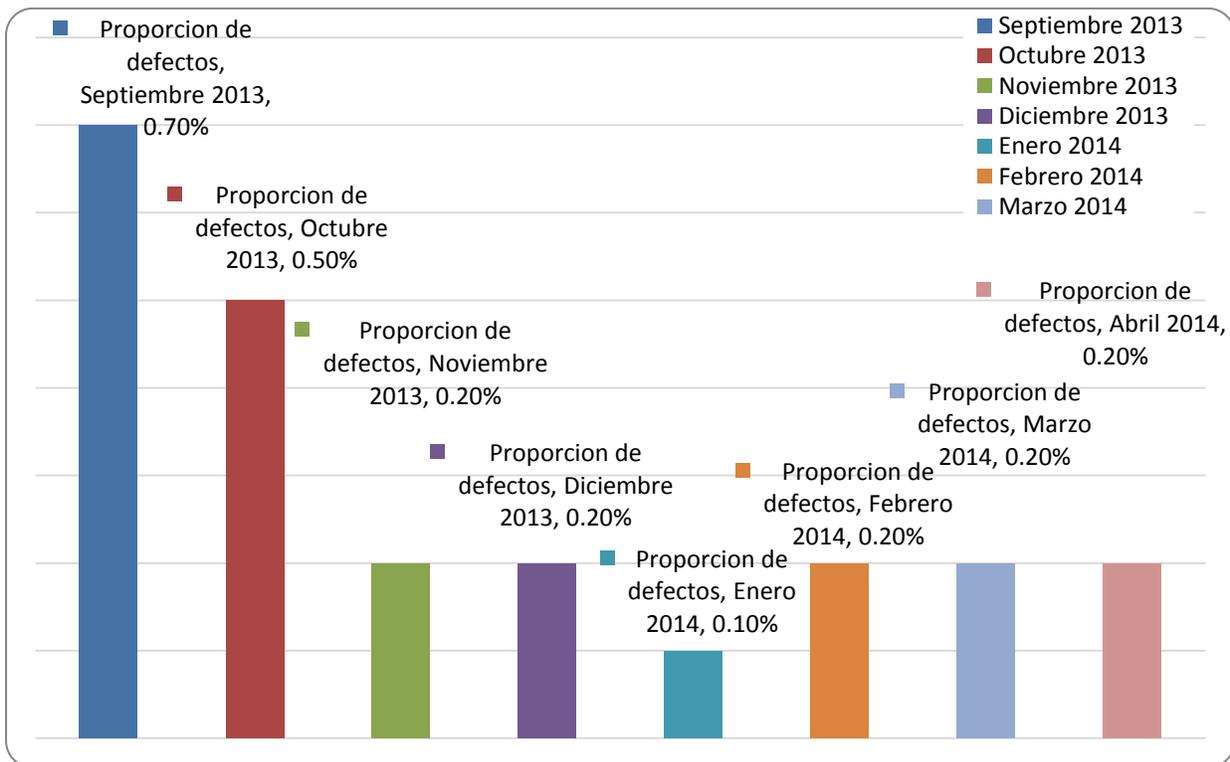


Figura 2 Situaciones de proporción de desperdicio

El objetivo del presente trabajo es la reducción de la proporción de defectos presentados mediante la aplicación de una metodología de solución de problemas que

involucre diversas herramientas de análisis. Se tiene como hipótesis a comprobar que la proporción de defectos después del proyecto es menor que antes de las mejoras.

## Marco Teórico

Existen algunos casos de estudio en los que diversas herramientas de solución de problemas son aplicadas para la reducción de defectos en un proceso de manufactura. Uno de los casos es la reducción de desperdicio en una fundidora de aluminio, utilizando herramientas de calidad (Oliveira Morais, Brejao, & de Oliveira, 2014).

En este trabajo se utiliza como herramientas de solución de problemas el diagrama causa-efecto de Ishikawa y lluvia de ideas. Indica que su metodología es de acción-investigación que es un método empírico basado en investigación social, donde los involucrados e investigadores trabajan en conjunto. Este proyecto se desarrolló el análisis de Febrero hasta Agosto de 2013, un periodo de seis meses, donde muestran alta proporción de desperdicio.

Durante el desarrollo del análisis se muestra el desarrollo de un diagrama de flujo para comprender el proceso, que sirvió para señalar en que parte de él se encuentra el problema. Luego se realiza un diagrama de concentración donde se muestrean piezas y se señala el área donde se concentra la mayoría de los defectos, se definió el problema mayor sin mostrar gráfica pero se indica que el problema principal abarca el 71% del desperdicio, se realizó el diagrama Ishikawa y se ponderaron las causas basados en una escala adaptada de FMEA cuarta edición, no se detallan las acciones correctivas a los problemas principales se menciona que se desarrollaron de Septiembre de 2013 a Enero 2014,

mostrando gráficamente la disminución de la proporción de desperdicio en ese periodo de tiempo, alcanzando un nivel aceptable.

Otro caso de estudio de aplicación de herramientas de solución de problemas es la desarrollada en un equipo en la industria de semi-conductores utilizando la metodología llamada “teoría de solución de problemas inventiva” (TRIZ) donde además después de implementar algunas de sus herramientas como contradicción de ingeniería y los 40 principios inventivos, se tuvieron que aplicar un enfoque avanzado llamado “Algoritmo de solución de problemas inventiva” (ARIZ) (Jin, & San, 2010). Iniciaron por comprender el problema describiéndolo y desarrollando un modelo de función, para luego utilizar un análisis de cadena de causa y efecto con el propósito de identificar la desventaja clave o la potencial causa raíz, aplican la herramienta de cinco porque, para ir encontrando desventajas, realizándolo hasta que no se tenga más respuesta. Al identificar la causa raíz principal se aplica las contradicciones de ingeniería donde se identifican los parámetros a mejorar y los parámetros que pueden empeorar y se decide qué solución elegir dentro de los 40 principios inventivos. Al final aplican la herramienta ARIZ donde se formula una idea final a implementar después del análisis del problema y su modelo, en este caso se resolvió el defecto de un eyector.

Otro caso de estudio se basó en PDCA para encontrar la causa raíz de la variación de una válvula de control hidráulica (Smith, 2001). Se integró un

equipo de trabajo, donde se utilizaron herramientas estadísticas para descubrir la causa raíz e implementar soluciones. Primero se definió el problema con un enunciado simple, luego se demostró la magnitud del problema por medio de un histograma que mostraba resultados de presión de esta válvula, se continuó con una lluvia de ideas y se identificaron causas como el proceso de calibración, el diseño del orificio, diseño de cabezal, continuando con un árbol de solución. Luego se realizó un GR&R para el sistema de medición, se

realizó un intercambio de componentes entre una pieza mala y Buena, esto es una herramienta de Shainin Red X, donde se compara una pieza Buena identificada como BoB con una pieza mala identificada como WoW y se intercambian partes para identificar donde se encuentra el defecto. Se realizaron diseño de experimentos como un factorial completo y Taguchi controlando dimensiones de los componentes y así lograron resolver el problema conociendo la causa.

## Metodología

En el presente trabajo se tomó como base el método de ingeniería, con el cual se organiza una serie de pasos, tareas,

herramientas y métodos. A continuación en la Figura 3 se muestra el diagrama de flujo de la metodología utilizada.

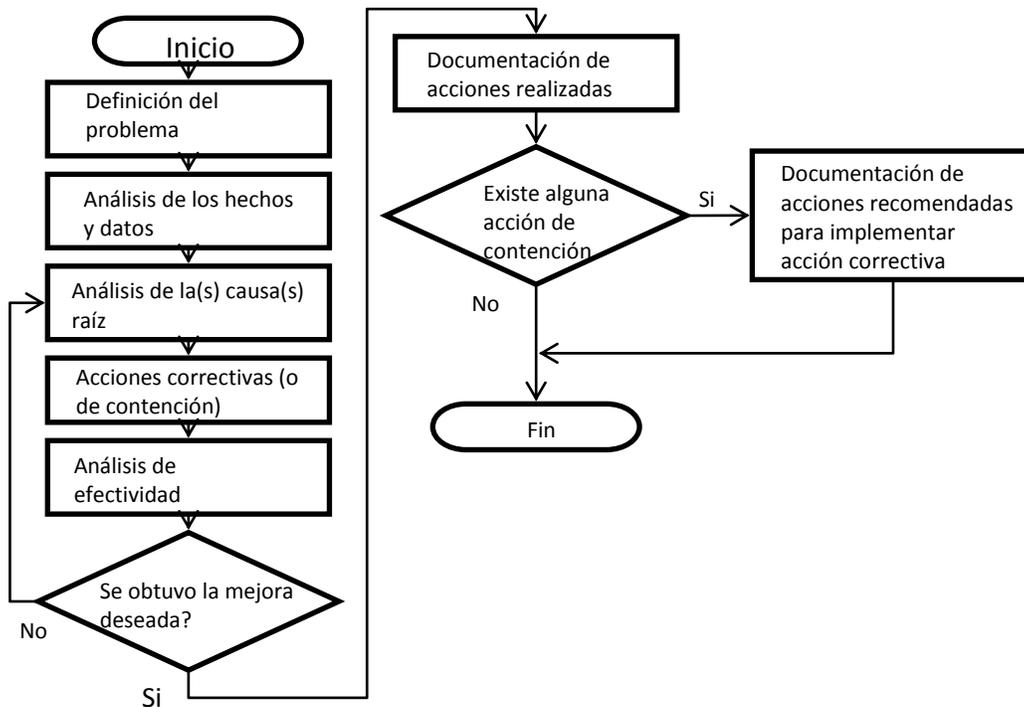


Figura 3. Diagrama de flujo de metodología

En cada uno de los pasos se utilizaron herramientas de definición y solución de problemas como visualizaciones o caricaturas, diagramas de flujo, pareto, diagramas de concentración y herramientas de análisis de causa raíz como lluvia de

ideas, diagramas causa-efecto y 5 porque. Cada acción correctiva fue validada monitoreando diariamente la proporción de defectos para, al final, realizar una prueba estadística donde se evalúa la mejora en el proceso.

## Resultados

Al observar una muestra de piezas defectuosas y observar que condición presentaban. Se observó que algunas de ellas tienen daños en los orificios de la tablilla, pero otras no tienen ningún daño y, sin embargo, fueron rechazadas por la máquina.

Comenzamos con el primer modo de falla, realizando una lluvia de ideas de las posibles causas para luego clasificarlas en un diagrama Ishikawa, tal como se indica en las Figura 4 y 5.

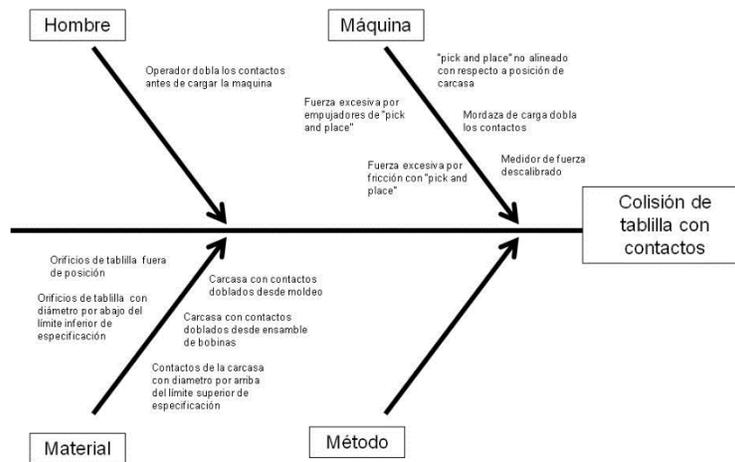


Figura 4. Diagrama Ishikawa de modo de falla "colisión de tablilla con contactos"

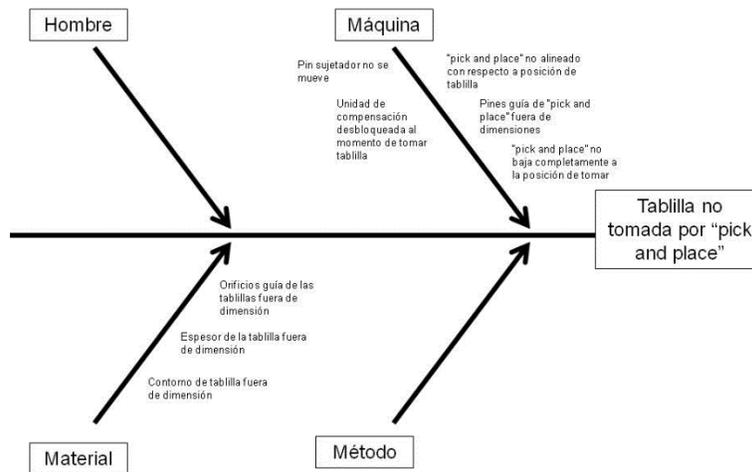


Figura 5. Diagrama Ishikawa de modo de falla “Tablilla no tomada por ‘pick and place’”.

Se observó que de alguna manera el sistema de medición detectaba fuerza de colisión cada ciclo, como se observa en la Figura 6.

Al revisar estas piezas, a pesar de que no eran rechazadas por el equipo se observaron daños en los orificios de la

tablilla. Al definir el modo de falla de colisión como defecto en la parte, se realizó un diagrama de concentración con el objetivo de encontrar alguna tendencia, observando que el defecto se concentraba en un contacto en específico perteneciente a una bobina, véase la Figura 7.

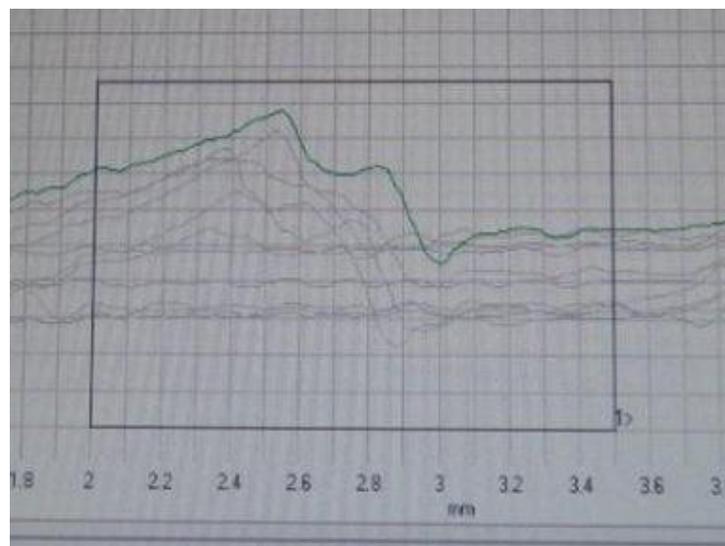


Figura 6. Detección de fuerza durante colocación de tablilla sobre carcasa

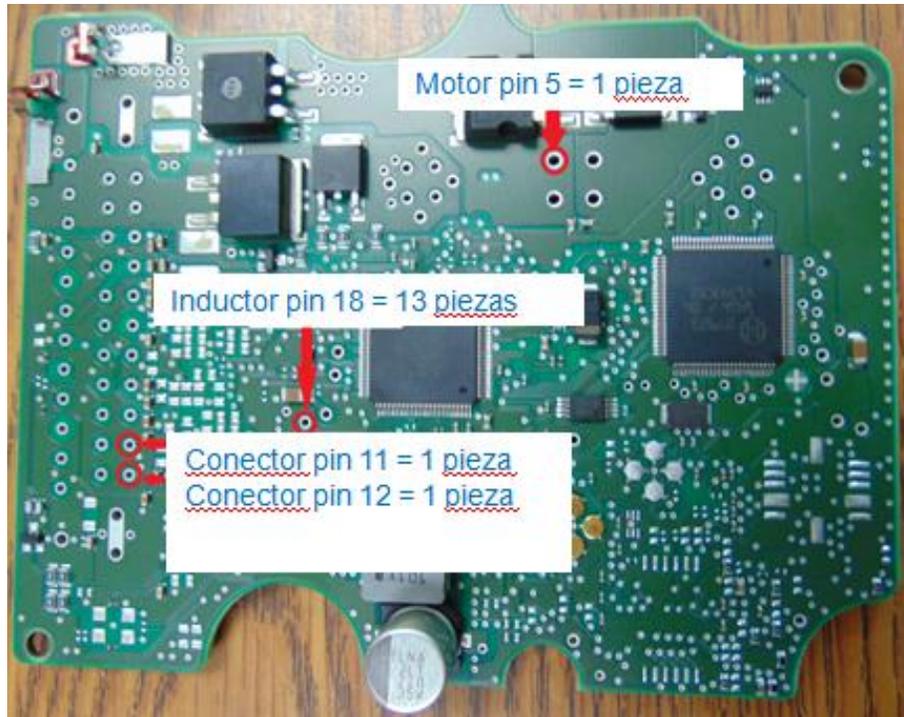


Figura 7. Diagrama de concentración para una muestra de 16 piezas defectuosas

En el análisis de causas existen dos que pueden crear este problema, que el pin 18 de las bobinas venga doblado desde su ensamble, el operador doble la terminal durante el manejo de material o que la mordaza de carga la doble.

Se comenzó por analizar en qué posición se encuentra ese contacto antes de ser tomado por el operador y la mordaza, justo después de ser ensambladas las bobinas. Para eso se tiene una máquina de prueba entre el ensamble de bobinas y prensado de tablillas que verifica que todos los contactos se encuentren dentro de un radio de 0.5mm respecto a su centro teórico. Esta máquina guarda un “log file” para cada

pieza que inspecciona en un archivo con extensión “.res”, el cual se puede abrir en la computadora con el programa “notepad”.

Para efectos de obtener la posición de los pines no era eficiente revisar uno a uno cada archivo y extraer los valores, por lo que se creó una macro en el programa “Access” el cual extrae la posición “x” y “y” de todos los contactos de cada archivo, seleccionando la ruta del folder donde guardemos todos los archivos de las piezas a analizar. Luego de correr la macro y graficar cada coordenada se obtuvo que el pin 18 en específico se encontraba muy alejado del centro teórico, pero dentro del límite de 0.5 mm, véase la Figura 8.

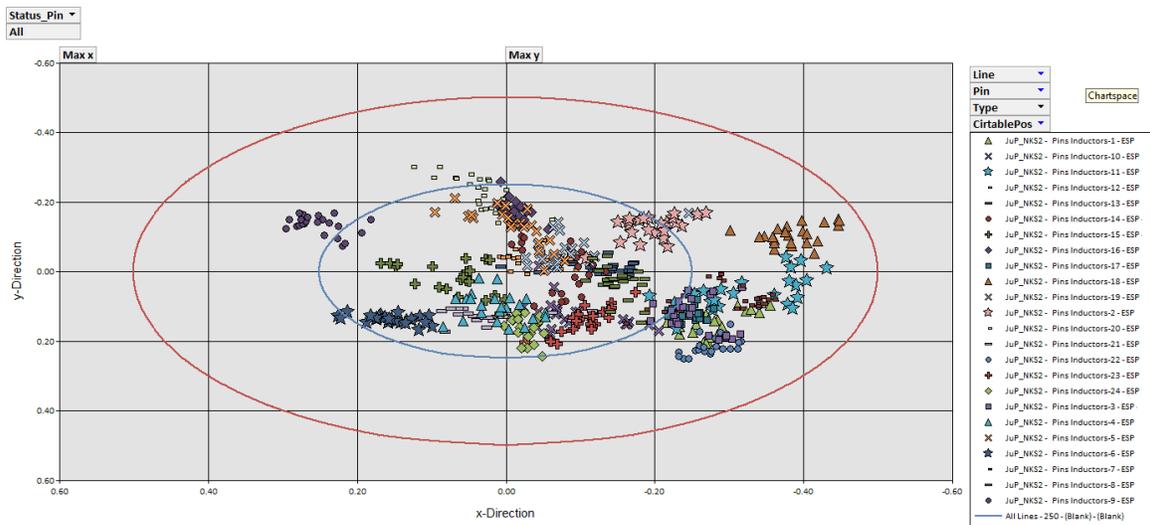


Figura 8. Gráfico de ubicación de contactos de bobinas

Se verificó alineación de máquina de ensamble de bobinas sin encontrarla fuera de posición. Para reducir esta desviación se determinó mover el nido de ensamble

0.2mm al sentido contrario de la inclinación del pin y observar la nueva ubicación, observando mejora en el pin 18, pero el pin 9 fuera de posición, véase la Figura 9.

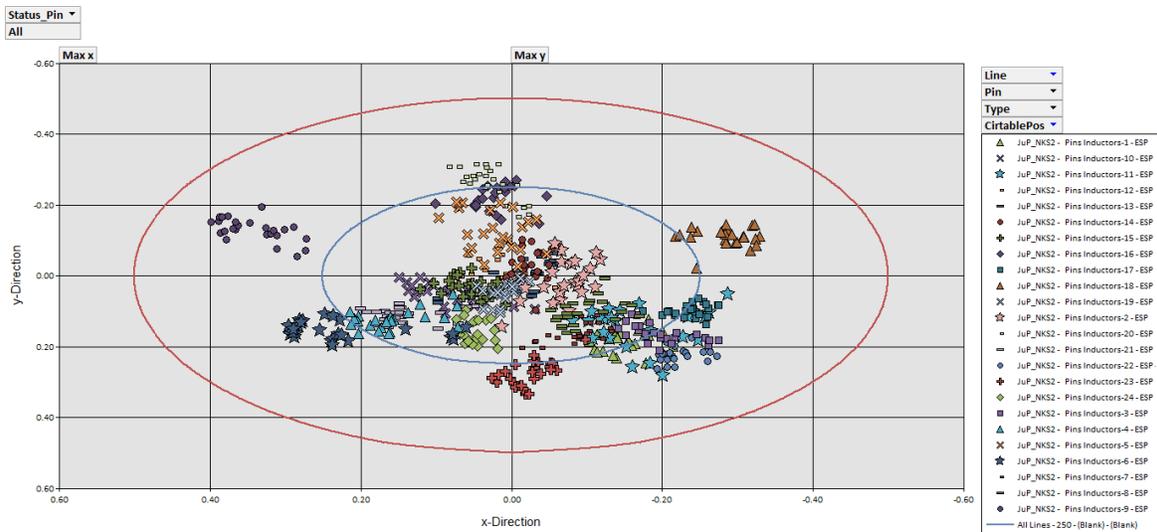


Figura 9. Posición de los contactos después del movimiento

Se realizó una prueba funcional en la máquina de prensado de tablilla y se observó que el comportamiento de la fuerza medida

mejora, véase la Figura 10, sin detectar fuerza alguna en estas condiciones.

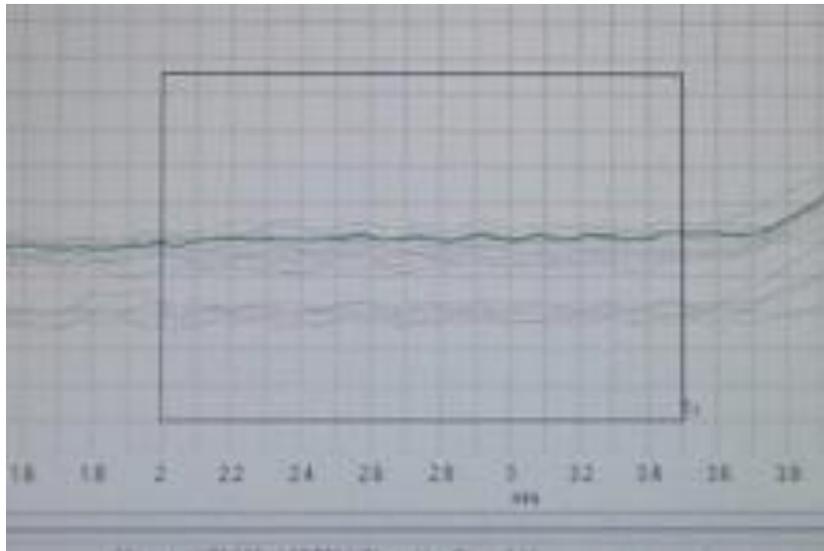


Figura 10. Medición de fuerza después del movimiento

Al observar la posición de los pines que se encuentran fuera de posición se decidió ver si la herramienta de prensado de bobinas se encuentra fuera de posición.

Al no contar con un equipo para realizarlo rápidamente, se decidió tomar una

fotografía a cada empujador y se sobrepuso el plano para observar si existía alguna desviación encontrando desviaciones en los empujadores de los contactos que se ven en las Figura 11 y 12 que no se encuentran centrados.

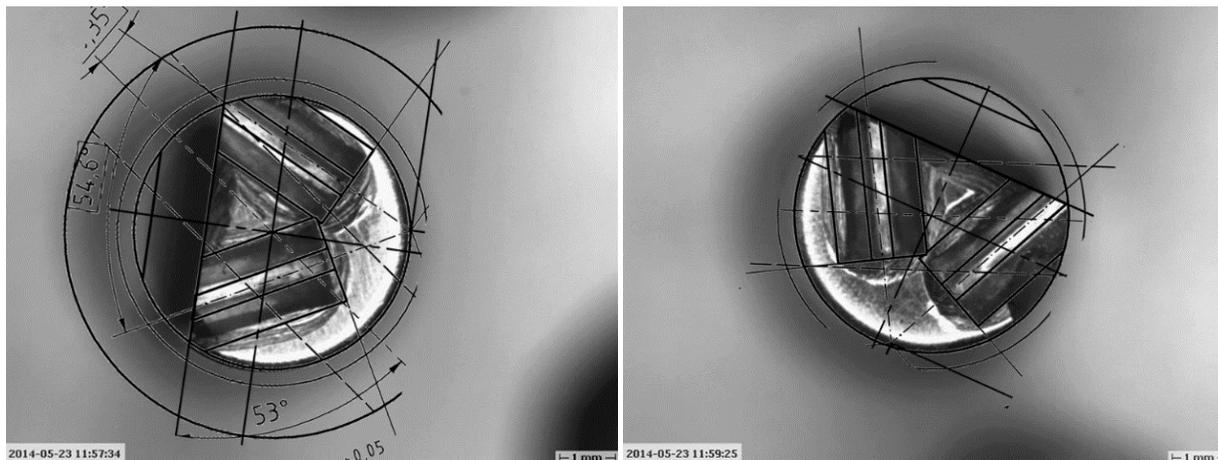


Figura 11. Fotografía del empujador 2 y 6 con plano sobrepuesto para observar desviación

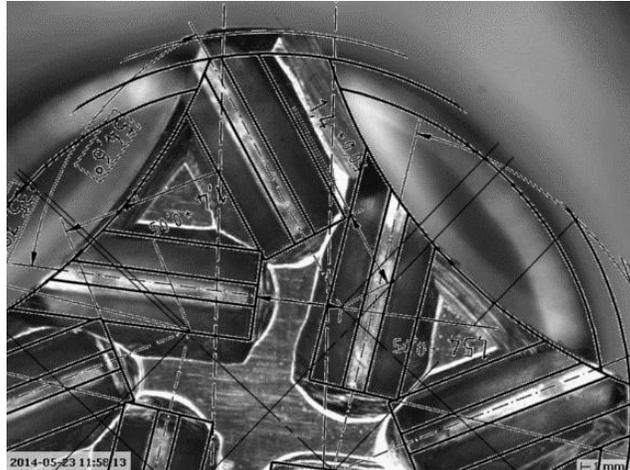


Figura 12. Fotografía del empujador 3 con plano sobrepuesto para observar desviación

Luego se analizó el problema de PCB no tomada por el pick and place. Para esto se revisó la alineación de los nidos con respecto al gripper, luego se realizaron pruebas para ver si el eje servoasistido llegaba siempre a la misma posición, detectando visualmente que no lo hacía, luego se abrió la transmisión para revisar sus componentes y se encontró la banda que mueve las poleas con serios daños lo cual causaba que deslizara y no permitiera alcanzar siempre su posición final. Esta banda se reemplazó y se tuvo que realizar un ajuste completo al equipo, alineándolo y grabando posiciones de toma de material y de colocación.

Al realizar esta alineación completa y continuar con la producción vimos un cambio enorme en la cantidad de piezas con este defecto. Por último se revisó el “pick and place” y sus componentes, encontrando uno de los pines guía desgastado. Para encontrar la causa del desgaste se observó el funcionamiento de la máquina y la interacción de ese pin con los demás componentes. Al observar el proceso se

detectó que este pin rosaba con la tablilla cada vez que esta era depositada, ya que no la liberaba si no que esta era empujada por unos empujadores utilizados para este fin. Se realizó un diagrama de flujo de cómo debía funcionar el proceso de toma y colocación de material y al compararlo con el programa del PLC se encontró que el paso de liberación de ese pin en específico se había omitido en la secuencia, lo cual se corrigió. También el pin gastado era una de las causas para que el “pick and place” no tomara la tablilla ya que algunas ocasiones la tablilla se deslizaba por el desgaste de este pin. El pin se reemplazó y se instaló un diseño mejorado, el cual es más largo y puede abarcar mejor el espesor de la tablilla. Al final de las implementaciones se dejó la máquina producir piezas para observar y validar que los cambios tienen efectividad.

Podemos ver que ambos problemas tienen un impacto positivo en la cantidad de piezas que se rechazan antes y después, en la Figura 13 se muestra el comportamiento cada mes.

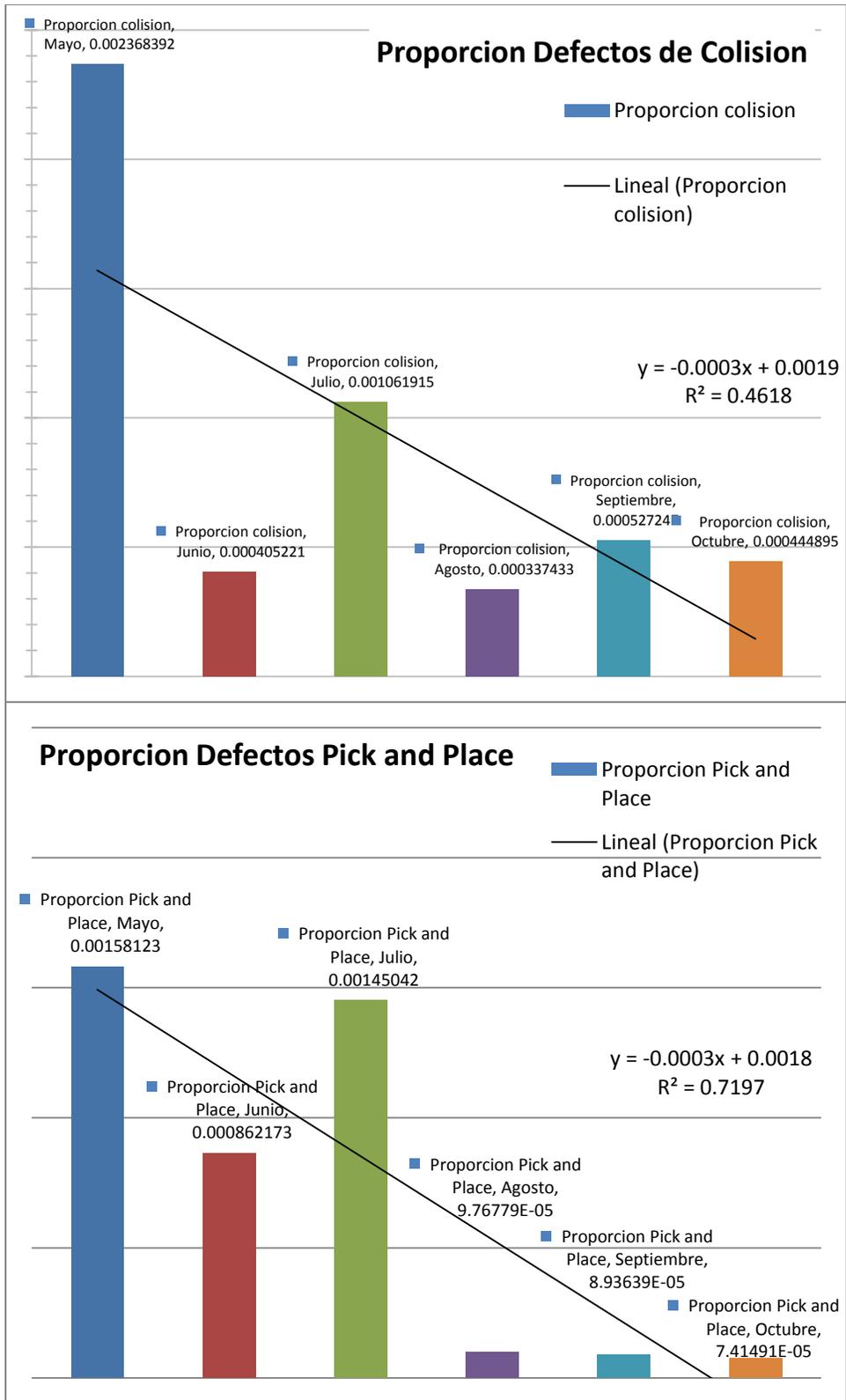


Figura 13. Tendencia de rechazos por colisión y “pick and place” mes a mes durante el proyecto

Se observa un cambio con reducciones de 66 % y 93 % en cada uno de los problemas.

Lo siguiente fue realizar la prueba estadística para comprobar que cumplimos con nuestro objetivo, realizando una prueba estadística para dos proporciones, para esto se obtuvieron los totales de producción y se

sacó la proporción de los defectos de los primeros tres meses: Mayo, Junio y Julio , y se compararon con los totales de producción y se sacó la proporción de defectos de los meses de validación de Agosto, Septiembre y Octubre, realizando la prueba con un nivel de confianza de 95 %, obteniendo el siguiente resultado.

Sample	X	N	Sample p	Difference = p (1) - p (2)
1	913	338029	0.002701	Estimate for difference: 0.00215454
2	189	345894	0.000546	95% lower bound for difference: 0.00199382
				Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 22.05 P-Value = 0.000
				Fisher's exact test: P-Value = 0.000

Con la proporción alcanzada en los últimos tres meses de validación el desperdicio tendría un costo de \$3375 dólares mensuales, que continuando con esa tendencia el costo sería de \$40500 dólares

al año, eso se traduce a un ahorro en comparación a las condiciones anteriores de \$121500 dólares en un año, una reducción en costo por defectos y proporción del 75%.

## Conclusiones y Recomendaciones

Durante el desarrollo del proyecto se tomó como base el método de ingeniería y al revisar la literatura existente se fueron incluyendo distintas técnicas de solución de problemas durante cada iteración. Se trató de descartar métodos numéricos y realizar mejoras e implementaciones basadas en los hechos. Cada uno de los problemas fue analizado con sus datos iniciales y monitoreado diariamente, observando la efectividad de las acciones en tiempo real. Al observar los resultados inmediatos de cada una de las herramientas y al momento de mezclarlas podemos concluir que de manera efectiva se excedieron las

expectativas esperadas. Los siguientes pasos sería incursionar en métodos estadísticos, como seis sigma, y continuar nuestro proceso de mejora y poder medir el cambio que se podría alcanzar con estos nuevos métodos partiendo del nivel alcanzado en este momento.

Durante la evaluación de la colisión de tablilla no se prestó atención a la variable medida por el sistema, el enfoque fue directamente en las piezas, por lo que se recomienda adaptar al sistema para guardar la variable y evaluarla, creando un análisis de datos continuos y buscar mejorar aún más los resultados. Los mecanismos observados

pueden mejorarse utilizando componentes libres de fricción y de desgaste. Una lección aprendida es la revisión de la alineación de ruedas dentadas en transmisiones que utilizan bandas, implementación de un programa de mantenimiento predictivo en este tipo de aplicaciones para la detección de estos defectos en etapas tempranas. Una de

las causas está enfocada al factor humano, por lo que un proyecto propuesto es desarrollar un método de manejo de material eficiente, para evitar que las personas puedan dañar el material durante su manejo y evitar defectos relacionados a esa causa identificada y evaluar su impacto.

## Referencias

Chaudhari, S.R., Yawale, V.A., & Dalu, R. C. (2004). Low Cost Approach to Manufacturing Problem Solving. *International Journal of Material Science and Engineering*, Vol. 2, No.1 June 2014.

Coletta, M., Ueliton, F., and Ferreira, T., "Problem Resolution Process," SAE Technical Paper 2010-36-0459, 2010, doi:10.4271/2010-36-0459.

Doggett, A. (2004). Selected Collaborative Problem-Solving Methods for Industry. Architectural and Manufacturing Sciences Faculty Publications. Western Kentucky University.

Jin, Y. T. San, Y. T.(2010) TRIZ: Application of Advanced Problem Solving Methodology (ARIZ) in Manufacturing 34th International Electronic Manufacturing Technology Conference.

Kosina, J. (2013) Quality Improvement Methods for Identification and Solving of large and complex problems. *Journal of Interdisciplinary Research* 03(01), 142-145.

Liebemann, E. K., Meder, K., Schuh, J., & Nenninger, G. (2004). Safety and performance enhancement: The Bosch electronic stability control (ESP). SAE Paper, 20004, 21-0060.

Mach, P., Guaqueta, J. (2001). Utilization of the Seven Ishikawa Tools (Old Tools) in the Six Sigma Strategy

Oliveira Morais, M., Brejao, A.S., de Oliveira Costa Neto, P. L. (2014) Application of Quality Tools for Process Improvement to Reduce Scrap in an Aluminum Smelter. APMS 2014, Part III, IFIP AICT 440, pp. 59-677.

Osma, A. and Sayginer, A., "An Assessment on Problem Solving Approaches in Automotive Industry: Illustrative Templates, Similarities and Differences," SAE Technical Paper 2010-01-0698, 2010, doi:10.4271/2010-01-0698.

Reif, K. (2014). Electronic stability program. In *Fundamentals of Automotive and Engine Technology* (pp. 194-201). Springer Fachmedien Wiesbaden.

Saad, N. M., Al-Ashaab, A., Shehab, E., & Maksimovic, M. (2013) A3 thinking approach to support problem solving in lean product and process development. In *Concurrent Engineering Approaches for Sustainable Product Development*. In *Multi-Disciplinary Environment* (pp. 871-882) Springer London.

Sferco, R., Page, Y., Le Coz, J. Y., & Fay, P. (2001, June). Potential effectiveness of electronic stability program (esp)-what European field studies tell us. In *Proceeding of 17 th ESV Conference* Amsterdam, The Netherlands.

Smith, G.M.(2001). Six Sigma Quality-PDCA Methodology. SAE Technical Paper 2010-01-1117.