
Reduccion de desperdicio en proceso de soldadura libre de plomo por el método de Shainin

Enrique Barrón López, Manuela Alejandra Zalapa Garibay, Ana Virginia Sapien Granados, Jesus Gonzalo Palacios Valerio

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RESUMEN

En una maquiladora de la rama automotriz se investigó durante el periodo de Marzo-Julio de 2012 los diferentes tipos de defecto de calidad en la soldadura libre de plomo que generaban altos porcentajes de desperdicio en tablillas electrónicas. Dicha investigación se realizó en la línea de producción del producto “piloto de estacionamiento” en la que se realiza el soldado del conector eléctrico a la tablilla mediante una maquina soldadora selectiva por boquillas. La selección de esta línea de producción fue en base a los datos históricos de la compañía, en los cuales se encontraron bajos porcentajes de desperdicio en procesos similares realizados en otras plantas. Se realizó un análisis del proceso por medio de la metodología Shainin auxiliado por algunas otras herramientas de uso cotidiano. Gracias a este análisis se estructuró una guía de posibles causas de problemas de calidad en este tipo de procesos de soldadura libre de plomo. De igual manera se encontró la solución a los altos porcentajes de desperdicio implementando mejoras en el equipo que resultó una inversión satisfactoria para la empresa ya que se lograron reducir drásticamente los números en desperdicio de tablillas beneficiando la calidad del producto y manteniendo firme la relación con los clientes ofreciendo un producto de calidad. Después de implementadas dichas mejoras se obtuvo un porcentaje de desperdicio en el mes de Octubre (2012) del 0.02% esto en relación a una producción de 85,834 tablillas de las cuales 21 fueron consideradas defectuosas, contrastando definitivamente con un objetivo inicial del 0.15% de desperdicio en tablillas.

Palabras clave: Plomo, Reducción de desperdicio, Metodología de Shainin.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se realizó en una empresa maquiladora ubicada en Ciudad Juárez, Chihuahua, dedica a la fabricación de productos electrónicos en la rama automotriz.

La empresa está representada por sus más de 350 subsidiarias y compañías regionales en unos 60 países. Si sus socios de ventas y servicios se incluyeran, entonces estaría representado en aproximadamente 150 países, siendo una empresa destacada por su amplia gama de

productos que comprenden desde electrodomésticos hasta sistemas de seguridad. Algunos de los productos que esta empresa, planta Ciudad Juárez ofrece en el mercado automotriz son: elevador para ventana; controles eléctricos para el uso de ventanillas; sensores activadores de las bolsas de aire de acuerdo al peso del pasajero, asistente de manejo; sensor de proximidad para facilitar el estacionamiento del automóvil, detectando cualquier objeto próximo a la defensa del coche, Piloto de estacionamiento; controlador electrónico para el

estacionamiento automático del automóvil, estos entre muchos otros productos.

Este proyecto está enfocado en el proceso de soldadura que se realiza en la fabricación del producto “piloto de estacionamiento”. En este proceso, que se lleva a cabo en una soldadora selectiva por boquillas, las terminales del conector eléctrico son soldadas a el PCB (Printed Circuit Board) utilizando soldadura SAC 305 (Sn-Ag-Cu) en barra, misma que se utiliza previamente en el proceso de refusión de SMD (Surface Mount Device) para soldar los componentes a el PCB, a excepción que en este proceso por refusión la presentación de la soldadura es en pasta.

SAC 305 es el nombre por el que se conoce comercialmente esta soldadura, debido a los compuestos que la conforman en mayor proporción; estaño (Sn) en un

96.5%, plata (Ag) en un 3% y cobre (Cu) en un 0.5% aproximadamente, ya que realmente contiene otros elementos en pequeñas proporciones, como lo son el Bismuto (Bi), Zinc (Zn), Oro (Au), Fierro (Fe), Cadmio (Cd), Arsénico (As), Antimonio (Sb), Níquel (Ni), Aluminio (Al), Indio (In), Sulfuro (S) y Plomo (Pb), dejando en claro que este último debe estar presente en una cantidad menor al 0.1% para poder considerar a esta soldadura libre de plomo.

El proceso de soldadura libre de plomo consiste en los siguientes pasos.

1) Los PCB's son colocados en pallets de 8 unidades, para que posteriormente el operador ensamble el conector a el PCB, como se puede ver en la figura 1



Fig. 1. Pallet de 8 unidades con PCB's y ensamble manual de conector a PBC's

2) El PCB es introducido a la maquina soldadora selectiva por medio de una banda transportadora como se puede ver en la figura 2.



Fig. 2. Pallet de 8 PCB's entrando a soldadora selectiva

3) El pallet es tomado por medio de un sujetador, que luego es trasladado por un robot hacia el depósito de flux para realizar la aplicación a las terminales del conector, en la siguiente fotografía (figura 3) del lado izquierdo (circulo color azul) se puede observar el depósito de flux y las brochas que se encargan de aplicarlo, al lado derecho (circulo color verde) se encuentra el sujetador que es movido por medio del robot.



Fig. 3. Contenedor para flux, brochas para aplicación de flux, y sujetador.

4) Una vez realizada la aplicación de flux a las terminales del conector, el pallet es transportado por medio del robot y sujetador al horno de precalentado, donde se le aplica una temperatura de 95°C a 130°C que lleva a cabo la activación del flux; químico que se encarga de limpiar las terminales del conector.

En la figura 4 es señalado en un circulo color naranja el robot y sujetador, mientras que en el circulo amarillo se indica el horno de precalentado.

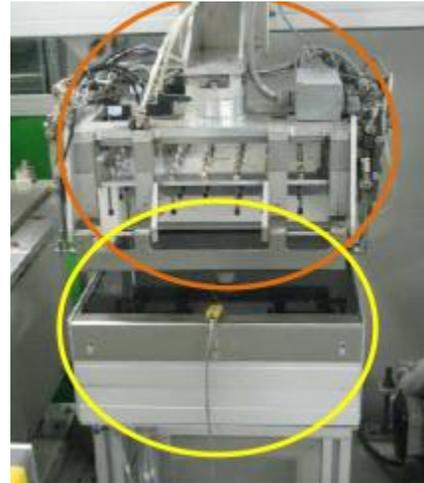


Fig. 4. PCB's tomados por el sujetador en el horno de precalentado.

5) Una vez que el PCB es sometido a la temperatura adecuada y el flux se encuentra activado, el robot y sujetador se encargan de mover el pallet con los PCB's a la siguiente fase que es la del soldado, en la figura 5 se muestra el contenedor de soldadura con las boquillas a donde es transportado el PCB para que posteriormente sean soldadas las terminales del conector a el PCB a una temperatura aproximada de 290°C a 310°C.



Fig. 5. Contenedor de soldadura con boquillas

6) Una vez que el proceso de soldado de las terminales del conector a el PCB se realizo con éxito, el robot y sujetador se encargan de mover el PCB a la banda transportadora de salida, una vez hecho el movimiento, el robot y sujetador regresan al inicio del proceso para tomar el siguiente pallet con PCB's. Es importante mencionar que la soldadora selectiva por boquillas es considerada una cámara ya que se encuentra cerrada y cargada de Nitrógeno, esto para crear un ambiente inerte durante el proceso, y evitar el contacto del oxígeno con la soldadura, eliminando así las posibilidades de oxidación de la misma durante el proceso.

7) Finalmente el pallet es expulsado de la soldadora selectiva por boquillas por medio de una banda transportadora, llegando hasta el operador donde se lleva a cabo una inspección visual (Figura No. 6) del PCB para detectar posibles defectos de soldadura.



Fig. 6. Inspección visual del PCB por parte del operador

El proceso de soldadura selectiva por boquillas explicado anteriormente en promedio suelda alrededor de 42,225 piezas de PCB's al mes. En la figura 7 se muestran dos fotografías donde se observa el antes y después de las terminales del conector al ser soldadas a el PCB.

Terminales de conector antes de ser soldadas



Terminales de conector después de ser soldadas



Fig. 7. PCB antes y después de ser soldado el conector a la tablilla

El proceso de soldado es solo una de las diferentes estaciones por las que se va fabricando el producto “piloto de estacionamiento”, a continuación se muestra en la Figura 8 una fotografía del producto terminado.



Fig. 8

El proyecto se enfoca en el proceso de soldadura libre de plomo

llevado a cabo en la fabricación del producto “piloto de estacionamiento”, ya que es ahí donde se detectaron los defectos de calidad.

A continuación se puede observar el diagrama de planta de la línea PP3 (Figura 9), en el cual se muestra el área y las distintas estaciones por donde se fabrica el producto “piloto de estacionamiento”, en la imagen se encuentra identificado el flujo del proceso con flechas color verde y la estación de soldadura selectiva en la cual se realizara el análisis de proceso se encuentra encerrada en color rojo

Por otro lado en la figura 10 se muestra un diagrama de flujo que describe paso a paso lo que se lleva a cabo en la estación de soldado libre de plomo.

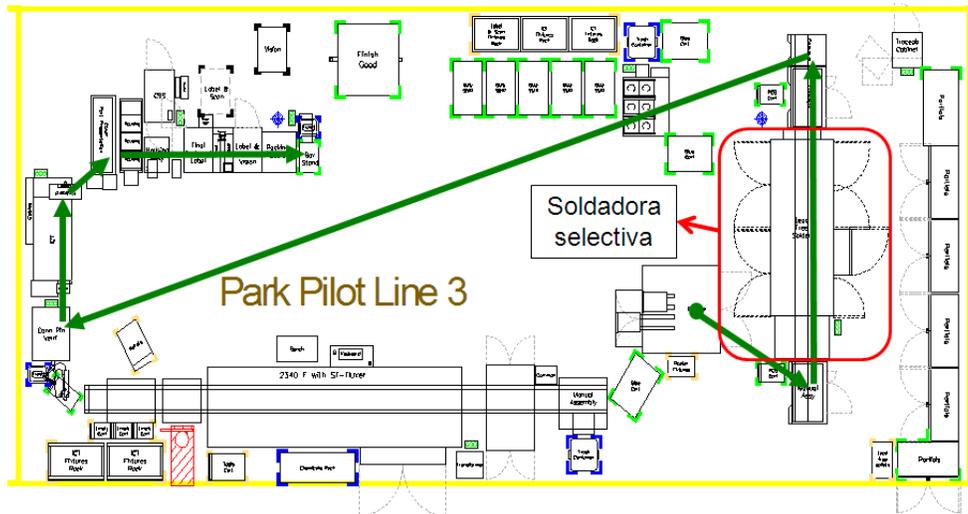


Fig. 9. Diagrama de planta de la línea PP3 libre de plomo

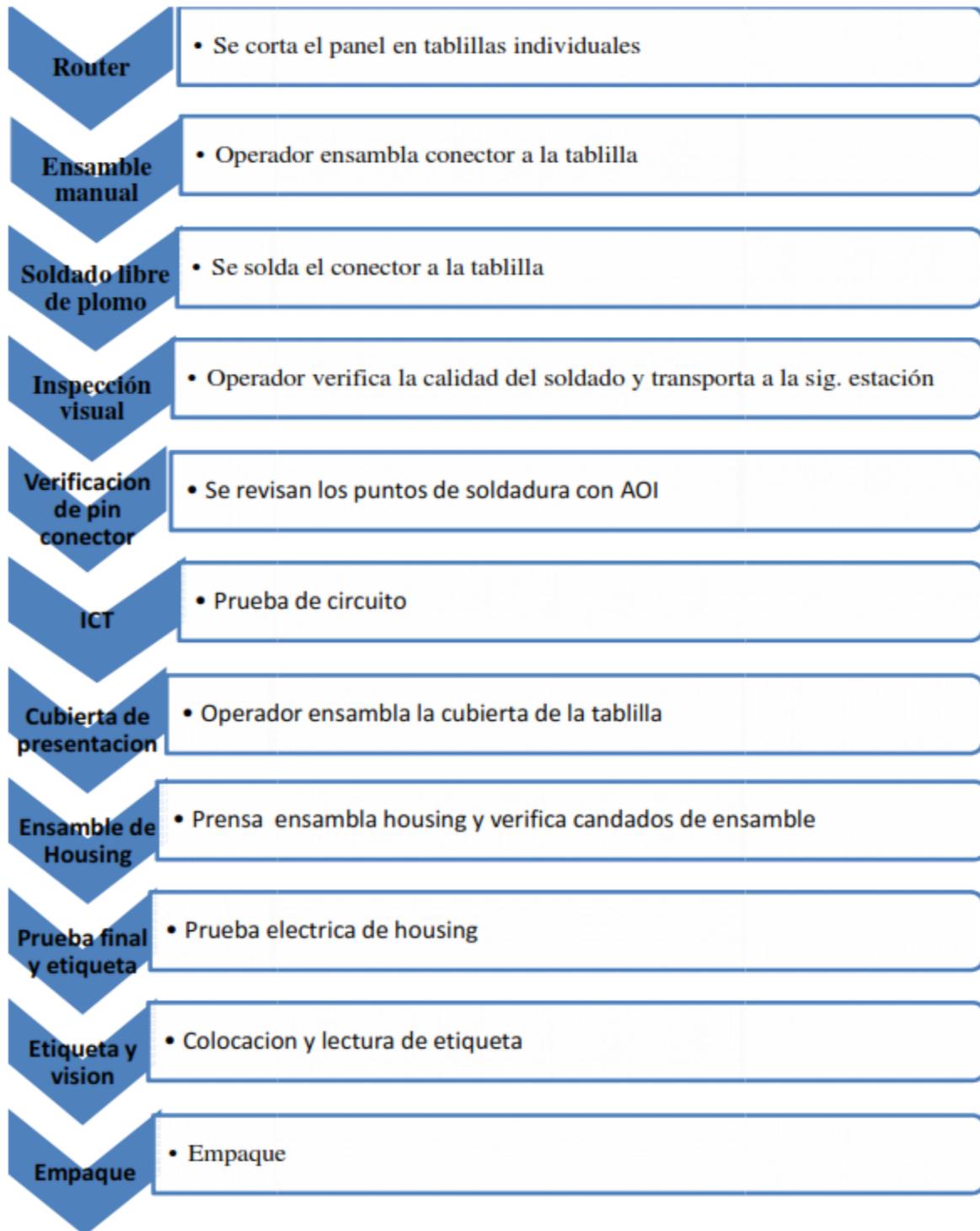


Fig. 10. Diagrama de flujo PP3 libre de plomo

El diagrama de flujo anterior da una panorámica del proceso que se realiza para construir una pieza de “piloto de estacionamiento”.

Para la realización de esta investigación se colectaron a diario datos de

problemas de calidad del proceso de soldadura libre de plomo, correspondientes al lapso de tiempo del mes de Marzo del 2012 al mes de Julio de 2012, en base a esto se construyó la gráfica de la figura 11

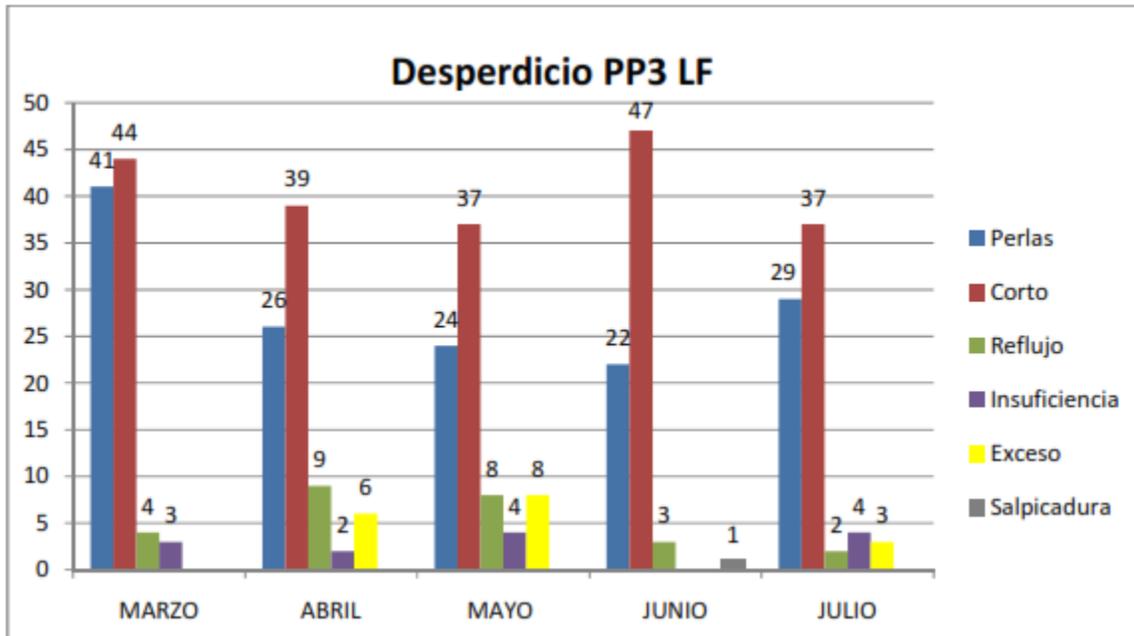


Fig. 11. Desperdicios en el proceso de soldadura libre de plomo

En esta gráfica se puede observar que la mayor incidencia de defectos son los cortos de soldadura seguido por perlas de soldadura.

Por medio de este proyecto se buscara la reducción o eliminación de desperdicio de PCB's por defectos de calidad y determinar la causa raíz por lo cual se están generando defectos en las tablillas electrónicas que representan un impacto económico para la empresa.

Documentar, el tipo de defectos que pueden presentarse durante el proceso de soldadura, así como sus

posibles causas, para tomarlos como referencia en la producción de la misma pieza, en producciones futuras.

MÉTODOS

En este capítulo se analizaran las fases y herramientas necesarias para llevar a cabo el análisis y solución del problema abordado.

Fases.

Durante el desarrollo del presente proyecto se llevaron a cabo distintas fases necesarias para obtener y estructurar la información referente al problema que se

analizó. En la figura No.36 se muestran las fases conforme se fueron realizando.

En el diagrama (Figura 12) se observan dos ramificaciones que surgen de la metodología y que finalmente se unen para concluir con la solución del problema, a continuación se explican cada una de las fases que conforman el diagrama:

Ramificación 1.

1. Identificar defectos de calidad. En esta fase es necesario identificar las características de los diferentes tipos de defectos de calidad que aparecen durante el proceso de soldadura libre de plomo.

2. Clasificar defectos por importancia. Todos los defectos de calidad son importantes ya que afectan en la rentabilidad del proceso y generan un costo por desperdicio, en esta etapa se cuantificaron los defectos y se clasificaron de acuerdo a la recurrencia dentro del proceso.

3. Posibles causas de los defectos de calidad. Es necesario cuestionar al personal involucrado en el proceso de soldadura libre de plomo para poder construir una lluvia de ideas que ayude a visualizar las posibles causas que están generando los defectos de calidad.

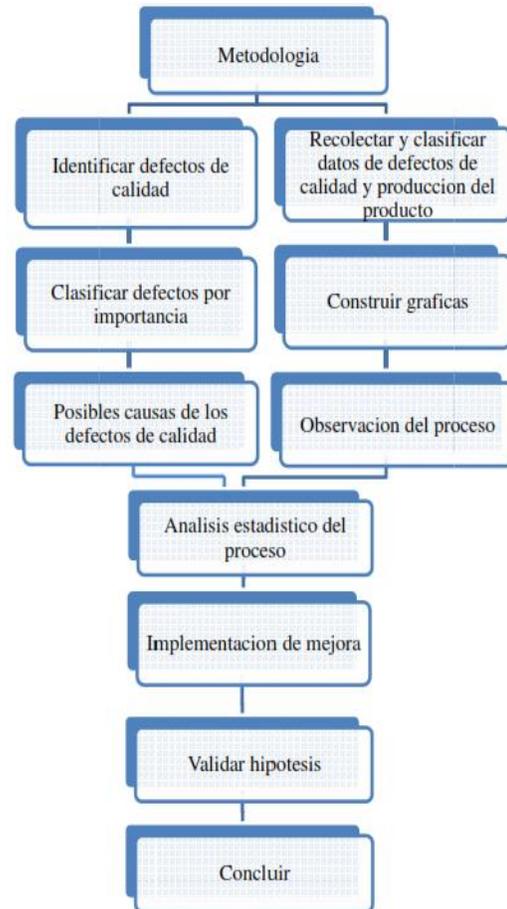


Fig. 12. Diagrama de fases

Ramificación 2.

1. Recolectar y clasificar datos de defectos de calidad y producción del producto. Durante esta fase se recolecto la información referente a los defectos de calidad del producto así como la producción que se tiene del mismo.

Esta información es capturada por el personal operativo en formatos de registro diario de calidad y de producción (figura 13). Posteriormente esta información es capturada en una base de datos de una

hoja de cálculo que utiliza el departamento de calidad como control interno.

FORMATO PARA MONITOREO DE CALIDAD EN PROCESO DE SOLDADURA PARK PILOT

1. FECHA: 11/05/17

2. TURNO: 2

3. MODELO: 603

4. Defectos por posición:

Cortes	C
Reflejo	R
Insuficiencia	I
exceso en otro	P
Exceso en Terminal	E
Otros	O
Tot	

5. Hora

6. Peticion #

7. Bahías

8. Observaciones

Formato para uso interno de TEF91.3

Fig. 13. Formato para monitoreo de calidad en proceso de soldadura

En la figura 13 se aprecia el formato para monitoreo de calidad en proceso de soldadura PP3 libre de plomo, en el cual se señalan los campos donde se registran datos que proporcionan información vital para el análisis del proceso, estos se encuentran señalados por círculos color verde y a su vez enumerados del uno al siete.

La descripción de lo que debe contener cada campo se explica a continuación de acuerdo a la numeración asignada:

1. Fecha. Se registra la fecha en la que se capturo la información.

2. Turno. En este campo se debe señalar con una cruz el turno laboral en el cual se está llevo a cabo la captura de la información. Este dato sirve para determinar si se tiene el problema en un determinado lapso del día.

3. Modelo. Se registra el modelo del producto que se produjo. Este dato sirve

para identificar si es recurrente el defecto de calidad en cierto modelo.

4. Defectos por posición. Aquí se señala la nomenclatura que se utiliza para señalar los defectos de calidad en el reporte, también se totalizan los defectos encontrados durante la producción.

5. Pallet. Cada uno de los pallets que se encuentran en producción tienen una numeración en el lado superior del pallet. En este campo se debe poner el número de pallet que se uso para la producción que se registro en el formato, esto facilita el identificar si el defecto de calidad es recurrente en cierto pallet de producción.

6. Posición #. En este parámetro se registra la posición en el pallet en la cual se presento el defecto de calidad; ayudando a identificar si el defecto es recurrente en una posición determinada y poder tomar la decisión de cancelarla evitando que se sigan presentando los defectos. En la figura 14 se muestra un pallet donde se señalan las ocho posiciones que lo conforman.

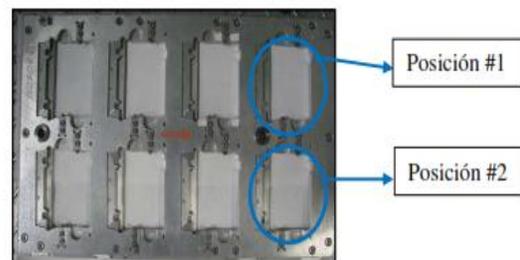


Fig. 14. Pallet de soldadura

7. Observaciones. Es necesario llevar anotaciones de lo que se realice durante la producción del pallet correspondiente, algunos ejemplos son; si se realizo limpieza de boquillas de soldadura, cancelación de

cavidades por problemas de la calidad en PCB, problemas con algún pallet etc.

8. Notas. En este espacio deben ir observaciones del equipo, como por ejemplo cambios en las coordenadas de soldadora, fallo de maquina entre otros.

Es necesario después de esto llevar a cabo una clasificación de la información, ya que en lo recabado se incluyen problemas de defectos de calidad de toda la línea de producción, es decir, incluye cualquier tipo de problema de calidad relacionado con el producto, ya sea de manejo de material, de equipo de producción, etc. La información solo debe estar enfocada al proceso en donde se presenta el problema por el cual se realiza el análisis. Esto se hace por medio de una hoja de cálculo para facilitar el proceso de clasificación y la selección de la información que será útil para la resolución del problema.

2. Construir gráficas. En esta fase se lleva a cabo la construcción de gráficas de barras para visualizar la tendencia del proceso en cuanto a las incidencias de los defectos de calidad y poder realizar una evaluación de las mismas, determinando la existencia de una variación en el proceso.

Es aquí donde se definen las magnitudes de las variaciones y que es en lo que más se ve afectado el proceso.

3. Observación del proceso. Es esencial observar el proceso y manejo de material detenidamente y a detalle, familiarizándose con el producto y el proceso visualizando las posibles causas o variables que hacen que aparezcan los defectos de calidad para poder encontrar el problema.

Unión de ramificaciones. Una vez realizadas las fases de las ramificación 1 a la par con las que conforman la ramificación 2, se lleva a cabo una fusión de la información recolectada para llevar a cabo las fases que conforman la ramificación 3, que se mencionan a continuación:

1. Análisis estadístico del proceso. En este paso se realiza el análisis de la información previamente recabada para obtener una solución técnica para la resolución del problema, esto se lleva a cabo mediante alguna de las herramientas de calidad con la que se pueda llevar a cabo un análisis del proceso tomando en cuenta las variables encontradas.

2. Implementación. Llevar a cabo la implementación de la solución técnica obtenida mediante el análisis estadístico del proceso, esto se realiza con la ayuda del personal técnico y equipo de trabajo.

3. Comprobar hipótesis. Una vez que se implemento la solución técnica se lleva a cabo la comprobación de la hipótesis, definiendo si fue(ron) correcta(s) la(s) hipótesis planteadas.

4. Concluir. Se presentan los resultados de la solución técnica implementada, haciendo una comparativa del antes y después, dejando claro la mejora que se logro en el proceso.

Materiales

Las herramientas y materiales esenciales durante el desarrollo de este proyecto son los siguientes:

1) Personal técnico. Aportación de posibles causas e ideas de mejora respecto a los problemas de calidad, se encargaron de

realizar las modificaciones necesarias en el equipo de soldadura.

2) Computadora. Herramienta esencial para la captura de información, realización de graficas, y redacción de documentos.

3) Hoja de cálculo. Por medio de esta se elaboraron graficas y se llevo a cabo la clasificación de la información de una forma práctica.

4) Lupa para inspección visual. Herramienta para realizar inspecciones visuales y análisis de mejora en uniones de soldadura.

5) Cámara fotográfica. Fue una herramienta fundamental para documentar los defectos de calidad en la soldadura, así como las mejoras en el proceso.

6) Herramientas mecánicas. Gracias a estar el personal técnico realizó las modificaciones necesarias en los equipos de soldadura.

7) Internet. Útil para la realización de la investigación previa al análisis del proceso, para aportar información acerca del problema a solucionar.

8) Metodología de Shainin. Necesaria para el análisis del proceso, ya que gracias a esta se llevo a la solución del problema planteado en el presente proyecto.

9) Hojas de máquina. Por medio de estas se realizo la impresión de historial de investigación.

10) Impresora. Impresión de historial de investigación.

11) Vernier. Herramienta para obtener medidas para cálculos en el análisis del proceso.

12) Linterna. Utilizada para obtener mejores vistas dentro del proceso de soldadura, en áreas en las cuales no había mucha visibilidad.

13) Microscopio. Análisis de soldadura de piezas defectuosas dentro del proceso, de igual manera para la toma de fotografías para evidencia de investigación.

14) DATA PAQ. Herramienta para la obtención de perfiles de temperatura esenciales para el análisis del proceso, así como para la solución final del presente proyecto.

RESULTADOS

Defectos encontrados

Los defectos encontrados dentro del proceso de soldadura libre de plomo de la soldadora selectiva por boquillas INERTEC, fueron de cinco tipos; cortos (Figura 15), insuficiencias (Figura 16), excesos/reflujos (Figura 17), perlas (Figura 18) y salpicaduras de soldadura (Figura 19).

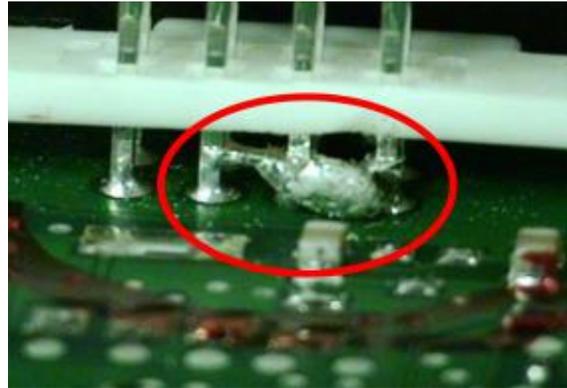
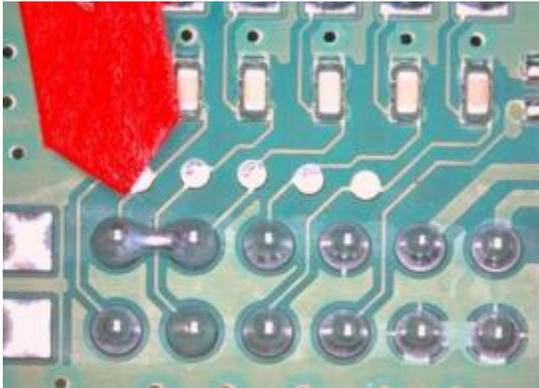


Fig. 15. Corto de soldadura en terminales de conector

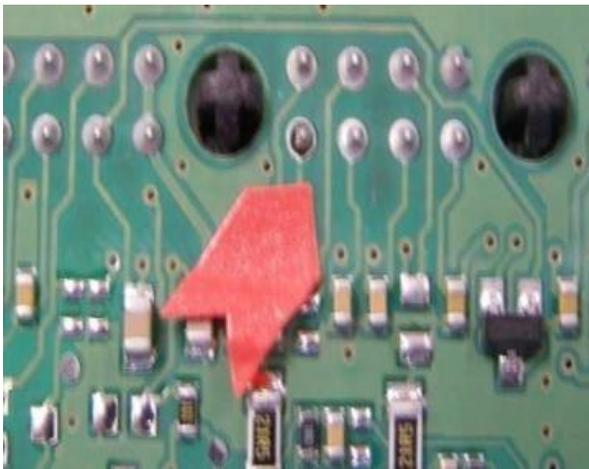


Fig. 16. Insuficiencia de soldadura en terminal de conector



Fig. 18. Perla de soldadura en PCB

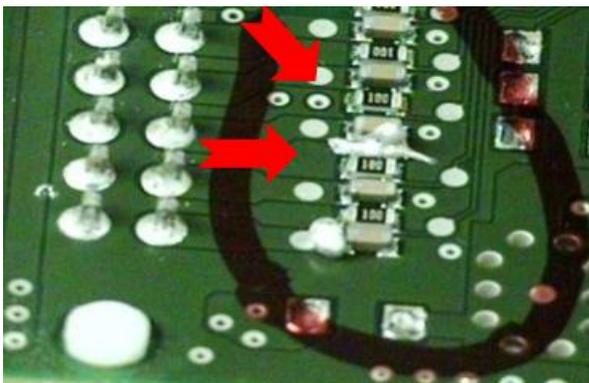


Fig. 17. Exceso/reflujo de soldadura en componentes de PCB

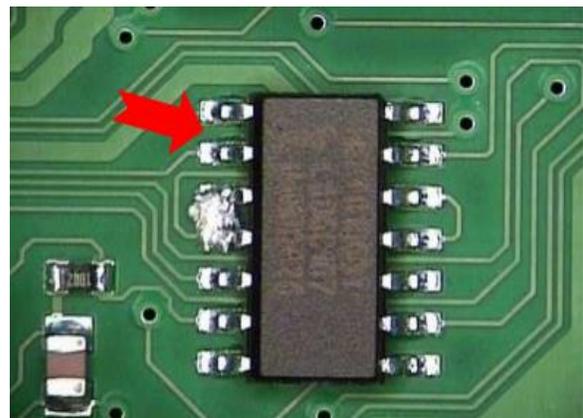


Fig. 19. Salpicadura de soldadura en PCB

Estos tipos de defectos fueron identificados algunos por el operador de soldadura que realizaba la inspección visual y algunos otros por la máquina AOI.

Se realizó una clasificación de acuerdo a la recurrencia, basándose en la figura 20 y quedando en el siguiente orden de aparición:

1. Cortos de soldadura
2. Perlas de soldadura
3. Exceso/reflujo de soldadura
4. Insuficiencias de soldadura
5. Salpicadura de soldadura.

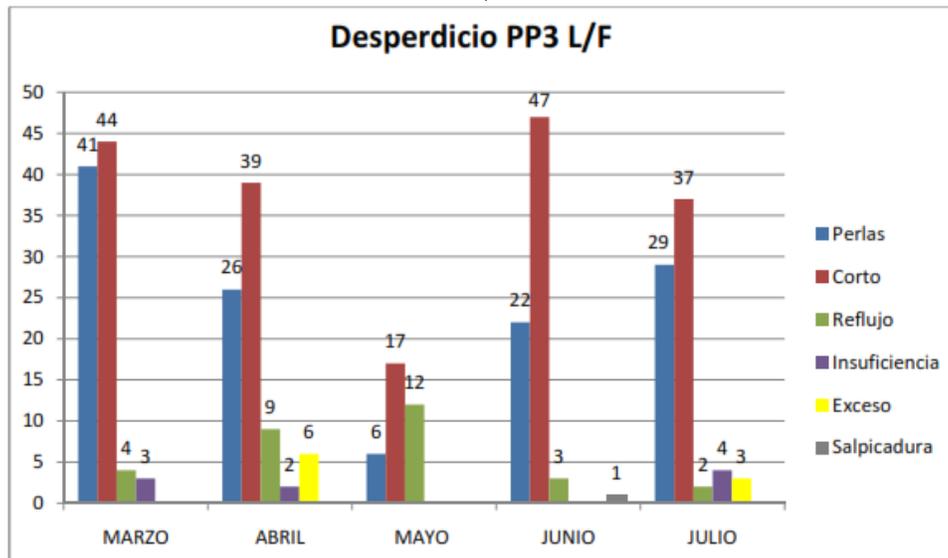


Fig. 20. Desperdicios en el proceso de soldadura libre de plomo

Todos los defectos tienen un impacto en los porcentajes de desperdicio de la empresa, es por eso que se tomaron en cuenta cada uno de ellos, empezando con el enfoque del defecto que se presentaba más a menudo hasta llegar al que se presentaba con poca frecuencia.

Posibles causas de los defectos de calidad

Se llevó a cabo una lluvia de ideas con la que se realizó una tabla (tabla 1) con las posibles causas que podrían haber estado generando los defectos de calidad.

Esta tabla se realizó gracias a las aportaciones del personal que conoce el

proceso de soldadura libre de plomo y que están involucrados en el mismo, así como a la observación del proceso para que finalmente se pudiera consolidar y generar una tabla de referencia.

En la tabla 1 antes mencionada se definieron los defectos encontrados con las posibles causas de aparición, divididas a su vez por los elementos que conforman el proceso; máquina, mano de obra, métodos, material y medio ambiente.

A la par se realizó la recolección y clasificación de datos de los defectos de calidad (figura 20) y de la producción del

producto “piloto de estacionamiento” (figura 21) en el periodo de Marzo-Julio de 2012, donde el enfoque fue únicamente al proceso de soldadura libre de plomo, quedando descartado cualquier tipo de defecto o producción que no fuera afín al proceso antes mencionado.

En la figura 21 se puede observar que la producción de esta línea muestra una tendencia de incremento, por lo que era necesario lograr el control de los defectos de calidad en este proceso para poder tener una producción estable y libre de problemas de calidad y que la alta demanda de los clientes no se viera afectada debido a estos problemas.

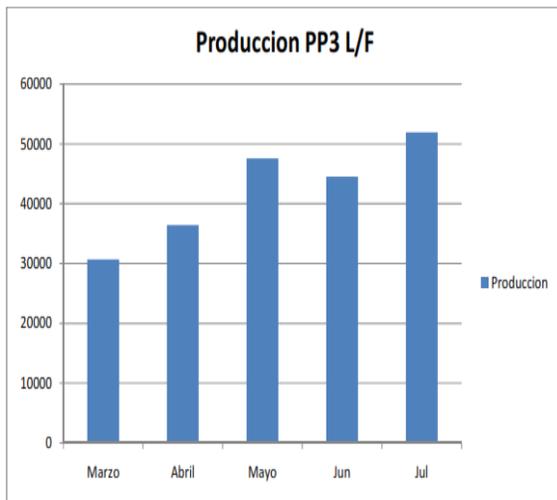


Fig. 21. Producción en la línea PP3 libre de plomo

Análisis de proceso

Se llevó a cabo un análisis de proceso por medio de la metodología Shainin. La razón por la cual se utilizó esta técnica y no otra para la resolución de problemas fue debido a la información y el tipo de problema, es decir, se presentaban

diferentes familias de defectos en el mismo proceso, así como una alta cantidad de posibles causas divididas en grupos (maquina, mano de obra, método, medio ambiente y material), es por esto que se decidió el uso de esta metodología, siendo importante mencionar que es una metodología activa ya que es necesario convivir con el proceso, es decir, estar en producción y verlo desde ahí, “desde el punto real”.

El análisis partió de identificar el mayor problema, basándose en la cantidad y recurrencia del mismo, en este caso se definieron los cortos de soldadura como el principal problema de calidad que debía atacarse para reducir el desperdicio, esto se decidió en base a la figura 20.

Después de tener identificado el mayor problema, se realizó un diagrama de árbol (figura 22), para poder trazar la ruta de análisis y llegar a la causa raíz. El corto de soldadura encabeza el diagrama antes mencionado, después, la primera decisión que se debía tomar, era si el defecto, corto de soldadura, se debía a una desviación del proceso o a una desviación de medición, es decir, si el defecto se atribuía al proceso, o a una medida de especificación que hacía que se rechazara la pieza, en este caso se atribuyó al proceso ya que el defecto era visible y detectable por el operador de soldadura que realiza la inspección visual.

Después de este nivel se verifico que el defecto se detectaba en ciertas cavidades (posiciones) del pallet, es decir, este era más recurrente en cierta sección del pallet de soldadura; en esta parte del análisis se investigo la mejor de las mejores cavidades, BOB por sus siglas en ingles (Best Of Best), es decir, en cual cavidad se presentaba el

menor número de defectos, al igual que la peor de las peores, WOW por sus siglas en ingles (Worst Of Worst), es decir, la cavidad en la cual se presentaba el mayor numero de defectos (Figura 23); este punto se

desarrollo gracias a la información que arrojó la captura diaria en el formato para monitoreo de calidad en proceso de soldadura (Figura 14).

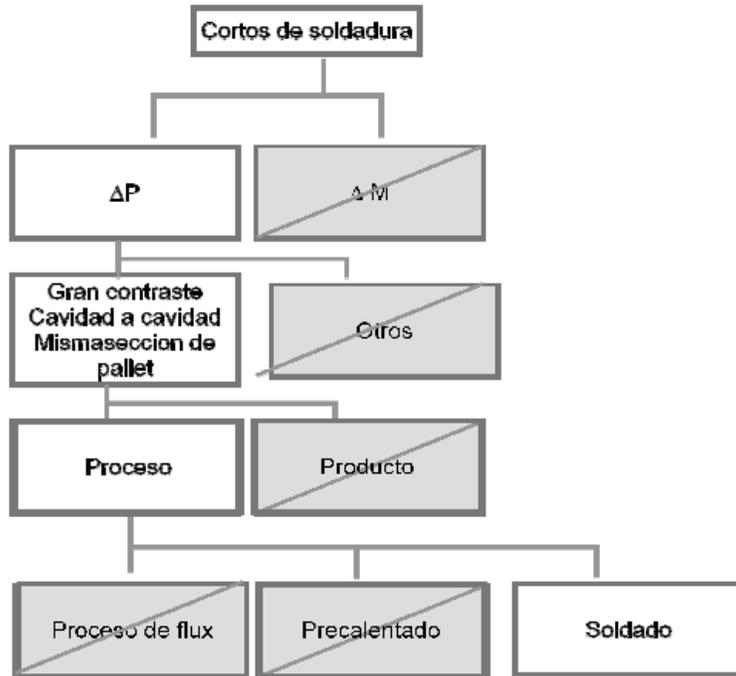


Fig. 22. Diagrama de árbol

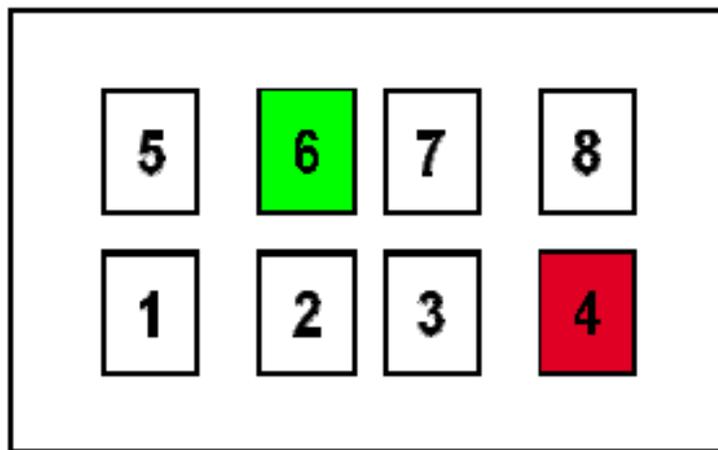


Fig. 23. Cavidad 4 WOW y cavidad 6 BOB

Tabla 1. Posibles causas de los defectos de calidad

Defectos	Posibles causas				
	Maquina (soldadora selectiva INERTEC)	Mano de obra (operador de soldadura)	Material	Método	Medio ambiente
Corto de soldadura	Aplicación de flux Coordenadas fuera de posición Velocidades de bajada en eje Z para posición de soldado Nivelación y alineación de gripper Baja temperatura de soldadura Temperatura de precalentado Tiempo de precalentado muy largo Altura de boquillas de soldadura Tiempo de soldado	Falta de entrenamiento Setup mal ejecutado Mantenimientos preventivos Tablilla mal asentada en pallet	Densidad de flux Tablilla contaminada Tablilla caducada (6 meses en SWIP) Boquillas de soldadura fuera de especificaciones Boquillas de flux fuera de especificaciones Mascara de soldado (solder mask PCB) Componentes contaminados Pin de componente demasiado largo	Perfil de temperatura Diseño del pallet Receta de soldadura no adecuada Verificación de setup Procedimiento de limpieza de boquillas de soldadura	Humedad Oxidación
Perlas de soldadura	Largo tiempo de precalentado Exceso de flux Alineación de boquillas respecto a terminales de PCB Baja temperatura de precalentado	Falta de entrenamiento Setup mal ejecutado Mantenimientos preventivos	Boquillas de soldadura Boquillas de flux Densidad de flux Tablilla contaminada Mascara de soldado (solder mask PCB) Estañado de boquillas de soldadura	Perfil de temperatura Diseño del pallet Verificación de setup Procedimiento de limpieza de boquillas de soldadura	Humedad Oxidación
Exceso/reflujo de soldadura	Posición incorrecta de gripper Altura de boquillas de soldadura Alta temperatura de precalentado Exceso de flux Alta temperatura de soldado Tiempo de soldado	Mantenimiento preventivo Tablilla mal asentada Falta de entrenamiento	Boquillas de soldadura oxidadas Boquillas de flux oxidadas	Verificación de setup Perfil de temperatura Procedimiento de limpieza de boquillas de soldadura	Humedad Oxidación
Insuficiencias de soldadura	Bajo nivel de contacto de soldadura Bajo nivel de flux en contenedor Pobre aplicación de flux Mal centrado de coordenadas de robot Tiempo de precalentado muy largo Nivelación y alineación de gripper Altura de boquillas de soldadura	Falta de entrenamiento Setup mal ejecutado Tablilla mal asentada en pallet (Operador de producción)	Tablilla contaminada Densidad de flux	Verificación de setup Verificación de contacto de flux Verificación de contacto de soldadura	Humedad Oxidación
Salpicaduras de soldadura	Orientación de las líneas de nitrógeno Aplicación de flux Alineación de gripper Boquillas de soldadura Coordenadas fuera de posición Velocidad de salida de boquillas de soldadura Velocidad de bajada de boquillas de soldadura	Falta de entrenamiento o Mantenimiento preventivo	Boquillas de soldadura Boquillas de flux	Verificación de setup Perfil de temperatura Procedimiento de limpieza de boquillas Diseño del pallet	Humedad Oxidación

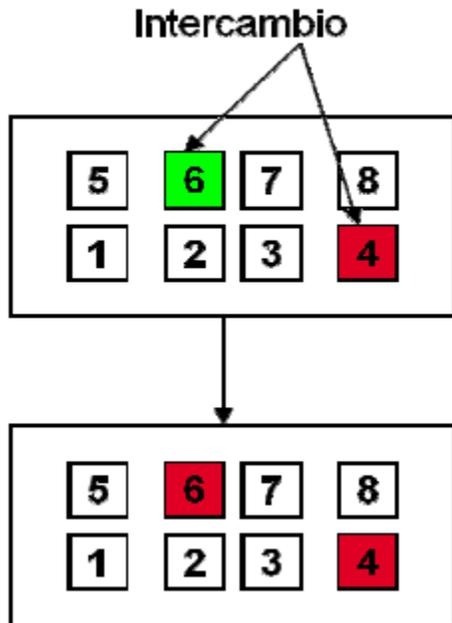


Fig. 24. Resultado de girar plato de precalentado

En el nivel tres del diagrama de árbol se comprobó que el defecto se generaba en el proceso y no en el producto, ya que se contaban con defectos únicamente en las cavidades de la orilla del pallet de soldadura, y de ser un problema del producto el defecto se presentaría aleatoriamente en todas las cavidades del pallet. Después de esto en el nivel cuatro se colocaron los tres procesos a los que se somete el producto dentro de la soldadora (aplicación de flux, precalentado y soldado), se descartó primeramente la aplicación de flux, ya que las boquillas de flux fueron intercambiadas entre las cavidades BOB y WOW obteniendo los mismos resultados, en segunda instancia se descartó el proceso de precalentado ya que el plato de precalentado se rotó a 180 grados, mas sin embargo los defectos surgieron al mismo nivel, la cavidad BOB se convirtió en WOW pero la

cavidad WOW se mantuvo WOW (Figura 23), quedando finalmente evidenciando el proceso de soldado como el generador de cortos de soldadura.

En la figura 23 se puede observar en color rojo la cavidad WOW y en color verde la cavidad BOB. En la figura 24 se observan los resultados obtenidos al girar 180°C el plato de precalentado.

Al momento en que se evidencio que el problema surgía en el proceso de soldado, se llevó a cabo la tarea de analizar este proceso para detectar posibles causas, al momento en que esto se realizaba se detectó que la placa base del soldado se encontraba arqueada, lo que provocaba un desnivel de 1.5 mm en las boquillas de soldadura (Figura 26), quedando este descubrimiento como la variable Red X del análisis.

Para corregir esto se alineo y se nivelo la placa base (Figura 26), en las figuras 27 y 28 se puede ver el antes y después de los cambio que se hicieron.

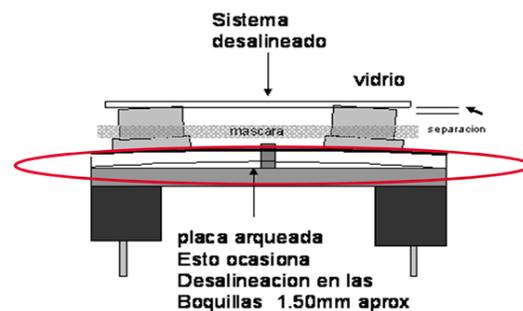


Fig. 25. Ilustración del efecto de la placa arqueada

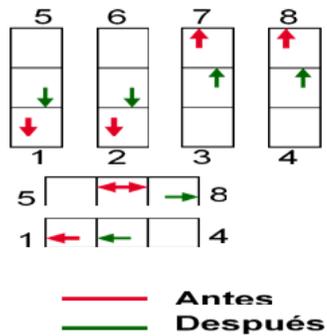


Fig. 26. Verificación de la alineación y nivelación de la base

En la figura 26 se puede observar la verificación que se realizó antes y después de la alineación y nivelación de la placa de soldado, representando los números del 1 al 8 las cavidades del pallet de soldadura.

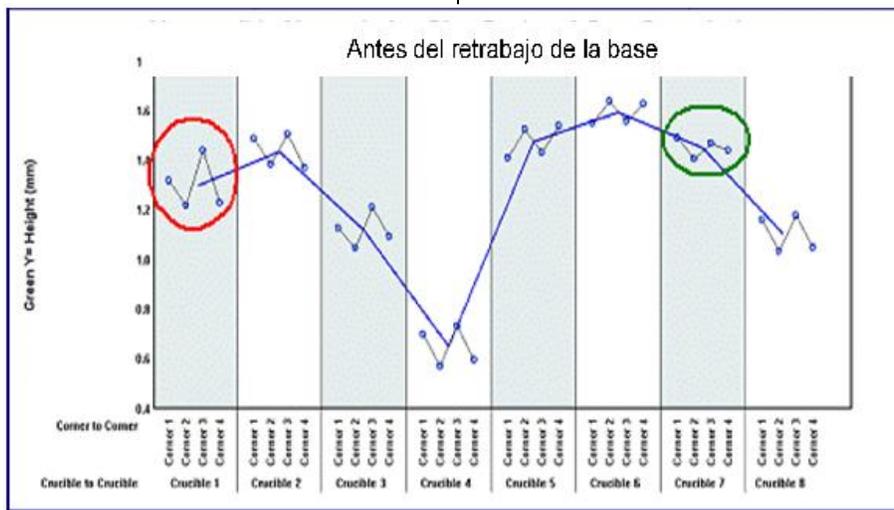


Fig. 27. Análisis de altura de cavidades

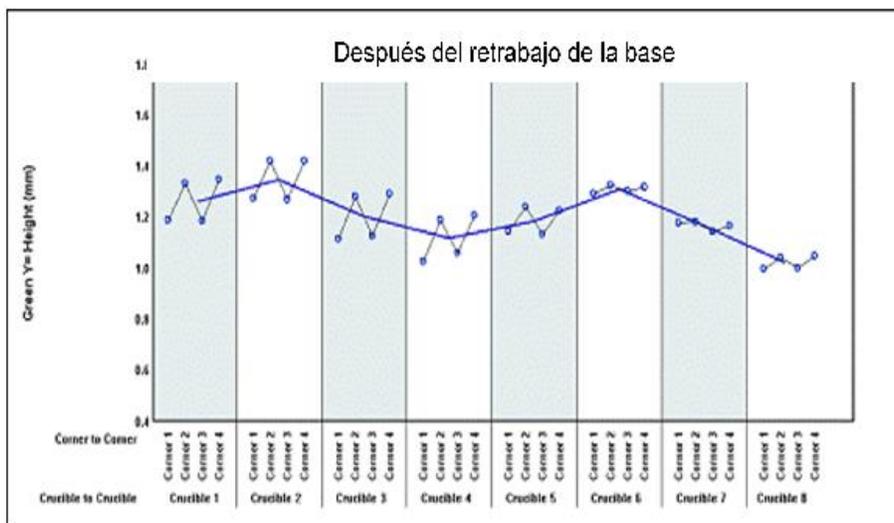


Fig. 28. Análisis de altura de cavidades

En las figuras 27 y 28 se pueden observar las alturas que se obtuvieron de la medición que se realizó colocando un vidrio nivelado por encima de las boquillas de soldadura, tomando cuatro diferentes medidas (de cada esquina que conforman la boquilla), estas mediciones se establecieron como Green Y del análisis.

En la figura 27 se observan las variaciones en las alturas antes de la nivelación y reparación de la placa, y en la figura 28 se observa los resultados obtenidos una vez que se corrigió el problema.

Aun así después de realizar en el equipo las mejoras antes mencionadas el proceso continuo presentando cortos de soldadura en las cavidades 1, 4,5 & 8 (figura 29), por lo que se confirmó que existía una segunda variable en el proceso (*Pink X*).

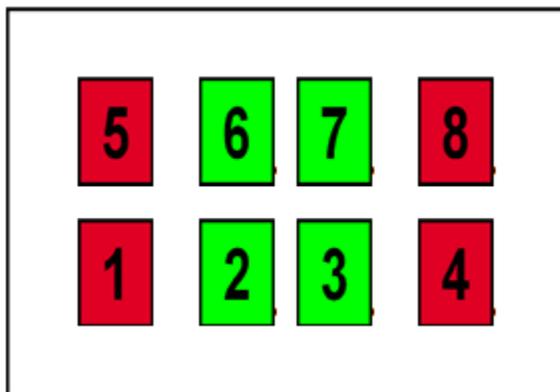


Fig. 29. Cavidades 1, 4,5& 8 presentan defectos

Para llegar a la causa raíz de la nueva variable *Pink X* se realizó un nuevo diagrama de árbol (figura 30). El prime nivel del diagrama siguió encabezado por cortos de soldadura. En el segundo nivel de igual manera prevaleció el hecho de que se trataba de un problema del proceso ya que el

defecto era visible y no se trataba de un problema de especificaciones del producto. En el tercer nivel en base a la ubicación de los defectos (extremos del pallet), se llegó a la conclusión de que era un problema de temperatura, esto se comprobó con la realización de perfiles de temperatura a las cavidades BOB y WOW por medio de un DATA PAQ (Aparato utilizado para realizar perfiles de temperatura) los cuales mostraron que si existía diferencia entre ellas, es así en base a esto que se definió la variable *Pink X* como la temperatura de soldado y como *Green Y* la dispersión de la misma en las cavidades del pallet de soldadura.

Los resultados obtenidos de los perfiles de temperatura se muestran en las figuras 31 y 32. En el cuarto nivel se siguió considerando un problema del proceso y no del producto por las mismas razones que en el diagrama realizado con anterioridad.

Finalmente en el nivel cinco se comprobó gracias a los perfiles de temperatura que el problema se encontraba en las cavidades del pallet ya que si se trataba del contenedor de la soldadura el defecto se presentaría aleatoriamente en todas las cavidades del pallet.

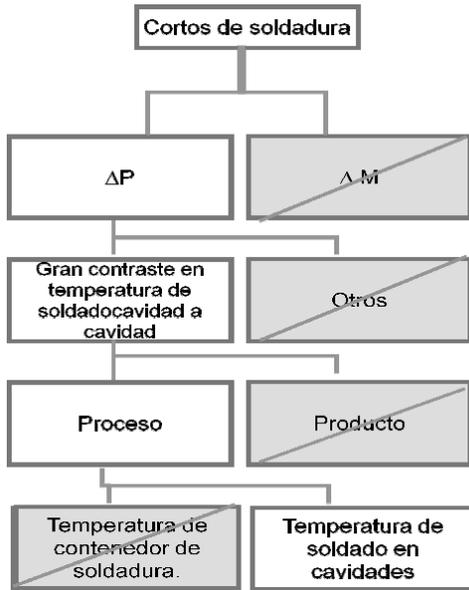


Fig. 30. Diagrama de árbol

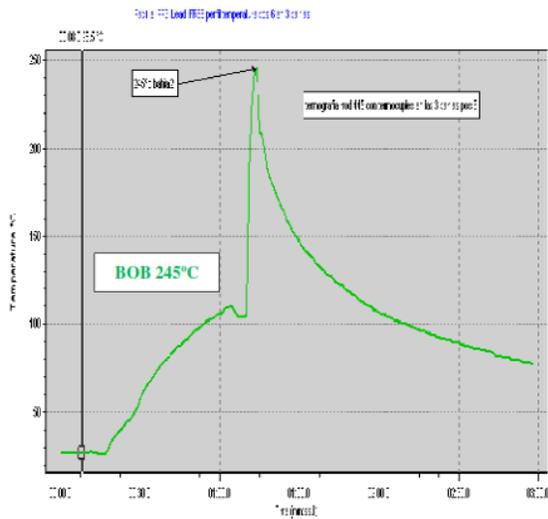


Fig. 31 Perfil de temperatura de cavidades BOB

En el perfil anterior (figura 31) se muestra gráficamente las temperaturas por las cuales se va exponiendo el PCB durante el proceso de soldado, alcanzando su punto máximo (245°C) al tener contacto con la soldadura.

En el eje X se muestra el tiempo y en el eje Y la temperatura.

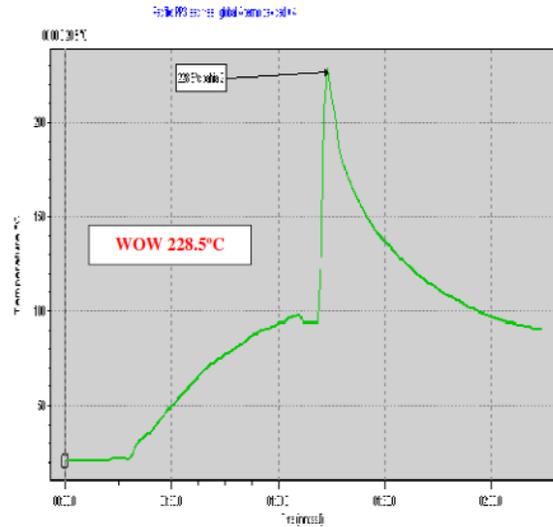


Fig. 32. Perfil de temperatura de cavidades WOW

De igual manera que en el perfil anterior, en la figura 32 se muestra gráficamente las temperaturas por las cuales se va exponiendo el PCB durante el proceso de soldado, alcanzando su punto máximo (228.5°C) al tener contacto con la soldadura.

En el eje X se muestra el tiempo y en el eje Y la temperatura. Los perfiles de temperatura tomados de las cavidades WOW y BOB mostraron una diferencia considerable entre sí, esto debido a la ubicación de las cavidades WOW (a orillas del pallet de soldadura) ya que en esta ubicación la temperatura de la boquilla se ve más influenciada por la temperatura ambiente, descendiendo considerablemente a manera que la soldadura se enfría a una velocidad mayor que en el centro del pallet, en donde se conserva por mayor tiempo la temperatura permitiendo que se realice con

éxito el soldado sin ningún tipo de defecto, en base a lo antes mencionado se realizó el diagrama de bloques de la figura 33, en el cual se muestran las variables de temperatura del proceso.

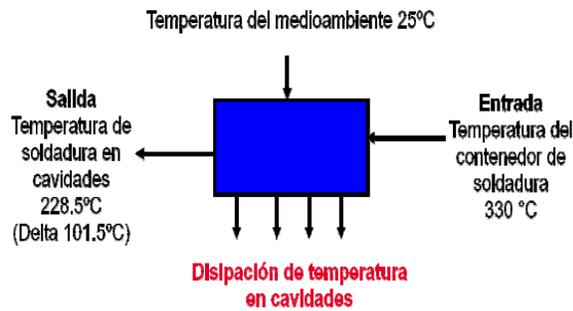


Fig. 33. Diagrama de bloques

En este diagrama se puede observar la variable temperatura de entrada y salida, en este caso que es en lo que se está enfocando, como factor de ruido se tiene la disipación de temperatura en las cavidades del pallet y como variable controlable la temperatura del medio ambiente.

Acciones correctivas implementadas y validación de hipótesis

Como acción correctiva se realizó una modificación de las boquillas de soldadura, que permite una mayor temperatura de soldado en los extremos del pallet. Esta modificación consistió en rediseñar las boquillas de soldadura, quedando finalmente como se muestran en la figura 34.

Este rediseño consistió en una reducción del exceso de la masa del material que tenían las boquilla de soldadura ubicadas en los extremos, ya que esta al verse influenciada por la temperatura

ambiente no permitía un mayor alcance de temperatura en la boquilla.

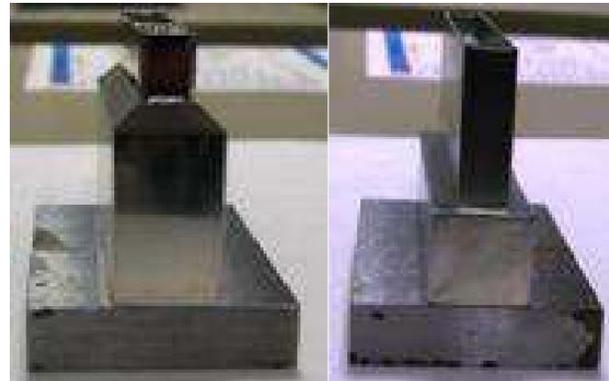


Fig. 34. Boquillas antes y después del rediseño

Este cambio permitió que la cavidad WOW incrementara a una temperatura arriba de los 246°C reduciendo los cortos de soldadura drásticamente obteniendo una reducción considerable en el desperdicio de tablillas a causa de los defectos de calidad en la soldadura (figura 35).

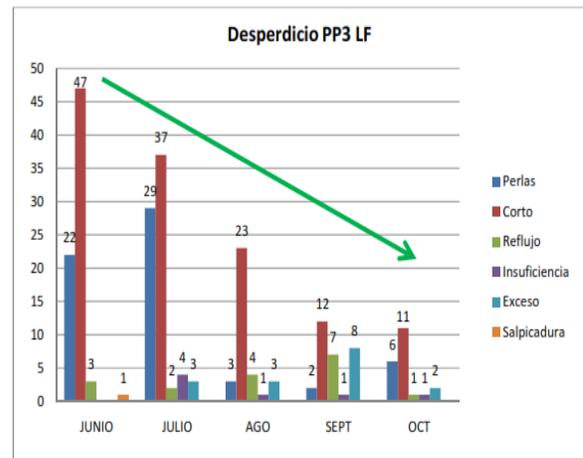


Fig. 35. Desperdicio de tablillas en la línea PP3 LF

Esta reducción de desperdicio a causa de defectos de calidad en la soldadura

libre de plomo se logro gracias a las modificaciones que se realizaron en la maquina soldadora, las cuales generaron costos a la empresa (figura 36), mas sin embargo si se comparan estos costos con los beneficios obtenidos, esta inversión resultó ser positiva (figura 37).

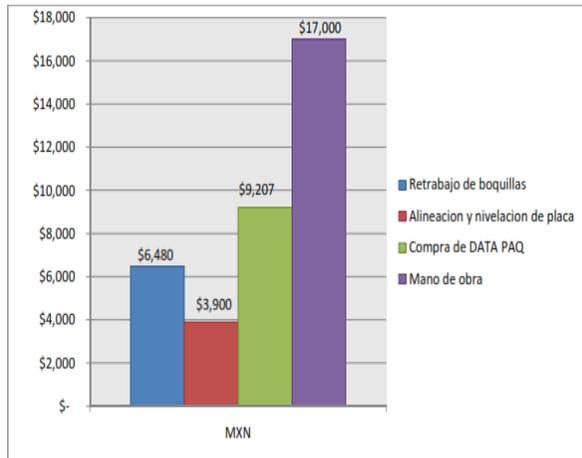


Fig. 36. Gastos generados durante la mejora del proceso

Los gastos generados durante la implementación fueron el retrabajo de las boquillas; \$1,620 por cada boquilla, lo cual genera un total de \$6,480 por el retrabajo de las cuatro boquillas, alineación y nivelación de placa de soldado genero un gasto de \$3,900, para poder obtener los perfiles de temperatura fue necesario adquirir un DATA PAQ con un costo de \$9,207 y finalmente la mano de obra por \$17,000 aproximadamente, tomando en cuenta dos técnicos, y un auxiliar de ingeniería que estuvieron trabajando en la resolución del problema.

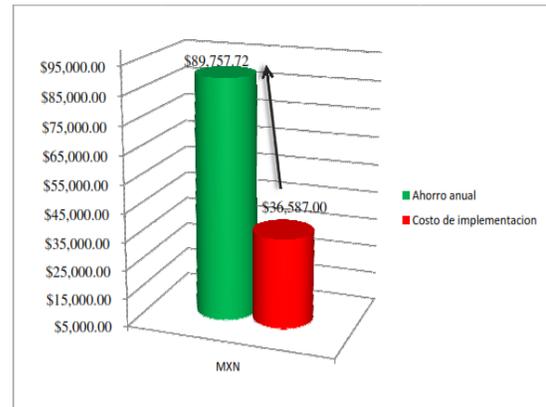


Fig. 37 Comparación costo-beneficio

Una vez calculados los beneficios obtenidos gracias a la implementación se confirma que se logro la reducción de desperdicio de tablillas por defecto de calidad en el proceso de soldadura libre de plomo, obteniendo un porcentaje de desperdicio del 0.02% que equivale a 21 tablillas defectuosas de una producción de 85,834 tablillas.

En la figura 38 se observa la mejora obtenida en cuanto a porcentajes de desperdicio

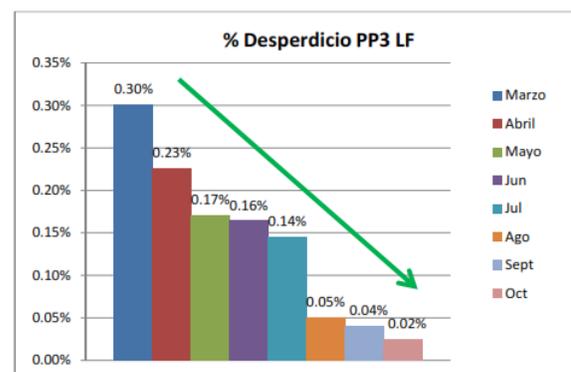


Fig. 38. Porcentajes de desperdicio en proceso de soldadura libre de plomo

CONCLUSION

Durante el desarrollo de este proyecto se encontró por medio de la metodología Shainin la causa raíz de los defectos que se presentaban en el proceso de soldadura libre de plomo, la cual al momento de ser eliminada genero una reducción de los altos porcentajes de desperdicio de tablillas electrónicas en dicho proceso a causa de la mala calidad en el soldado. Finalmente después de la implementación de la mejora se obtuvo un 0.02% de desperdicio de tablilla, contrastando considerablemente con un objetivo inicial de 0.15% o menos de desperdicio. Durante la resolución del problema se documentaron los tipos de defecto generados en este proceso y sus posibles causas para que posteriormente sean de utilidad en otros análisis que se pudieran realizar. Gracias a los logros de esta mejora se consiguió una mayor calidad en el producto, que a fin de cuentas es una ganancia invaluable.

En conclusión mediante las distintas herramientas para la mejora continua y resolución de problemas con las que se cuenta actualmente, se puede lograr una practicidad en el día a día, no solo en los procesos manufactureros sino en cualquier situación de la vida cotidiana que se necesite resolver. Existen un sinnúmero de herramientas y metodologías que se pueden aplicar, mas sin embargo lo importante es lograr los objetivos de mejora, que después de todo nunca serán suficientes, siempre habrá algo que logre un resultado positivo y mejor al anterior, la filosofía debe ser “mejorar a cada paso que se dé teniendo una visión más allá de lo creíble”. En base a la observación y al trabajo en equipo se pueden lograr mejoras en los procesos de producción

obteniendo la satisfacción de un desenvolvimiento exitoso en el ámbito laboral.

Este proyecto deja en claro que pequeños cambios pueden causar grandes beneficios y que no es necesaria una inversión estratosférica en la modernización de un proceso para lograr una mejor eficiencia, sino que con un detalle que sea mejorado se lograra el objetivo; tener un proceso eficiente, de excelente calidad a un bajo costo.

REFERENCIAS

- Asociación española para la calidad/Comité de automoción. (2007). 8D El método eficaz para la mejora continua, asociación española para la calidad.
- Biocca, P. (s.f.) Senior Market Development Engineer, Kester, Itasca, Illinois
- Bueno, M. A. Soto, A. I. (2005). Desarrollo y construcción de prototipos electrónicos: Tutoriales ORCAD 10 y LDKF 5 de ayuda al diseño, MARCOMBO S.A.
- Cookson Electronics. (s.f.). wave soldering troubleshooting guide.
- Espindola, J. L. (2005). Análisis de problemas y toma de decisiones, Pearson educación, México
- Galgano, A. (1995). Los 7 instrumentos de la calidad total, coopers & Lybrand Galgano.
- Griful, M. A. (2005). Gestión de calidad. Universidad Politécnica de Catalunya
- Hwang Jennie S. (2001) Environment-friendly electronics: Lead-free technology, Electrochemical Publications LTD.
- Hwang, J. S. (2005). Implementing Lead-Free electronics, Ph.D. McGraw-Hill.
- Houldcroft P.T. (2000). Tecnología de los procesos de soldadura, Grupo editorial Ceac, S.A.
- Jeffus, L. (2009). Soldadura: Principios y aplicaciones, quinta edición, Asociación española de soldadura y tecnologías de union