



Centro de Investigación en Matemáticas

Unidad Aguascalientes

**“Aplicación de Diseño de experimento para la determinación de
parámetros en el proceso de soldadura por robot”**

Tesina para obtener el título de Especialidad en Métodos Estadísticos

Presentado por:

MCA. Paola Vianney Flores Sandoval

Asesor:

Dr. Rafael Pérez Abreu

Aguascalientes, Ags., 27 de noviembre de 2018.

Índice

Resumen.....	3
Capítulo I	4
Introducción y Antecedentes.....	4
1.1 Introducción.	4
1.2 Problema de Investigación.	5
1.3 Antecedentes	6
Capitulo II.....	7
Marco Teórico.....	7
2.1 Marco Teórico.	7
Capitulo III.....	9
Justificación y Objetivos.....	9
3.1 Objetivo General.	9
3.2 Objetivos Específicos.....	9
3.3 Justificación.....	9
Capitulo IV.....	11
Diseño y Análisis de Resultados.....	11
4.1 Alcances y Limitaciones.	11
4.2 Metodología.	11
4.3 Diseño de la Investigación.	11
4.3.1 Factores y niveles.	12
4.3.2 Variables de Respuesta.....	12
4.3.3 Diseño del DOE usando modelo L9.	12
4.3.4 Materiales.	13
4.3.5 Equipo.....	13
4.4 Estrategia experimental.	14
4.5 Análisis de Datos.....	24
Capítulo V.....	28
Conclusiones.....	28
Glosario	29
Bibliografía.....	29

Resumen.

La presente tesina explica el desarrollo de la determinación de parámetros para un robot de soldadura aplicado a la producción de PCBAs (Printed Circuit Board Assembly).

El uso de Diseño de Experimentos permite a través de ensayos establecidos definir los parámetros que permitan obtener resultados óptimos en la soldadura de componentes PTH (Pin Thru Hole), las unidades utilizadas en estos ensayos deben de ser consideradas material no conforme y desechadas, es por ello que se decidió usar un experimento L9 basado en la metodología de Diseño de Experimentos de Taguchi, con la que mediante una muestra de nueve piezas es posible tener una aproximación confiable de los parámetros óptimos.

Las variables de entrada o variables independientes consideradas son: Temperatura, Velocidad, Alimentación y Tipo de Flux (aditivo empleado en procesos de soldadura).

Las variables de salida o también conocidas como variables dependientes son: Cantidad de Cortos de Soldadura y Cantidad de Insuficiencias de Soldadura.

Una vez concluidos los ensayos se observó que el ajuste del robot en los parámetros medios y usando flux de pasta es lo óptimo para minimizar la cantidad de cortos e insuficiencias de soldadura.

Capítulo I

Introducción y Antecedentes.

1.1 Introducción.

La necesidad de mantener los procesos actualizados para asegurar un mayor rendimiento de los recursos ha abierto la puerta a la implementación de nuevas tecnologías en el proceso de manufactura de PCBA (Printed Circuit Board Assembly), es por ello, se ha decidido sustituir el soldado en ola por soldadura asistida por robot.

Estas actualizaciones al proceso requieren análisis de ingeniería para determinar los parámetros de soldadura que aseguren que las PCBA cumplirán con los requerimientos de cliente y estándares establecidos.

Para este estudio se ha elegido un modelo de PCBA que consta de dos conectores y ha sido clasificada por el diseñador como clase II para IPC 610 (Institute for Printed Circuits), esto implica que llenado de barril esperado es 75% como mínimo (ver Imagen 1), el barril es el orificio en el cual se insertan las terminales de los componentes para formar la conexión eléctrica con el PCB. El ensayo es limitado a los componentes PTH (Pin Thru Hole), los componentes de SMT (Surface Mounting Technology) están fuera del alcance de este estudio ya que estos son soldados y colocados mediante equipos de impresión de pasta y montaje superficial y la soldadura es fundida a través de un horno.

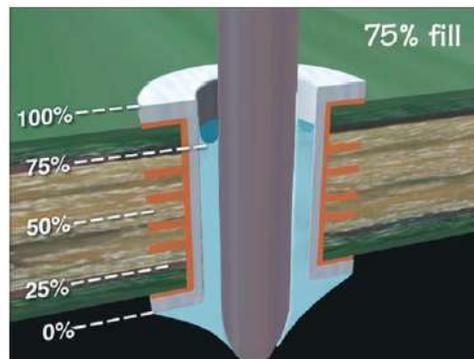


Imagen 1. Criterio de aceptación para llenado de barril de acuerdo con IPC 610 Rev. F.
Fuente: IPC-A-610F Acceptability of Electronic Assemblies, 2016.

Dado que las unidades usadas para los ensayos deben ser consideradas como material no conforme los componentes de SMT no fueron colocados, esto no interfiere con los ensayos ni existe riesgo de afectación en los resultados, las unidades deben ser disposiciónados como desecho por ello se eligió un estudio L9 basado en la metodología Taguchi, para evitar altos costos, si se usará un modelo tradicional se necesitarán 27 unidades. Este ejercicio se replicará en diferentes números de parte cuyo costo es alto y la disponibilidad es limitada.

Diagrama de Gant.

A continuación, se muestra el cronograma de actividades.

Actividad	JUNIO (semana)					JULIO (semana)			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4
Definición del Problema.									
Definición de Numero de parte a estudiar.									
Definición de variables independientes.									
Estructuración del DOE.									
Ejecución del DOE									
Inspección de Piezas									
Presentación de Avance.									
Analisis de Resultados.									
Presentación de Avance.									
Realizar correcciones requeridas.									
Presentación de Avance.									

1.2 Problema de Investigación.

La introducción de nuevas tecnologías en una línea de producción requiere la determinación de parámetros que aseguren el cumplimiento de los estándares requeridos, para ello es necesario identificar los CTQ (Critical to Quality), es decir, nuestras variables de salida que son consideradas como críticas de acuerdo a los estándares y requerimientos de cliente, también se deben conocer los que parámetros son considerados críticos por la afectación que tienen a la variable de respuesta y saber los niveles de operación de estos parámetros.

El problema de investigación que se plantea en este trabajo es la determinación de los parámetros que permitan la reducción de cortos e insuficiencias de soldadura.

1.3 Antecedentes

La línea de producción de PCBAs Medical cuenta con dos equipos de soldadura por ola, una de ellas es utilizada para procesar material que requiere soldadura con Plomo (No RoHS) y otra para procesar material libre de sustancias peligrosas (RoHS), el proceso de soldadura por ola requiere 900 kg mínimo de soldadura en el contenedor, también requiere de limpiezas del contenedor diariamente para retirar la escoria, esta operación es considerada de alto riesgo para el operador ya que se expone a la soldadura fundida y a los gases que esta emite.

Después de realizar un estudio de factibilidad las directriz corporativa dada a la planta de Aguascalientes fue sustituir todas las soldadoras de ola por robots de soldadura, esto permite tener mayor flexibilidad, con el uso del robot el consumo de soldadura cambia de lingotes a cable, ya no es requerido una cantidad mínima, el consumo de soldadura es solo el requerido para adherir el componente el PCB (Printed Circuit Board), es posible usar un mismo robot para procesar material No RoHS y material RoHS solo se deben sustituir las puntas de soldadura y el cable para evitar contaminaciones, también se tendrá un ahorro en espacio, que permitirá en un futuro trabajar bajo el esquema de celdas de producción.

Algunas de las desventajas que presenta el robot es que la capacidad de producción es menor, en soldadura por ola se pueden procesar varias piezas al mismo tiempo, el robot procesa una pieza a la vez por lo que para igualar la capacidad de producción es necesario tener 2 robots por soldadora de ola sustituida para abastecer al siguiente proceso.

Capítulo II

Marco Teórico.

2.1 Marco Teórico.

El objetivo del proceso de soldadura es unir dos metales mediante otro material conductor sin fundir los metales a unir, en el caso específico de PCBAs el objetivo es unir las terminales de los componentes al barril de PCB. El llenado de barril es una característica crítica en estos procesos y que un mal llenado puede causar fallas funcionales en la tarjeta o bien desprendimiento de los componentes.

El proceso de soldado por ola consiste en ensamblar los componentes PTH (Pin Thru Hole) o de SMT (Surface Mounting Technology) en el PCB, este ensamble atraviesa el tanque con soldadura y esta se adhiere a las terminales del componente creando una conexión eléctrica. En un equipo de soldadura por ola se identifican tres partes principales que son la zona de precalentamiento, zona de aplicación del flux y zona de aplicación de soldadura, para un buen soldado por ola se debe generar un perfil térmico considerando todas las zonas y cuidando que la temperatura no dañe o estrese el resto de los componentes. Para realizar este perfil deben ser revisadas las tolerancias térmicas de cada componente ensamblado al PCB.

En el soldado por robot a diferencia del soldado por ola no requiere un perfil ya que la soldadura se hace punto a punto sin estresar térmicamente los componentes, es decir, solamente las terminales están expuestas al calor.

El flux es otro factor determinante para una buena soldadura ya que este actúa como fundente y ayuda a que la soldadura tenga un mejor desempeño.

En la industria electrónica todos aquellos requerimientos que no están especificados en el dibujo de la parte se deben regir por IPC 610, este estándar maneja tres clases y esta son asignadas por el diseñador de acuerdo con su aplicación, la PCBA que es objeto de estudio fue clasificada como clase II, por lo que debe tener un llenado de barril mínimo del 75%.

Los arreglos ortogonales de Taguchi nos permitirán con una muestra pequeña determinar los parámetros óptimos para el proceso de soldadura.

Taguchi reconoce que no todos los factores que causan variación en un proceso pueden ser controlados.

Existen dos tipos de factores, factores de control que como su nombre lo indica son aquellos que pueden ser controlados, en este experimento se usan como factores de control Temperatura, Velocidad, Alimentación y Tipo de Flux, los factores de ruido son aquellos que son difícil o de alto costo controlar.

En la notación L9 (3^4) indica el numero de corridas (9), el numero de factores y la cantidad de niveles de cada uno (3^4).

Capítulo III

Justificación y Objetivos.

3.1 Objetivo General.

Desarrollar un DOE (Design of Experiments) que permita conocer los niveles de los factores que afectan la soldadura y minimicen la cantidad de cortos e insuficiencias presentes en los conectores.

3.2 Objetivos Específicos.

Encontrar el ajuste correcto de los factores que afectan el proceso de soldadura por robot (Set Point).

Disminuir la cantidad de unidades que requieren retoques de soldadura (Touch Up).

3.3 Justificación.

El sustituir el soldado por ola por un robot de soldadura ofrece grandes ventajas al proceso, algunas de ellas se enlistan a continuación:

- Disminución de retrabajos.
- El PCBA no es expuesto a exceso de calor, por lo que otros componentes no serán estresados térmicamente.
- Flexibilidad en la configuración, lo que permite producir con soldadura RoHS y no RoHS en el mismo equipo.
- Permite hacer cambios de modelos menores a 10 minutos bajo el enfoque lean manufacturing de SMED.
- La contaminación en el PCBA por flux se disminuye.
- Ahorro de espacio.

Ahorros estimados

Item	Robot	Soldadora de Oja	Ahorro en Herramienta	Ahorro EDMs	Ahorro de Energia
Fixtures	\$ 6,600.00	\$ 38,280.00	\$ 31,680.00	\$ -	\$ -
EDM'S Anual	\$ 9,780.00	\$ 54,773.38	\$ -	\$ 44,993.38	\$ -
Energia Anual	\$ 960.00	\$ 32,224.00	\$ -	\$ -	\$ 31,264.00
Total	\$17,340.00	\$ 125,277.38			

Al no tener una base para la determinación de los parámetros se decidió ejecutar un Diseño de Experimentos L9, esto permite que a través de una muestra pequeña se puedan estimar los parámetros de operación del robot.

El Diseño de experimentos es usado para entender los efectos de factores e interacciones que impactan a la salida de un proceso.

Capítulo IV

Diseño y Análisis de Resultados

4.1 Alcances y Limitaciones.

Este estudio es solo aplicable al robot Japan Unix 414S ubicado en línea 7, y la PCBA 619.

4.2 Metodología.

Se puede afirmar que por la naturaleza de los datos el estudio tiene un enfoque cuantitativo y descriptivo ya que se analiza el comportamiento del proceso mediante la medición de los parámetros considerados críticos.

4.3 Diseño de la Investigación.

Se definen cuatro factores que son considerados críticos para el proceso:

- Temperatura
- Velocidad
- Alimentación
- Tipo de Flux

Estas variables serán retadas en un diseño de experimentos L9.

Se eligió el diseño L9 debido a la posibilidad de realizar las corridas experimentales ajustándose a los tiempos y disponibilidad de materiales de producción.

Al tratarse de un diseño robusto como el reportado en la bibliografía de acuerdo con Taguchi, se persigue minimizar los cortos e insuficiencias.

Una vez procesadas las nueve muestras se medirá el llenado de barril que presentan y se procederá realizar el análisis de la información obtenida.

4.3.1 Factores y niveles.

En la tabla se pueden observar las variables independientes (de entrada) y sus niveles (valores).

Factor	Nivel		
	Bajo	Nominal	Alto
Temperatura	370	390	425
Velocidad	4.2	5.2	6.2
Alimentación	20	28	40
Tipo de Flux	Sin Flux	Pasta	Líquido

4.3.2 Variables de Respuesta.

- Cantidad de insuficiencias presentes.
- Cantidad de cortos presentes.

4.3.3 Diseño del DOE usando modelo L9.

Para un experimento 3^4 es necesario realizar 81 muestras. Las muestras utilizadas son consideradas material no conforme y deben ser desechadas como tal, el costo que esto implica debe ser el menor posible, es por ellos que se optó por un modelo L9 donde solo se utilizarán 9 corridas.

El uso de este arreglo ortogonal implica que el diseño está balanceado de manera que los niveles de los factores se ponderan equitativamente.

La siguiente tabla muestra el arreglo utilizado para un diseño factorial fraccionado 3^4 el cual es igual al descrito por Taguchi para factores con 3 niveles, cada columna representa un factor y en las celdas el nivel correspondiente.

Corrida	Factor A	Factor B	Factor C	Factor D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Tabla de Arreglo.

Una vez definido el arreglo se procede a cambiar los códigos por los valores reales de los factores.

Temperatura	Velocidad	Alimentación	Tipo de Flux
370	4.2	20	SIN FLUX
370	5.2	28	PASTA
370	6.2	40	LIQUIDO
390	4.2	28	LIQUIDO
390	5.2	40	SIN FLUX
390	6.2	20	PASTA
425	4.2	40	PASTA
425	5.2	20	LIQUIDO
425	6.2	28	SIN FLUX

4.3.4 Materiales.

PCB 618.

Conector.

Flux líquido.

Flux en Pasta.

Soldadura en alambre RoHS.

4.3.5 Equipo.

Robot de Soldadura Japan Unix 414S.

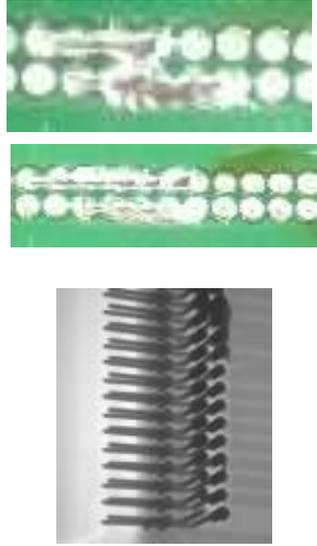
4.4 Estrategia experimental.

A continuación, se muestra los arreglos y los resultados de cada experimento realizado.

Muestra 1

Parámetros	
Característica	Valor
Temperatura	370
Velocidad	4.2
Alimentación	20
Flux	Sin Flux

Resultados	
Insuficiencias de soldadura	Cortos de soldadura
24	13

Lado Inferior	Lado Superior	Detalle de Insuficiencias.	Detalle de Cortos de Soldadura
			

Muestra 2

Parámetros	
Característica	Valor
Temperatura	370
Velocidad	5.2
Alimentación	28
Flux	Pasta

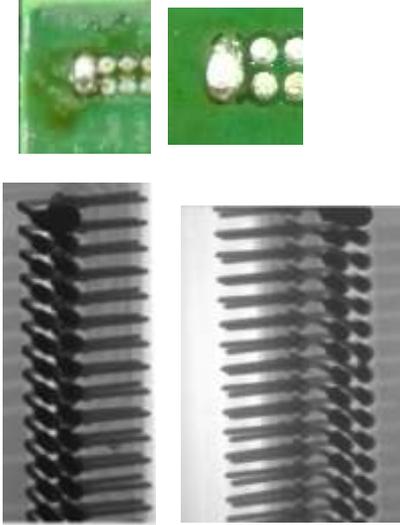
Resultados	
Insuficiencias de soldadura	Cortos de soldadura
0	1

Lado Inferior	Lado Superior	Detalle de Insuficiencias.	Detalle de Cortos de Soldadura
		NA	

Muestra 3

Parámetros	
Característica	Valor
Temperatura	370
Velocidad	6.2
Alimentación	40
Flux	Líquido

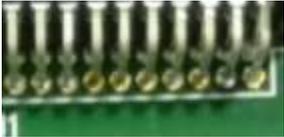
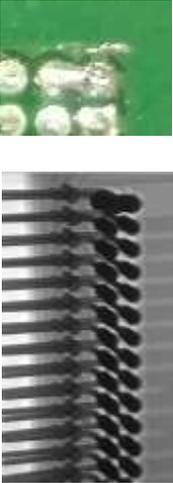
Resultados	
Insuficiencias de soldadura	Cortos de soldadura
18	3

Lado Inferior	Lado Superior	Detalle de Insuficiencias.	Detalle de Cortos de Soldadura
			

Muestra 4

Parámetros	
Característica	Valor
Temperatura	390
Velocidad	4.2
Alimentación	28
Flux	Líquido

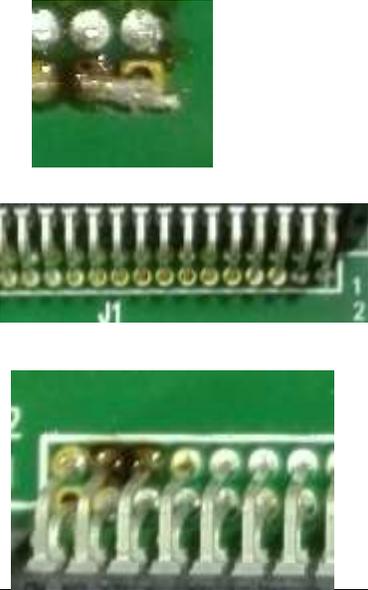
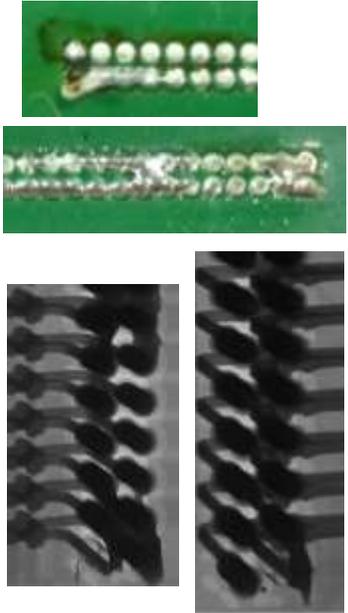
Resultados	
Insuficiencias de soldadura	Cortos de soldadura
1	3

Lado Inferior	Lado Superior	Detalle de Insuficiencias.	Detalle de Cortos de Soldadura
			

Muestra 5

Parámetros	
Característica	Valor
Temperatura	390
Velocidad	5.2
Alimentación	40
Flux	Sin Flux

Resultados	
Insuficiencias de soldadura	Cortos de soldadura
9	26

Lado Inferior	Lado Superior	Detalle de Insuficiencias.	Detalle de Cortos de Soldadura
			

Muestra 6

Parámetros	
Característica	Valor
Temperatura	390
Velocidad	6.2
Alimentación	20
Flux	Pasta

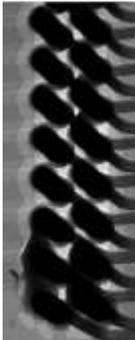
Resultados	
Insuficiencias de soldadura	Cortos de soldadura
0	0

Lado Inferior	Lado Superior	Detalle de Insuficiencias.	Detalle de Cortos de Soldadura
		NA	NA

Muestra 7

Parámetros	
Característica	Valor
Temperatura	425
Velocidad	4.2
Alimentación	40
Flux	Pasta

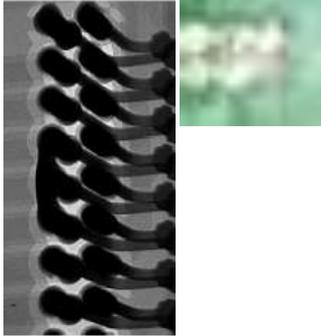
Resultados	
Insuficiencias de soldadura	Cortos de soldadura
0	17

Lado Inferior	Lado Superior	Detalle de Insuficiencias.	Detalle de Cortos de Soldadura
			  

Muestra 8

Parámetros	
Característica	Valor
Temperatura	425
Velocidad	5.2
Alimentación	20
Flux	Líquido

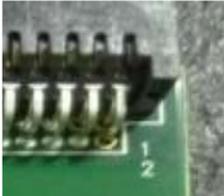
Resultados	
Insuficiencias de soldadura	Cortos de soldadura
0	6

Lado Inferior	Lado Superior	Detalle de Insuficiencias.	Detalle de Cortos de Soldadura
		<p>NA</p>	

Muestra 9

Parámetros	
Característica	Valor
Temperatura	425
Velocidad	6.2
Alimentación	28
Flux	Sin Flux

Resultados	
Insuficiencias de soldadura	Cortos de soldadura
48	17

Lado Inferior	Lado Superior	Detalle de Insuficiencias.	Detalle de Cortos de Soldadura
		  	  

La tabla que se muestra abajo resume los resultados del experimento.

Muestra	Parametros				Resultados	
	Temperatura	Velocidad	Alimentación	Tipo de Flux	Insuficiencia de soldadura	Corto de Soldadura
1	370	4.2	20	No	24	13
2	370	5.2	28	Pasta	0	1
3	370	6.2	40	Líquido	18	3
4	390	4.2	28	Líquido	1	3
5	390	5.2	40	No	9	26
6	390	6.2	20	Pasta	0	0
7	425	4.2	40	Pasta	0	17
8	425	5.2	20	Líquido	0	6
9	425	6.2	28	No	48	17

4.5 Análisis de Datos.

A continuación, se muestran los gráficos de efectos principales, esto nos permite observar el nivel de afectación que tiene cada parámetro sobre las variables de respuesta.

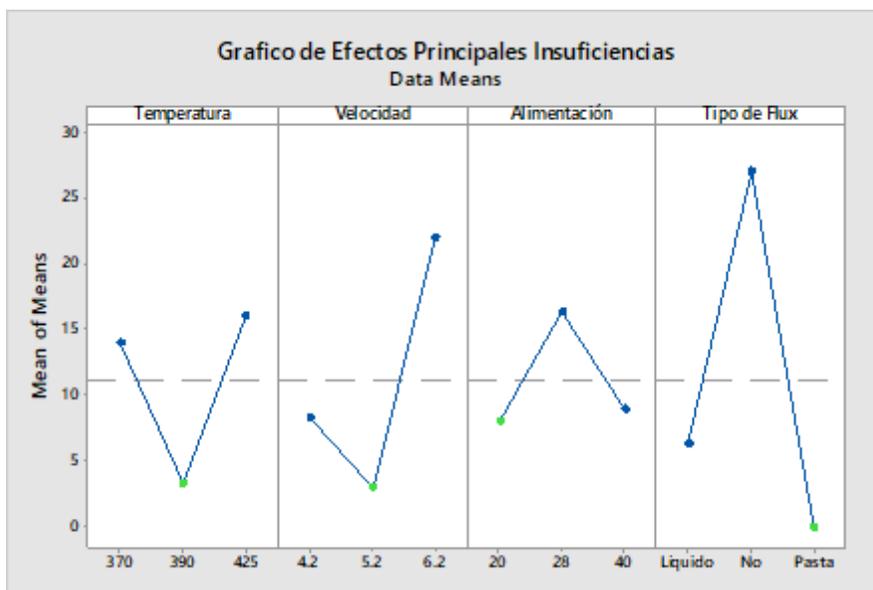
Taguchi Analysis: Insuficiencia de versus Temperatura, Velocidad, Alimentación, Tipo de Flux

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Level	Temperatura	Velocidad	Alimentación	Tipo de Flux
1	-26.355	-13.802	-27.604	-12.553
2	-9.542	-19.085	-16.812	-26.771
3	-33.625	-29.365	-22.095	*
Delta	24.082	15.563	10.792	14.219
Rank	1	2	4	3

Response Table for Means

Level	Temperatura	Velocidad	Alimentación	Tipo de Flux
1	14.0000	8.3333	8.0000	6.3333
2	3.3333	3.0000	16.3333	27.0000
3	16.0000	22.0000	9.0000	0.0000
Delta	12.6667	19.0000	8.3333	27.0000
Rank	3	2	4	1



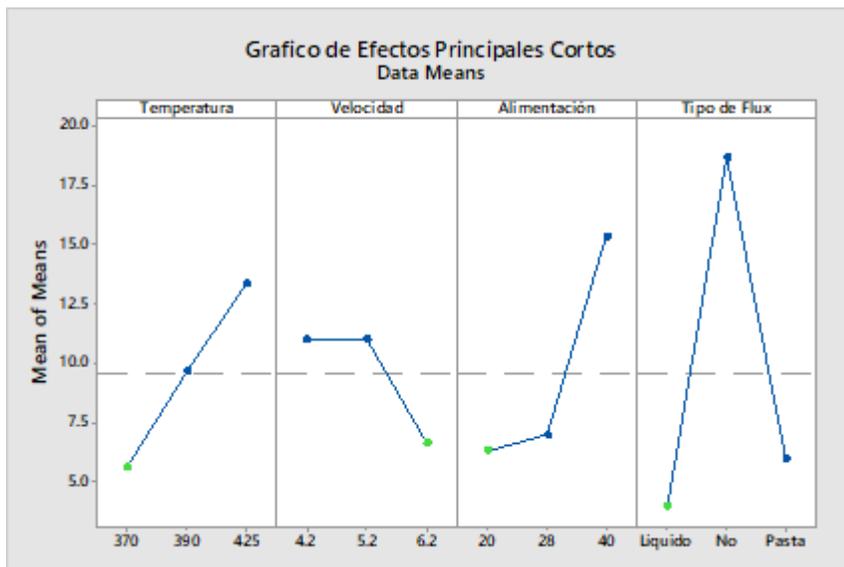
Taguchi Analysis: Corto de Soldadu versus Temperatura, Velocidad, Alimentación, Tipo de Flux

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Level	Temperatura	Velocidad	Alimentación	Tipo de Flux
1	-10.61	-18.81	-18.92	-11.55
2	-18.92	-14.62	-11.38	-25.06
3	-21.59	-17.08	-20.82	-12.30
Delta	10.99	4.19	9.43	13.51
Rank	2	4	3	1

Response Table for Means

Level	Temperatura	Velocidad	Alimentación	Tipo de Flux
1	5.667	11.000	6.333	4.000
2	9.667	11.000	7.000	18.667
3	13.333	6.667	15.333	6.000
Delta	7.667	4.333	9.000	14.667
Rank	3	4	2	1



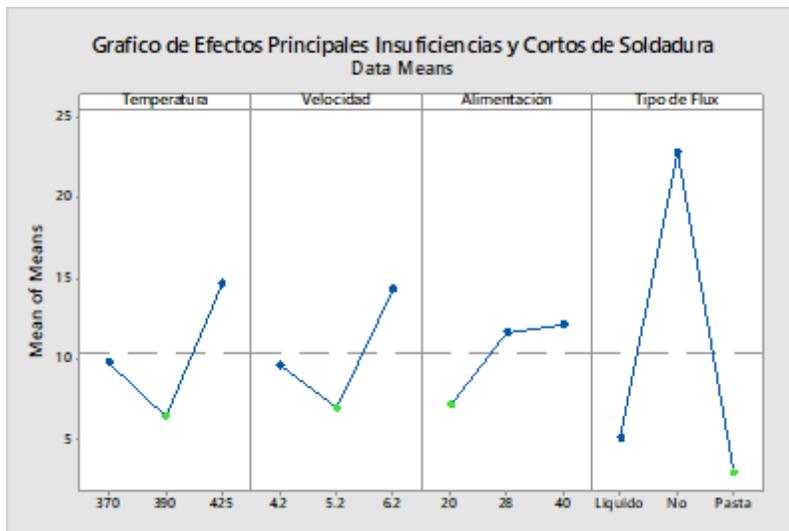
Taguchi Analysis: Insuficienci, Corto de Sol versus Temperatura, Velocidad, Alimentación, ...

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Level	Temperatura	Velocidad	Alimentación	Tipo de Flux
1	-14.972	-18.100	-19.132	-13.919
2	-16.385	-11.774	-11.702	-27.540
3	-21.760	-26.671	-23.198	-9.294
Delta	6.788	14.897	11.495	18.246
Rank	4	2	3	1

Response Table for Means

Level	Temperatura	Velocidad	Alimentación	Tipo de Flux
1	9.833	9.667	7.167	5.167
2	6.500	7.000	11.667	22.833
3	14.667	14.333	12.167	3.000
Delta	8.167	7.333	5.000	19.833
Rank	2	3	4	1



Parámetro	Set point óptimo Insuficiencias	Set point óptimo Cortos	Set point óptimo Insuficiencias y Cortos
Temperatura	390	370	390
Velocidad	5.2	6.2	5.2
Alimentación	20	20	20
Tipo de Flux	Pasta	Líquido	Pasta

Tabla comparativa de set point optimo

Con el objetivo de observar el comportamiento de cada variable de respuesta en lo individual y juntas el análisis se corrió tres veces, primero solo se consideraron las insuficiencias como única variable de respuesta, en el segundo ejercicio solamente se consideró cortos como variable de respuesta, por último, tanto cortos como insuficiencias fueron considerados en el tercer análisis.

El nivel de los parámetros que mejor se ajusta a las necesidades del proceso se describen en la siguiente tabla, este arreglo nos permitirá correr con la menor cantidad de Insuficiencias y Cortos.

Parámetro	Set point óptimo
Temperatura	390
Velocidad	5.2
Alimentación	20
Tipo de Flux	Pasta

Tabla de Parámetros recomendados.

Capítulo V

Conclusiones.

Las insuficiencias de soldadura y los cortos de soldadura son condiciones opuestas, es decir, lo que evita que una condición se presente también incrementa la generación de la otra, por ello se debe de definir cuál de estas tiene una menor afectación en la calidad y el proceso de las tarjetas.

Las insuficiencias de soldadura son más difíciles de detectar y retrabajar comparadas con los cortos, el experimento nos permitió establecer el nivel óptimo de los parámetros, de modo que la probabilidad de que se genere una insuficiencia sea mínima y el nivel de corto de soldadura sea el más bajo posible, de esta manera durante la producción masiva la cantidad de tarjetas que requieren un retoque será mínima. El nivel de los parámetros es Temperatura 390°, Velocidad 5.2, Alimentación 20 y Tipo de Flux Pasta.

Con la implementación del robot el tiempo ciclo de producción es afectado de forma negativa ya que este se incrementa, sin embargo, los beneficios en la precisión en la operación, la disminución del retrabajo (retoque), el espacio en piso de producción y la cantidad de materia prima usada tienen una mejora significativa.

Los parámetros definidos durante este ejercicio fueron verificados a través de la validación del proceso (OQ Operation Qualification) y utilizados para producción regular.

Glosario.

PCBA.- Printed Circuit Board Assembly. Tarjeta de Ensamble de Circuitos Impresos.

PCB.- Printed Circuit Board. Tarjeta de Circuito Impreso.

Flux.- Fundente utilizado en los procesos de soldadura de estaño.

DOE.- Desing of Experiment. Diseño de Experimento.

RoHS.- Restriction of Hazardous Substances. Restricción de Sustancias peligrosas.

No RoHS.- No . Restricción de Sustancias peligrosas.

ICT.- In Circuit Test, Prueba de Circuito.

SMED.- Single Minute Exchange of Die. Método que asegura los cambios de herramienta en menos de 10 min.

Lean Manufacturing.- Manufactura Esbelta. Proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación del desperdicio o excesos, entendiendo por exceso todo aquello que no agrega valor en un proceso, pero si costo y trabajo.

Bibliografía.

The Black Belt Memory Jogger a Pocket Guide for Six Sigma Success. Primera Edición
GOAL/QPC 2002

IPC-A-610F Acceptability of Electronic Assemblies, 2016.

Lean Manufacturing Paso a Paso. Luis Socconini. Primera Edición 2008. Grupo Editorial Norma.

Sitio Web Minitab: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/supporting-topics/taguchi-designs/taguchi-designs/>