



**FACULTAD DE POSTGRADO
TESIS DE POSTGRADO**

**CONTROL ESTADÍSTICO EN PROCESO DE COLOCACIÓN DE
COMPONENTES SMD SEGÚN NORMA IPC-A-610 EN
EMPIRE ELECTRONICS**

SUSTENTADO POR:

VÍCTOR RENÉ ACOSTA PINEDA

SERGIO LEONEL ARGÜELLO VILLATORO

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE
MÁSTER EN DIRECCIÓN EMPRESARIAL**

SAN PEDRO SULA, CORTÉS, HONDURAS, C.A.

ENERO, 2018

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

UNITEC

FACULTAD DE POSTGRADO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

MARLON BREVÉ REYES

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

VICERRECTORA ACADEMICA

DESIREE TEJADA CALVO

VICEPRESIDENTE UNITEC CAMPUS SPS

CARLA MARÍA PANTOJA

DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO

JOSE ARNOLDO SERMEÑO LIMA

**CONTROL ESTADÍSTICO EN PROCESO DE COLOCACIÓN DE
COMPONENTES SMD SEGÚN NORMA IPC-A-610 EN
EMPIRE ELECTRONICS**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE**

**MÁSTER EN
DIRECCIÓN EMPRESARIAL**

ASESOR METODOLÓGICO

TULIO ARNALDO BUESO JACQUIER

ASESOR TEMÁTICO

JUAN CARLOS MUÑOZ MAYES

MIEMBROS DE LA TERNA:

ABEL SALAZAR

JOSUÉ GALEL

LUIS RUIZ

DERECHOS DE AUTOR

© Copyright 2017

VÍCTOR RENÉ ACOSTA PINEDA
SERGIO LEONEL ARGÜELLO VILLATORO

Todos los derechos son reservados



FACULTAD DE POSTGRADO

CONTROL ESTADÍSTICO EN PROCESO DE COLOCACIÓN DE COMPONENTES SMD SEGÚN NORMA IPC-A-610 EN EMPIRE ELECTRONICS

NOMBRE DE LOS MAESTRANTES:

VÍCTOR RENÉ ACOSTA PINEDA

SERGIO LEONEL ARGÜELLO VILLATORO

Resumen

La presente investigación habla sobre la implementación de control estadístico para el proceso de colocación de componentes SMD (Surface Mount Devices) o componentes de montaje superficial, en el rubro de tarjetas electrónicas automotrices elaboradas por la empresa Empire Electronics en Honduras. Para dicho fin, se realizó la recopilación de datos de muestras aleatorias en el proceso mencionado para la obtención de información necesaria para la determinación del cumplimiento de la Norma IPC-A-610 en su categoría de Clase 3. Para la comprobación de esta hipótesis sobre el apego o cumplimiento del producto resultante a la regulación mencionada, se realizó el análisis de capacidad de proceso, evaluando los factores de materia prima y máquina, como factores de relación directa al estudio. Se elaboraron los gráficos de control para evaluación del personal involucrado, así como el entrenamiento respectivo para abordar la parte operativa del problema, así como la analítica en cuanto a los resultados obtenidos. Con lo anterior, se buscó brindar las soluciones de proceso operativo, que aliviaran o eliminaran el problema de Empire Electronics, al tiempo que se presentó un modelo de aplicación de control estadístico para la estandarización a lo largo de sus productos.

Palabras claves: Automotriz, Control estadístico, IPC-A-610, Ishikawa, Mejora Continua



FACULTY OF GRADUATE STUDIES

**STATISTICAL CONTROL ON SMD COMPONENT PLACEMENT PROCESS BASED
ON IPC-A-610 STANDARD AT EMPIRE ELECTRONICS**

AUTHORS:

**VÍCTOR RENÉ ACOSTA PINEDA
SERGIO LEONEL ARGÜELLO VILLATORO**

Abstract

The present investigation talks about the implementation of statistical control for the SMD (Surface Mount Devices) placement process for automotive printed circuit boards manufactured by the company Empire Electronics in Honduras. To achieve this, the collection of data from random samples was carried out in the aforementioned process to obtain information necessary to determine compliance with the IPC-A-610 Standard in its Class 3 category. For the verification of this hypothesis regarding said compliance of the resulting product to the aforementioned regulation, the process capacity analysis was carried out, evaluating the factors of raw material and machine, as factors of direct relation to the study. The control charts were drawn up to evaluate the personnel involved, as well as the respective training to deal with the operative part of the problem, as well as the analytical in terms of the results obtained. With the above, we sought to provide solutions to the operating process, which will alleviate or eliminate the problem of Empire Electronics, while a statistical control application model was presented for standardization throughout its products.

Key Words: Automotive, Continuous Improvement, IPC-A-610, Ishikawa, Statistical Control

DEDICATORIA

A pesar de sonar un poco egocentrista primero quisiera dar mérito de este logro a mi persona que no dejo que las dificultades o límites se interpongan en el logro de mis metas, luego quisiera dedicar a todas las personas que se han presentado en mi vida ya que crearon pilares fundamentales en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida y mi familia por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. A mi hijo Víctor Rene Acosta Alvarado por ser un motor para seguir adelante en mi formación académica y profesional; por siempre está presente en cada etapa de esta maestría tomando su biberón mientras yo estudiaba o elaboraba algún trabajo a lo largo de esta maestría. Sobre todo, quisiera dedicar este trabajo a mi Esposa Diana Carolina Alvarado por su comprensión en todo el trayecto de esta maestría. Por último, pero no menos importante quisiera dedicar a mi compañero de tesis y amigo por ser apoyo para seguir adelante hasta la culminación de esta y a todos los amigos/amigas que en algún momento fueron de ayuda para la culminación de la maestría.

Víctor René Acosta Pineda

Le dedico la culminación de este proyecto primeramente a Dios, por darme la fortaleza y la guía a lo largo de este proyecto académico y profesional; a mis padres Alicia Romero y Sergio Argüello, quienes me acompañaron a lo largo de mi carrera académica, apoyándome y dándome sus consejos, los cuales me han traído hasta este punto. También dedico este proyecto a mi media naranja, Sarahí Mendoza, quien vio el comienzo y el fin de esta trayectoria, y siempre estaba ahí para brindarme su cariño en las largas jornadas de estudio y trabajo. Del mismo modo, agradezco a todas las personas que aportaron su granito de arena para que el día de hoy, yo pueda estar cruzando esta meta.

Sergio Leonel Argüello Villatoro

AGRADECIMIENTO

Deseamos agradecer a las siguientes entidades y personas que permitieron la realización de nuestra investigación: a Empire Electronics por permitirnos el acceso a sus procesos y a la Biblioteca CRAI por brindarnos información literaria necesaria para el estudio. También deseamos agradecer a nuestros asesores, Tulio Bueso y Juan Muñoz, quienes nos orientaron diligentemente y compartieron sus conocimientos con nosotros.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	2
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA	4
1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	5
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO	5
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.5 JUSTIFICACIÓN	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 ANTECEDENTES Y DEFINICIONES SMT.....	8
2.1.1 TECNOLOGÍA SMT.....	8
2.2 COMPONENTES DE UN SMD.....	8
2.2.1 Los SMD Pasivos.....	8
2.3 CADENA PRODUCTIVA.....	9
2.4 MINIATURIZACIÓN.....	12
2.4.2 ECONOMÍA DE ESCALAS	16
2.6 IPC.....	18
2.6.1 NORMA.....	19
2.6.2 CLASIFICACIÓN	19
2.6.3 DEFINICIÓN DE LOS REQUISITOS.....	20
2.7 CONTROL ESTADÍSTICO.....	23

2.7.1 ANTECEDENTES.....	23
2.7.2 DIAGRAMA DE CAUSA – EFECTO.....	24
2.7.3 HISTOGRAMAS.....	25
2.7.4 GRÁFICA DE CONTROL.....	25
2.8 ANÁLISIS DEL MACRO-ENTORNO	25
2.8.1 CADENA PRODUCTIVA DE LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA	25
2.8.2 INDICADORES CLAVES GLOBALES, 2014	28
2.8.3 SEGMENTACIÓN GEOGRÁFICA	29
2.9 ANÁLISIS DEL MICRO-ENTORNO.....	30
2.10 ANÁLISIS DEL INTERNO.....	32
2.10.1 ESTRATEGIAS A LARGO PLAZO	32
2.10.2 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS SITUACIONAL.....	33
2.11 TEORÍAS DE SUSTENTO.....	36
2.11.1 CALIDAD.....	37
2.12 MEJORA CONTINUA	40
2.13 MAQUINARIA E IMPLEMENTOS SMT	63
2.13.1 IFLEX (COLOCACIÓN DE COMPONENTES).....	71
2.13.2 HORNO DE REFLUJO	74
2.13.3 PASTA DE SOLDAR.....	76
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	78
2.8 CONGRUENCIA METODOLÓGICA	78
3.2 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES	80
3.4 HIPÓTESIS	82
3.5 ENFOQUE Y MÉTODOS	82
3.6 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	84

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS	85
4.1 GRADO DE OCURRENCIA	85
4.1.1 COMPONENTES DESFASADOS	85
4.1.2 PARETO DE DESFASES	86
4.1.3 ANÁLISIS DE CAUSA Y EFECTO PARA DESFASE DE COMPONENTES.....	88
4.1.4 DESPLAZAMIENTO LATERAL	89
4.1.5 CÁLCULO DE LA MUESTRA	92
4.1.6 GRÁFICOS DE DISTRIBUCIÓN	94
4.1.7 DIMENSIONES DE MATERIA PRIMA	99
4.1.8 PRECISIÓN DE MÁQUINA	106
4.2 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS	107
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
5.1 CONCLUSIONES.....	109
5.2 RECOMENDACIONES.....	110
CAPÍTULO VI. APLICABILIDAD	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
ANEXOS.....	116

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tamaños de huella (footprint) en mm ² para condensadores.	13
Ilustración 2. Comparación de tamaños vs. Vida útil mediante 3 series SMD	14
Ilustración 3. Cuarzos con formas constructivas más pequeñas	15
Ilustración 4. Punto óptimo de Producción	17
Ilustración 5. Cadena Productiva de la Industria Electrónica.....	27
Ilustración 6. Producción de la industria geográficamente.	29
Ilustración 7. Consumo de la industria geográficamente.	30
Ilustración 8. Sitio web de proveedor PCG&G	33
Ilustración 9. Diagrama Representativo de Análisis FODA	34
Ilustración 10. Esquema de Teorías de Sustento	36
Ilustración 11. Diagrama del Ciclo de Deming	41
Ilustración 12. Flujo de Proceso Tecnológico	42
Ilustración 13. Ejemplo Kanban de Retiro	44
Ilustración 14. Ejemplo de Kanban de Producción	44
Ilustración 15. Indicadores Lean Manufacturing	46
Ilustración 16. Representación de Modelo Lean	48
Ilustración 17. Esquema del JIDOKA	50
Ilustración 18. Función de Densidad de Probabilidad Normal	53
Ilustración 19. Función de Densidad de las Medias Maestrales.....	55
Ilustración 20. Muestra de Panel y Módulo	64
Ilustración 21. Muestra de Fiducial	64
Ilustración 22. Selección de varios componentes SMD	64
Ilustración 23. Bote de pasta ALPHA SAC305	65
Ilustración 24. Muestra de KanBan de producción	66
Ilustración 25. Máquina Board Loader (cargado de tarjetas)	67
Ilustración 26. Máquina stencil printer (impresora de pasta)	67
Ilustración 27. Máquina SPI (inspección de pasta para soldar)	68
Ilustración 28. Máquina IFLEX (colocación de componentes)	68
Ilustración 29. Horno de Reflujo	69
Ilustración 30. Buffer de almacenamiento	69

Ilustración 31. Máquina de inspección automática (AOI)	70
Ilustración 32. Máquina ICT	70
Ilustración 33. Máquina magazine loader (cassetera)	71
Ilustración 34. Brazos magnéticos con cabezales para colocación de componentes.	72
Ilustración 35. Precisión de Colocación	73
Ilustración 36. Toolbit	73
Ilustración 37. Unidad T-head que sostiene los toolbits.	74
Ilustración 38. Perfil Térmico	75
Ilustración 39. Proceso de Reflujo de la pasta, de crudo a sólido (izquierda a derecha)	77
Ilustración 40. Hoja de Especificación de Pasta.....	77
Ilustración 41. Diseño de Enfoque Metodológico.....	83
Ilustración 42. Pareto Desfases Agosto	86
Ilustración 43. Pareto Desfases Septiembre	86
Ilustración 44. Pareto Desfases Octubre.....	87
Ilustración 45. Diagrama Ishikawa sobre Problema estudiado.	89
Ilustración 46. Comparación PAD vrs Resistencias.....	90
Ilustración 47. Cuadrantes de Desfase de Componentes.....	91
Ilustración 48. Proceso Eje Y, Cuadrante 1.....	94
Ilustración 49. Proceso Eje Y, Cuadrante 2.....	95
Ilustración 50. Proceso Eje Y, Cuadrante 3.....	95
Ilustración 51. Proceso Eje Y, Cuadrante 4.....	96
Ilustración 52. Proceso Eje X, Cuadrante 1.....	97
Ilustración 53. Proceso Eje X, Cuadrante 2.....	97
Ilustración 54. Proceso Eje X, Cuadrante 3.....	98
Ilustración 55. Proceso Eje X, Cuadrante 4.....	98
Ilustración 56. Forma de Resistor.....	100
Ilustración 57. Tendencia de mediciones de ancho del resistor	102
Ilustración 58. Tendencia de mediciones de largo del resistor.....	102
Ilustración 59. Gráfica de Medidas X de pad R14	105
Ilustración 60. Gráfica de Medidas Y de pad R14	105
Ilustración 61. Comprobación de hipótesis	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Indicadores Claves Globales	28
Tabla 2. Participación en la Producción por región	28
Tabla 3. Principales Empresas de la Industria.....	28
Tabla 4. Plazos de Índices de Capacidad de Proceso	57
Tabla 5. Decisiones relacionadas al Valor de Cp.....	59
Tabla 6. Matriz Metodológica.....	79
Tabla 7. Operacionalización de Variables.....	81
Tabla 8. Medidas PAD vrs Resistencias	90
Tabla 9. Datos de Desfase de Componente R14	93
Tabla 10. Medidas ancho y largo de resistor.....	101
Tabla 11. Dimensiones físicas de paneles	103
Tabla 12. Medidas de Pad X,Y de la posición R14.....	104
Tabla 13. Cotejo de coordenadas de colocación	106
Tabla 14. Definición de precisión de colocación de componentes	107

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente capítulo tiene como finalidad el desarrollo de la investigación y planteamiento del problema, siendo este último el que ayuda a dar el enfoque a la investigación, para lo cual se tomaron en cuenta los siguientes elementos: introducción, antecedentes del problema, definición del problema, objetivos del proyecto y justificación del proyecto. De esta manera será más fácil para el lector poder apreciar a dónde va el proyecto y tener un mejor entendimiento y comprensión del mismo.

1.1 INTRODUCCIÓN

Los procesos de colocación de componentes SMD (Surface Mount Devices) o dispositivos de montaje superficial, requieren un alto nivel de precisión para poder apegarse a la norma IPC-A-610, de la cual se desprenden los criterios de aceptabilidad para el ensamble de las tarjetas de circuito impreso (PCB), por sus siglas en inglés. Por lo tanto, en el presente informe se busca abordar dicha temática bajo el lente del control estadístico de proceso, específicamente, para el rubro automotriz, entorno a los procesos de la división PCBA de Empire Electronics of Honduras.

En lo que respecta a la colocación de los componentes electrónicos en el proceso realizado en la línea de montaje, actualmente, no se cuenta con un modelo de evaluación estadística que verifica el cumplimiento de la norma antes mencionada en cuanto a la precisión de los componentes colocados sobre la PCB, lo que a su vez genera incertidumbre en cuanto al control que se tiene sobre las evaluaciones dimensionales de las PCB en los procesos de producción del día a día. Por consiguiente, haciendo uso de la metodología para la mejora continua en la cual un proceso para poder llevarse a un estado de mejora, primero debe estar en control, se procede a realizar la indagación numérica para evaluar el desempeño de la máquina y proceso, como tal, utilizada para la ejecución de dicha tarea dentro de la dinámica de producción de tarjetas PCB.

Para llevar a cabo la evaluación del proceso mencionado se hará uso de las herramientas con las que cuenta la organización, mediante mediciones realizadas con el equipo de Laboratorio con el que se dispone. Estas mediciones involucran uso de microscopios de medición que permitan adjudicar un valor a las características que se pretenden medir. Este laboratorio forma parte del proceso de control de la organización y se caracteriza por realizar pruebas y mediciones pertinentes para cumplir las exigencias de los clientes.

Con la ejecución de esta investigación se busca proveer a la empresa de un modelo a seguir para la implementación de un proceso de control estadístico sobre el proceso de colocación SMD, del cual carece actualmente y que, por consiguiente, no brinda una evidencia tangible del apego a la norma IPC-A-610. La exigencia de estar conforme a esta norma resulta o se debe al factor de cotización de mercado, ya que al poder controlar el proceso SMT bajo una perspectiva clase 3 de la norma, brinda una ventaja competitiva en el mercado de proveedores de tarjetas de circuito impreso; sobre todo como proveedores con calificación positiva para los ensambladores norteamericanos.

1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Empire Electronics of Honduras (EEH) comienza operaciones en 1977 instalando su maquila en la zona industrial de procesamiento Calpules, sobre el Km. 7 carretera a la Lima. EEH se dedica a la fabricación de arneses electrónicos, componentes sobre moldeados y tarjetas de circuito impreso. Actualmente cuenta con más de 2,000 empleados distribuidos a lo largo de 17 naves industriales; incluyendo Corte, Moldeo, Potting, Ensamble, PCB.

La instauración del proceso conocido como PCB surge a raíz de la visión de los dueños de esta organización, los señores Doman, acerca del futuro de los componentes automotrices. Esta visualización gira entorno a las capacidades de iluminación de los vehículos, ya sea en sus lámparas delanteras, direccionales o en sus luces traseras; las cuales poco a poco migran de los ya conocidos bulbos de ignición y dan paso a los diodos luminiscentes (LED) que proveen un mayor alcance en el espectro de luz, menor consumo energético y de mayor durabilidad. Esta nueva tendencia en componentes cada vez más pequeños, hizo que EEH optara por aventurarse en un campo de manufactura maquilera que no había sido explorado en territorio hondureño, pasando de arneses

eléctricos comunes para llegar a lámparas completas construidas con el fin de cumplir funciones de iluminación integrales para el mercado automotriz americano y europeo.

Bajo esta línea de pensamiento se comenzó con el proceso de SMT en EEH, para ellos se trabaja con máquinas de posicionamiento de componentes SMD que trabajan con cabezales de succión que recogen los componentes de los carretes en los cuales vienen dispuestos de proveedor, y mediante brazos electromagnéticos, se traslada el componente hasta el punto de colocación; esta última es dada por el algoritmo de posicionamiento derivado de la programación de la máquina que a su vez es alimentada por los archivos de distribución X,Y provenientes de cliente, quien es el que estipula la colocación de cada componente sobre la tarjeta de circuito impreso. Derivado de este proceso de colocación, se encuentran las interrogantes centrales de la presente investigación, ya que se requiere constatar la precisión de la máquina para la posición de cada componente, tanto en relación a los puntos de la tarjeta donde se debe colocar dicho componente, así como el cumplimiento de centrado o desplazamiento de los componentes una vez que son colocados, todo bajo la perspectiva de la norma IPC-A-610.

El proceso de SMT cuenta con sistema de revisión en línea que permite ver y evaluar el componente colocado en cada panel procesado; sin embargo, esta evaluación se basa en criterios visuales, es decir, un comparativo de imágenes de una base de datos dictaminada como aceptable y respecto a esta, la máquina de inspección óptica realiza la evaluación de si el componente es el correcto y si está posicionado adecuadamente. Esto deja ver la deficiencia de una estructura de control estadístico en donde se pueda evaluar la efectividad o el desempeño del proceso como tal, fundamentado en valores y no en subjetividad de la apreciación del personal que programa la máquina.

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El mercado de tarjetas de circuito impreso para industria automotriz es cada vez más exigente y por lo tanto cada fábrica ensambladora empuja por mejorar sus procesos a manera de cumplir a cabalidad con dichos requerimientos, sobre todo debido a la gran variedad de procesos que engloba la producción de una tarjeta PCB. Para poder ser suplidores de renombre, confiables y con ventaja competitiva, es necesario para EEH cumplir con los estándares internacionales que dictaminan la aceptabilidad de los ensambles electrónicos, por tanto, debe cerciorarse que sus procesos sean capaces de lograr tal cometido. Para ello, debe, en primera instancia, medir lo que está ocurriendo al interior de los mismos, y un ejemplo de esto es la colocación del componente SMD, la precisión que este proceso requiere y la importancia de cumplir con las normas previas estipuladas, para poder ser visto por los clientes actuales y los potenciales, como una fábrica de clase mundial que pueda satisfacer la demanda de operación y con los criterios de calidad considerados como aceptables para el proceso.

1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

En vista de que en Empire Electronics en su división PCBA, actualmente no hay un control estadístico concerniente al proceso de colocación de los componentes electrónicos sobre las tarjetas, no se puede determinar si dicha característica se encuentra en control según el estándar de desplazamiento contemplado en la norma IPC-A-610, por lo tanto, el cumplimiento del producto se ve cuestionado. Derivado de lo anterior, se ve la necesidad de implementar un procedimiento de control estadístico para evaluar el proceso de colocación de componentes, en su precisión y capacidad, y así determinar el apego a la norma antes mencionada.

1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La carencia de un control de proceso estadístico para la colocación de componentes SMD en el proceso SMT hacer surgir la siguiente interrogante:

¿Cuán preciso es el proceso/máquina actual de colocación de componentes SMD para ser capaz de cumplir con la norma IPC-A-610 Clase 3?

1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Como guía para el objetivo perseguido con la investigación se plantean las siguientes preguntas:

- 1.) ¿Cuál es la precisión de colocación de componentes SMD?
- 2.) ¿El producto ensamblado se apega a los criterios IPC-A-610 clase 3 en su totalidad?
- 3.) ¿Cómo se puede mejorar la precisión de colocación de los componentes en la máquina actual?

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos del proyecto tienen como finalidad señalar el horizonte hacia el cual se va a dirigir la investigación y debe expresarse con claridad, pues son la guía de estudio. A continuación, se presentan el objetivo general y específico de la investigación planteada.

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general describe a nivel macro el alcance de la investigación y el resultado de lo que se pretende alcanzar, y para efectos de esta investigación se resume en:

Proveer un modelo de sistema de control estadístico para el proceso de colocación SMD en ensamblajes electrónicos para Empire Electronics en la división PCBA.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los enunciados que se plantean a continuación delimitan la guía a seguir para el horizonte de la solución y brindar un panorama del objetivo general descrito anteriormente:

- 1.) Identificar el nivel de precisión de máquina en su capacidad de colocación de componentes SMD.
- 2.) Definir si el resultado actual de los procesos de colocación se apega en su totalidad a lo definido como Clase 3 para la norma IPC-A-610.
- 3.) Plantear mejoras al proceso de colocación componente SMT, precisión y capacidad.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Esta investigación surge a raíz de la necesidad existente en la división PCBA de Empire Electronics de tener un proceso de control estadístico, particularmente en la etapa de colocación de componentes SMD sobre la tarjeta de circuito impreso. Lo anterior es debido a que el hecho de no poseer datos estadísticos de dicho proceso, no se puede constatar que el proceso está en control, sino que únicamente se realizan inspecciones visuales, las cuales pueden dar pie a la subjetividad del evaluador.

Consecuentemente, es imperativo, que se cuente con una base estadística para poder evaluar que tan en control se encuentra el proceso, y representa el punto de partida para un proceso de optimización en busca de la mejora continua. La propuesta de modelo de control estadístico servirá para sentar las bases que le permitan a la empresa tener la evidencia concreta e información necesaria para entender su rendimiento de operación y de capacidad de cumplimiento con la norma IPC-A-610, la cual es la base de evaluación para todo criterio de ensamble electrónico, en especial para Clase 3, que dictamina los requerimientos para dispositivos de alto rendimiento y confiabilidad, tal como lo son los componentes automotrices. Esta norma establece en su sección 8.3.2.1 alusiva al posicionamiento de los componentes con terminaciones rectangulares, que el desplazamiento lateral aceptable es del 25% del ancho de la terminación de componente o pista, por lo que cualquier desplazamiento mayor a este se vuelve defecto. (Industries, 2017)

Durante el XXII Congreso Internacional de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Telecomunicaciones y Computación (INTERCON 2015), el líder de Al Delta “Innovación y Tecnología”, Andrés Laverde resaltó la importancia de la Certificación de Ensamblaje IPC 610, normativa internacional y manufactura electrónica llevando la industria a otro nivel. En este evento se reúnen exponentes de la industria electrónica para plantear oportunidades de desarrollo, así como mejoras a problemáticas actuales con el fin de impulsar la innovación y la tecnología.

Dicha certificación es el estándar de aceptación de ensamblajes electrónicos ampliamente usado en la industria electrónica mundial, desarrollada por el IPC (Association Connecting Electronics Industries), es utilizado para evaluar, integrar y emplear en el ensamble de tarjetas electrónicas ensambladas para diseñadores, investigadores, estudiantes, empresarios y otros.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

La tecnología de montaje superficial (SMT) utilizada en los procesos de producción en Empire Electronics, en su división PCBA, está siendo abordada en la temática de cumplimiento de la norma IPC-A-610 Clase 3, específicamente, entorno a la colocación de los componentes sobre las placas PCB, para determinar si cumplen con lo que esta norma pide en términos de desplazamiento. La recolección de datos y su posterior análisis, servirá para determinar dicho cumplimiento.

2.1 ANTECEDENTES Y DEFINICIONES SMT

2.1.1 TECNOLOGÍA SMT

La tecnología de montaje superficial o SMT (Surface Mount Technology) no es una tecnología nueva. Esta apareció en la década de los 60's y se desarrolló en la década de los 80's, debido a dos causas principales: Las necesidades de miniaturización, que han reducido en el tamaño y costo de los componentes de montaje superficial o SMD (Surface Mount Devices) desarrollando la tecnología de montaje superficial, la cual ha pasado por varias etapas: Convencional, Fine Pitch, Ultra Fine Pitch y en estos momentos BGA, COB, Flip Chip. (Cidei, 2012)

2.2 COMPONENTES DE UN SMD

Por su naturaleza son muy distintos a los componentes habituales con pines y pueden clasificarse en varias categorías:

2.2.1 LOS SMD PASIVOS

Existen una gran variedad de diferentes encapsulados utilizados en los componentes SMD pasivos. Sin embargo, la mayoría son como en los elementos convencionales pasivos: resistores o capacitores, por lo cual los tamaños de los encapsulados están razonablemente estandarizados.

Otros componentes como bobinas, cristales y otros tienden a tener necesidades individuales y por lo tanto sus propios encapsulados varían de acuerdo a las propiedades.

2.2.1.1 TRANSISTORES Y DIODOS (DISCRETOS)

Estos componentes discretos vienen presentados a menudo en un encapsulado pequeño de plástico. Las conexiones se realizan usando pines, que salen del encapsulado y asientan sobre el área de la placa. En el caso de los transistores al presentar 3 terminaciones, por la forma del encapsulado es imposible colocarlo mal.

2.2.1.2 CIRCUITOS INTEGRADOS

La variedad en los circuitos integrados como en los thru-hole, dependerán del nivel de conexiones internas como los pines que requiera el encapsulado. Algunos de baja escala pueden oscilar entre 8-10, o 14-16 pines, mientras que en procesadores o chips VLSI pueden ser necesarios hasta 200 o más. (Navarro, 2012)

2.3 CADENA PRODUCTIVA

El concepto de cadenas productivas se refiere, en su sentido más estricto, a todas las etapas comprendidas en la elaboración, distribución y comercialización de un bien o servicio hasta su consumo final. En otras palabras, se puede analizar una cadena productiva desde una perspectiva de los factores de producción. Es un conjunto de agentes económicos que participan directamente en la producción, transformación y el traslado hacia el mercado de un mismo producto. Tiene como principal objetivo localizar las empresas, las instituciones, las operaciones, las dimensiones y capacidades de negociación, las tecnologías, las relaciones de producción y las relaciones de poder en la determinación de los precios. (Tomta & Chiatchoua, 2009).

Así mismo, Tomta y Chiatchoua hablan sobre las perspectivas o enfoques de las cadenas productivas como tal, diferenciando entre lo tradicional y lo moderno.

- 1.) El enfoque tradicional caracteriza por ser del mismo tamaño para cada etapa del proceso. Es una dinámica secuencial porque para pasar a una etapa siguiente hay que dar por terminada la etapa anterior, por lo que el proceso se vuelve lento, estático y analógico, ya que no existe un efecto *feed-back* entre las diferentes etapas. Por tanto, en el enfoque tradicional, tanto el flujo de información como la secuencia práctica de los procesos, ocurre en un sentido unidireccional.
- 2.) Por otro lado, en el enfoque moderno se observa que tanto los proveedores, los productores, así como los consumidores forman parte de un mismo núcleo en donde las acciones de los dos primeros actores se hacen en la medida del tercer actor (consumidor). También se aprecia un trabajo colaborativo y sistemático, por lo que el proceso se vuelve ágil y escalable. Todo lo anterior conlleva a que todas las empresas que participan en la cadena puedan crecer. En este sentido, se interpreta un vínculo asociativo de los actores, lo cual permite que de forma cíclica se trabaje el proceso de la cadena.

Si bien el enfoque de cadenas productivas es relativamente nuevo en Latinoamérica, se usa desde hace décadas para orientar el trabajo en otros países, principalmente europeos. Este enfoque, desarrollado en Europa en los años setenta, ha permitido mejorar la competitividad de varios productos de primer orden (leche, carne, vino, etcétera) promoviendo la definición de políticas sectoriales consensuadas entre los diferentes actores de la cadena.

Contrariamente a lo que se piensa a veces, las cadenas no son estructuras que se construyen desde el Estado: existen desde hace mucho tiempo y siempre existirán. El análisis de cadenas es solo una herramienta de análisis que permite identificar los principales puntos críticos que frenan la competitividad de un producto, para luego definir e impulsar estrategias concertadas entre los principales actores involucrados.

Una definición sencilla puede ser: “Una cadena productiva es un sistema constituido por actores y actrices interrelacionados y por una sucesión de operaciones de producción, transformación y comercialización de un producto o grupo de productos en un entorno determinado”. (Espinoza, 2006)

2.3.1 LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Una línea de producción la forman una serie de estaciones de trabajo ordenadas para que los productos pasen de una estación a la siguiente y en cada posición se realice una parte del trabajo total. La velocidad de producción de la línea se determina por medio de su estación más lenta. Las estaciones de trabajo con ritmos más rápidos, llegan a verse limitados por la estación más lenta, que representa un cuello de botella. La transferencia del producto a lo largo de la línea por lo general se realiza mediante un dispositivo de transferencia mecánica o sistema de transporte, aunque algunas líneas manuales simplemente pasan el producto a mano entre las estaciones. Las líneas de producción se asocian con la producción masiva. Si las cantidades del producto son muy grandes y el trabajo se va a dividir en tareas separadas que pueden asignarse a estaciones de trabajo individuales, una línea de producción es el sistema de manufactura más apropiado. (Groover, 2007).

Siguiendo las consideraciones de Groover, las líneas de producción se pueden categorizar en 3 diferentes tipos:

- 1.) Una línea de modelo único: la cual produce sólo un modelo y no hay variaciones en él. Por lo tanto, las tareas que se realizan en cada estación son iguales sobre todas las unidades de productos que se elaboran en la cadena productiva de la fábrica.
- 2.) Una línea de modelo por lotes: es la que produce cada modelo en lotes. Las estaciones de trabajo se configuran para producir la cantidad deseada del primer modelo y después se reconfiguran para producir la cantidad requerida del modelo siguiente, y así sucesivamente. Con frecuencia, los productos ensamblados usan este enfoque cuando la demanda de cada producto es media. En este caso, la economía favorece el uso de una línea de producción para varios productos en

vez de usar líneas separadas para cada modelo, lo cual puede provocar que los costes se incrementen en la medida que avancen.

3.) Una línea de modelo mixto: también produce varios modelos; sin embargo, éstos se entremezclan en la misma línea, en lugar de producirse por lotes. Mientras un modelo particular se trabaja en una estación, se procesa uno distinto en la siguiente estación. Cada estación está equipada con las herramientas necesarias y es capaz de realizar las tareas que se requieren para producir cualquier modelo que se requiera. Muchos productos para el consumidor se ensamblan en líneas de modelo mixto.

Por consiguiente, las diferentes consideraciones para el montaje de línea de producción van de la mano con la consecución del objetivo productivo, haciendo que los elementos conjuntos del proceso se integren y funcionen apropiadamente, de modo que cada elemento productivo cumpla con su respectivo rol. El tiempo, los espacios, el transporte y el tipo de producto son solo algunos de los factores a considerar para desarrollar una cadena productiva y lograr el máximo provecho de la misma; bajo una correcta dirección y administración de recursos.

2.4 MINIATURIZACIÓN

La miniaturización es la tendencia de reducir el tamaño de los componentes electrónicos utilizados en la fabricación de tarjetas electrónicas de circuito impreso. La tecnología de montaje superficial con componentes SMD viene a sustituir a los componentes más grandes utilizados en la tecnología de agujero pasante. En la revista de Diario Electrónico Hoy, se habla sobre como los componentes con cableado también se sustituyen por esta tecnología, siempre que sea posible. Las formas constructivas 0201, 01005 y más pequeñas se utilizan principalmente en el mercado de la telefonía móvil y de las tablets y, por lo tanto, no afectan de manera inmediata al sector de la distribución. Las redes de resistencias, es decir, hay varias resistencias en una carcasa, también permiten la reducción de la necesidad de espacio en la placa de circuitos impresos. Además, se ofrecen variantes de alta potencia que ofrecen el doble de potencia con la misma forma constructiva de la carcasa. Otra miniaturización también tiene lugar en el sector de las resistencias de medición de corriente SMD. Las nuevas tecnologías de producción permiten mayores cargas con la misma forma constructiva.

En el caso de los condensadores de tántalo, que generalmente se incluyen entre los componentes más grandes, se ha podido reducir la forma constructiva en los últimos 20 años hasta tal punto que ya solo necesitan aproximadamente el 25 % del espacio necesario en la placa de circuitos impresos. La optimización constante de la materia prima, el diseño bien pensado del componente y las nuevas tecnologías de producción han permitido en los últimos años una eficiencia de volumen creciente, de manera que se han podido producir capacidades cada vez mayores con la misma forma constructiva, o una carcasa constantemente más pequeña conservando la capacidad.

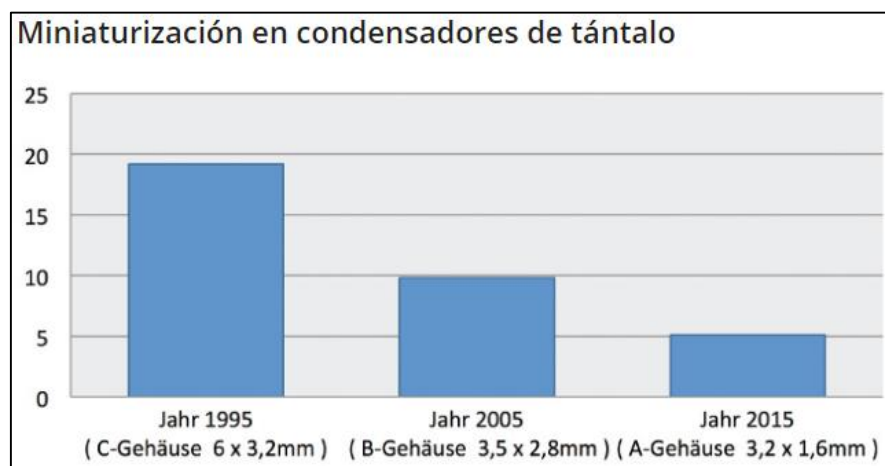


Ilustración 1. Tamaños de huella (footprint) en mm² para condensadores.

Fuente: (Diario Electrónico Hoy, 2014)

Cuando se habla de los componentes electrolíticos, los japoneses se han dado a la tarea de impulsar su desarrollo y las capacidades de miniaturización.

Mediante la optimización de la lámina de aluminio y del electrolito utilizado, por ejemplo, se puede aumentar la capacidad con la misma forma constructiva y se puede alargar varias veces la vida útil. La forma constructiva más grande es entretanto un producto de consumo puro, disponible a través de diferentes fabricantes. En el sentido del liderazgo tecnológico y para cumplir con la demanda del mercado de formas constructivas más pequeñas, resultan imprescindibles los nuevos desarrollos. De este modo, pueden surgir ventajas para los clientes si apuestan por nuevos

desarrollos en cuanto a la reducción de las necesidades de espacio en la placa de circuitos impresos o al número reducido de componentes.

Este desarrollo tampoco se detiene ante la conocida vida útil de los condensadores de electrolitos.

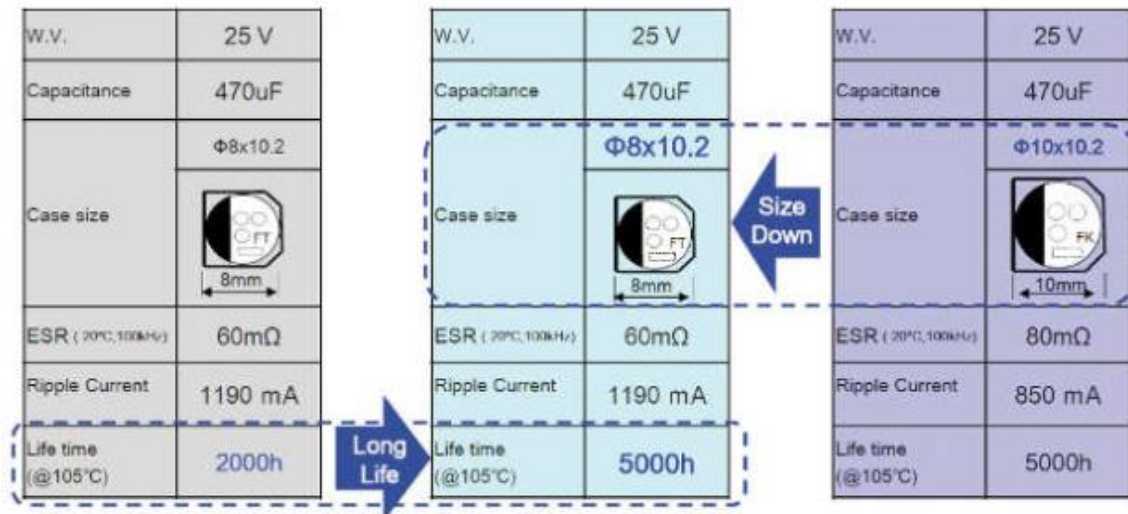


Ilustración 2. Comparación de tamaños vs. Vida útil mediante 3 series SMD

Fuente: (Diario Electrónico Hoy, 2014)

Por lo tanto, actualmente es posible representar vidas útiles considerablemente mayores en la misma forma constructiva, considerando que en general una vida útil mayor se relaciona en la mayoría de los casos con una forma constructiva más grande. O, como ya se ha mencionado anteriormente, con una tensión y una capacidad constantes se puede reducir la forma constructiva. En este caso se hace referencia a que una miniaturización de este tipo no significa obligatoriamente valores técnicos peores de ESR y de corriente de rizado. Como puede verse claramente arriba, incluso es posible mejorarlos a pesar de la forma constructiva más pequeña y a la vida útil mayor. Se trata de un desarrollo del que puede beneficiarse doblemente el cliente, ya que tiene que utilizar un número menor de componentes y, además, estos son aún más pequeños. Por lo tanto, en el caso de los condensadores de electrolitos se aconseja tener continuamente en cuenta los desarrollos actuales para adaptar los nuevos diseños de forma rentable.

Por otro lado, en las inductancias, resulta inicialmente contradictoria la combinación de parámetros básicos de alto valor de inductancia con resistencia óhmica baja y volumen reducido. Sin embargo, las innovaciones, como la tecnología multicapa y de moldeo mejoradas, hacen que actualmente esto sea posible. Así, actualmente se ha lanzado al mercado una inductancia de alta frecuencia de lámina fina con las dimensiones ultra pequeñas de 0,25 x 0,125 mm (008004) y todo ello con el mismo valor de calidad que la serie 01005 con una forma constructiva más grande.

Para los cuarzos se consideran las dimensiones de 3,2 x 2,5 mm como estándar, aunque ya se utilizan de manera extendida formas constructivas claramente más pequeñas como 2,0 x 1,6 mm. Algunos fabricantes recomiendan aplicar los tamaños de 2016 en los paneles de las placas de circuitos impresos de 3225. Esto no significa obligatoriamente que deba cambiarse el diseño.

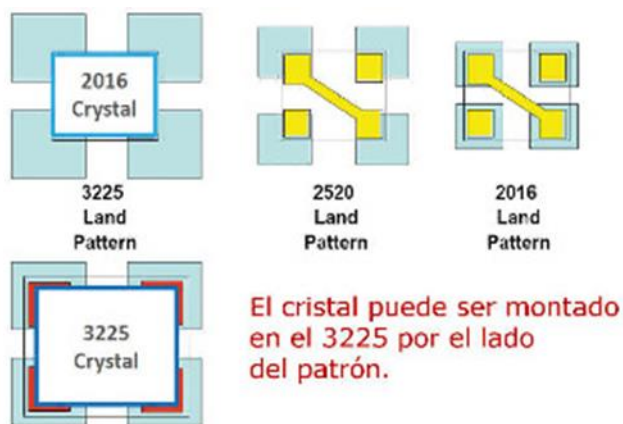


Ilustración 3. Cuarzos con formas constructivas más pequeñas

Fuente: (Diario Electrónico Hoy, 2014)

En los osciladores de cuarzo es posible integrar el elemento de cuarzo y el circuito oscilante en carcasas muy pequeñas, gracias a la tecnología MEMS y al diseño optimizado del chip. Además del ahorro de espacio en la placa de circuitos impresos, esta combinación soluciona también problemas de precisión y de calidad. (Oñate, 2017)

2.4.1 TECNOLOGÍA MEMS

En los Estados Unidos esta tecnología se conoce como Sistemas micro-electromecánicos (MEMS), en tanto que en Europa son llamados Tecnología de Microsistemas (MST). Para uno y otro polo de desarrollo tecnológico las diferencias de las denominaciones implican diferencias en las definiciones. En tanto que para los tecnólogos norteamericanos, los MEMS son principalmente dispositivos electromecánicos, fabricados mediante técnicas desarrolladas por la industria de la micro-electrónica, cuyas dimensiones se encuentran en el orden de los μm , basados principalmente en estructuras de silicio y que tienen un cierto grado de integración con circuitos electrónicos desarrollados en este mismo material, para los tecnólogos europeos se trata primordialmente de sistemas con un alto nivel de integración y miniaturización (también en el orden de los μm) que emplean diferentes tecnologías y materiales para fabricar componentes que son combinados en una sola unidad funcional. Una forma de entender las diferencias en las definiciones en este campo de investigación y desarrollo es que se trata en realidad de un reflejo de la diversidad de aplicaciones y tecnologías que intervienen en el desarrollo de los MEMS y MST. (México, 2016)

2.4.2 ECONOMÍA DE ESCALAS

Se denomina economía de escala a la situación en la que una empresa reduce sus gastos de producción al expandirse. Se trata de una situación en la que cuanto más se produce, el coste que tiene la empresa por fabricar un producto es menor. Se produce un mayor beneficio por cada unidad extra que producimos.

Esta reducción del coste de fabricación unitario no se reduce porque baje el precio de las materias primas sino de aprovechar un material que tenemos ya comprado y en el que invertimos dinero en el pasado. Por tanto, se da, sobre todo, en situaciones en las que la empresa compra más instalaciones. Si se compra una maquinaria, la forma de sacarle partido es produciendo más ya que es la forma de que se consiga un beneficio mayor, al aprovechar la misma maquinaria para producir más productos, el coste unitario de cada producto es menor; obteniendo más beneficio cuanto más se produce. Este beneficio va a ser mayor si no se tiene que incrementar los costes de fabricación dado que ya se ha hecho anteriormente.

En el momento en el que se haya cubierto el gasto que se supuso al comprar la maquinaria, se puede producir a coste cero. Esto es porque se está en una situación en la que se habrá conseguido ganar lo que se gastó en su día. A partir de entonces, el beneficio será mayor porque lo que se gane de producir no se le descontará lo que ha costado fabricarlo. Se dice que el coste por unidad producida será menor cuanto más se produce porque el cálculo se hace con una media dividiendo el gasto de la maquinaria entre el número de productos que se han fabricado. (Kiziryán, 2015)

Relación de Coste Unitario

Fuente: (Economipedia, 2017)

$$\text{Coste unitario} = \frac{\text{Coste máquina}}{\text{Número de productos fabricados}}$$

Sin embargo, la reducción del coste de fabricación de las economías de escala tiene un límite. Cuando la empresa alcanza un determinado tamaño, aunque la economía de escala haga que los costes unitarios sean menores, empieza a ser más complicado gestionar una empresa enorme por su necesidad de coordinación y naturaleza burocrática. Cuando una empresa reduce su beneficio unitario cuanto más produce se dice que está en una situación de economía des-escala.

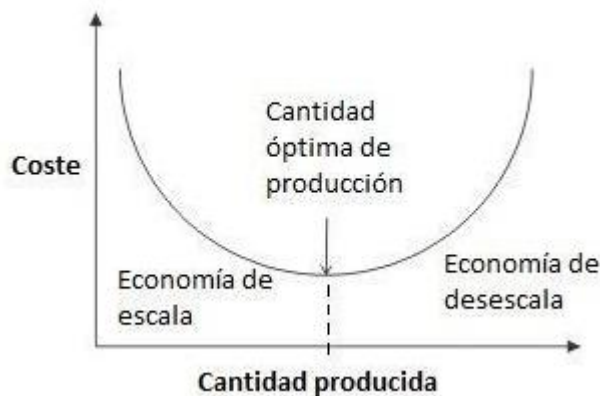


Ilustración 4. Punto óptimo de Producción

Fuente: (Economipedia, 2017)

Las economías de escala se pueden clasificar en dos tipos:

- 1.) **Interna:** Surgen dentro de la propia compañía. En este caso, la economía a escala responde a una estrategia planificada dentro de la empresa. Es decir, es la respuesta a una serie de medidas orientadas a la adopción de nuevas técnicas de producción. La dirección es, generalmente, el ente encargado de implementar este modelo y de comunicarlo al resto de áreas o dependencias de la compañía. El resultado siempre debe ser el mismo: menor inversión para obtener una mayor producción de artículos.
- 2.) **Externa:** Nacen de factores externos, como el tamaño de la industria. Por el contrario, este tipo de economía a escala es la que se genera por razones ajenas a la empresa, por ejemplo, las circunstancias geográficas, sociopolíticas, culturales, económicas, entre otras. Un ejemplo que ilustra este tipo de modelo es la bajada preferencial de impuestos de una empresa por parte del Gobierno o la autoridad tributaria, lo cual le ayudará a disminuir los costes de producción. En otras ocasiones, la mejora de factores como las carreteras o los recursos de comunicación también influyen positivamente en ese sentido. (Manzaneque, 2016)

2.6 IPC

Es una asociación de participantes de la industria electrónica mundial: diseñadores, fabricantes, ensambladores de equipos, productos o aparatos electrónicos, pero también entidades de gobierno y educativas. Fue fundado en 1957. Actualmente cuenta con más de 3700 miembros. Trabaja en normalización, certificación, educación, desarrollo profesional, estudios de mercado, programas industriales, de regulaciones y reconocimiento de la industria (www.ipc.org).

Proveen información rápida y a tiempo, de tendencias de mercado y tecnológicas, avances de la industria, mejores prácticas, estudios de mercado y reportes de la industria, ferias, conferencias técnicas y bases de datos del IPC

2.6.1 NORMA

Una norma o estándar técnico, es un documento basado en la ciencia, la tecnología, y también en la experiencia, aprobado por un organismo reconocido nacional o internacional, que establece características, exigencias o especificaciones, para alcanzar un producto, proceso o servicio de manera óptima. Existen diferentes organismos reconocidos, que certifican que productos, servicios o procesos están conformes, o cumplen con los estándares internacionales. (Delta, 2017)

2.6.2 CLASIFICACIÓN

Las decisiones de aceptar y/o rechazar deben estar basadas en la documentación aplicable, tales como contratos, dibujos, especificaciones, estándares y otros documentos de referencia. El criterio definido en este documento refleja tres clases de productos, que son como sigue:

2.6.2.1 CLASE 1 – ELECTRÓNICOS GENERALES

Incluye productos apropiados para aplicaciones donde el principal requisito es la funcionalidad del ensamble completo.

2.6.2.2 CLASE 2 –ELECTRÓNICOS DE SERVICIO DEDICADO

Incluye productos de los cuales se requiere un funcionamiento continuo y una vida útil extendida y para los que un servicio ininterrumpido es deseable pero no crítico. Típicamente el entorno de uso final no causaría fallos.

2.6.2.3 CLASE 3 –ELECTRÓNICOS DE ALTO RENDIMIENTO

Incluye productos para los que un funcionamiento continuo a alto rendimiento o un funcionamiento a demanda son críticos, el equipo inoperativo no es tolerable, el entorno de uso final pueda ser inusualmente duro y el equipo tiene que funcionar cuando se le requiere como en sistema de soporte de vida y otros sistemas críticos.

El cliente (usuario) tiene la última responsabilidad para identificar la clase a la cual el ensamble será evaluado. Si el usuario y el fabricante no establecen y documentan la clase del producto, el fabricante podrá hacerlo. (Industries, 2017, pp. 1-3)

2.6.3 DEFINICIÓN DE LOS REQUISITOS

Este documento provee el criterio de aceptación para los ensamblajes electrónicos terminados. Donde se presenten requerimientos que no puedan ser definidos con la condición de aceptables, indicador de proceso o defecto, se usará la palabra “debe” para identificar el requerimiento. La palabra “debe” en este documento, invoca un requerimiento para los fabricantes de todas las clases de producto, y la falla de no cumplir con el requerimiento es una falta de cumplimiento con este estándar.

Todos los productos deben cumplir con los requerimientos de los dibujos de ensamble, la documentación, y los requerimientos de la clase de producto según se especifica en este estándar. La falta de dispositivos o componentes son un Defecto en todas las clases de producto.

2.6.3.1 CRITERIO DE ACEPTACIÓN

Cuando sea requerido por contrato el IPC-A-610, como un el documento único para la inspección o aceptación, los requerimientos del IPC J-STD-001 "Requerimientos para Soldadura de Ensamblajes Eléctricos y Electrónicos" no aplican, a menos que sea requerido por separado y específicamente. Cuando este estándar sea requerido por contrato, los requerimientos aplicables (incluyendo la Clase de producto – ver 1.4.1) debe ser obligatorio en todos los sub-contratos aplicables. En caso de conflicto, se aplicará el siguiente orden de precedencia:

- 1.) Contrato u Orden de Compra está acordado y documentado entre cliente y fabricante.
- 2.) El dibujo o plano original del ensamble refleja los detalles de los requerimientos del cliente.
- 3.) El IPC-A-610, cuando sea invocado por el cliente, o por acuerdo contractual.

Cuando existan otros documentos diferentes al IPC-A-610, el orden de precedencia debe ser definido en el documento de procuración. El criterio se ha establecido para cada clase de producto en los cuatro niveles de aceptación: Condición Ideal, Condición Aceptable, y ya sea, Condición Defecto o Condición Indicador de Proceso.

2.6.3.2 CONDICIÓN IDEAL

Una condición que es casi perfecta y preferida, sin embargo, es una condición deseable y no siempre alcanzable, y pudiera ser no necesaria para asegurar la confiabilidad del ensamble en su ambiente de servicio. 1.4.1.2 Condición Aceptable Esta característica indica una condición que, aunque no es necesariamente perfecta, mantendrá la integridad y confiabilidad del ensamble en su ambiente de servicio.

2.6.3.3 CONDICIÓN DEFECTO

Un defecto es una condición que puede ser insuficiente para asegurar la forma, ajuste y función del ensamble en su ambiente de servicio. Las condiciones del Defecto deben ser determinadas por el fabricante, con base al diseño, servicio, y requerimientos del cliente. La disposición puede ser retrabajo, reparación, scrap o usar como está. La disposición reparar o “usar como está”, requiere una autorización del cliente. Un defecto para Clase 1 automáticamente implica defecto para Clases 2 y 3. Un defecto para Clase 2 implica defecto para Clase 3.

2.6.3.3.1 DISPOSICIÓN

La determinación de cómo deben ser manejados los defectos. Las disposiciones incluyen, pero no están limitadas a, retrabajo, usar tal y como está, scrap o desechar. (Industries, 2017, pp. 1-4)

2.6.3.4 CONDICIONES INDICADOR DE PROCESO

Un indicador de proceso es una condición (no un defecto), que idéntica una característica que no afecta la forma, encaje o función de un producto.

- 1.) Esta condición es un resultado de causas relacionadas con materia, diseño y/o operario o máquina, que crean una condición que no cumple con el criterio de aceptación, pero tampoco es un defecto.
- 2.) Los indicadores de proceso deberían ser monitorizados como parte del sistema de control del proceso. Cuando la cantidad de indicadores de proceso indica una variación anormal en el proceso o identifican una tendencia no deseable, el proceso debería ser analizado. Esto pudiera resultar en una acción enfocada en reducir la variación y mejor el rendimiento (yields).
- 3.) No se requiere una disposición una disposición de los indicadores del proceso individuales y el producto afectado debería utilizarse tal como está.

2.6.3.5 METODOLOGÍA DE CONTROL DE PROCESO

Se deberían utilizar metodología de control de proceso en la planificación, implementación y evaluación de los procesos de fabricación, utilizados para producir ensamblajes de soldadura eléctricos y electrónicas. La filosofía para la implementación de estrategias, herramientas y técnicas, pueden ser aplicados en diferentes secuencias, dependiendo de la empresa, operación u otras variables bajo consideración, para relacionar el control de proceso y la capacidad con los requisitos del producto final. El fabricante tiene que mantener evidencia objetiva del control del proceso actualizado y un plan de mejora continua, que debe estar disponible para su revisión. (Industries, 2017, pp. 1-5)

2.7 CONTROL ESTADÍSTICO

El objetivo del control estadístico de procesos (CEP) es obtener un proceso controlado usando técnicas estadísticas para reducir la variación continuamente. La reducción de la variación conduce a:

- 1.) Mejorar la calidad;
- 2.) Menores costos (residuos, desechos, reprocesos, reclamaciones, etc.)
- 3.) Mejor comprensión de la capacidad del proceso.

A fin de lograr un proceso controlado se debe seguir la siguiente secuencia de acciones:

- 1.) Registrar los datos medidos de la manera correcta (MSA)
- 2.) Analizar los datos registrados en la forma correcta (CEP)
- 3.) Tomar decisiones basadas en análisis realizados (OCAP)
- 4.) Registrar y controlar las acciones correctivas para evaluar los efectos (PDCA).

2.7.1 ANTECEDENTES

Aunque el control estadístico del proceso se observó en los años ochenta en la industria occidental como una herramienta muy útil para lograr mejoras, el origen está en los años veinte. En Estados Unidos, Walter Shewhart desarrollo métodos estadísticos que fueron utilizados en la industria para controlar la calidad. Dr. W.E. Deming desarrollo antes de la Segunda Guerra Mundial, basado en las ideas de Shewhart, la filosofía que era necesaria para implementar la aplicación práctica. En Estados Unidos había poco interés en ese momento para el mensaje de Deming. Entonces, inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial, la industria en los diversos países llegó de nuevo en funcionamiento, fue particularmente Japón quienes se dieron

cuenta de que era necesario un gran esfuerzo para competir con los países industrializados occidentales. (Datalyzer, 2015)

2.7.2 DIAGRAMA DE CAUSA – EFECTO

La variabilidad de una característica de calidad es un efecto o consecuencia de múltiples causas, por ello, al observar alguna inconformidad con alguna característica de calidad de un producto o servicio, es sumamente importante detallar las posibles causas de la inconsistencia. La herramienta de análisis más utilizada son los llamados diagramas de causa - efecto, conocidos también como diagramas de espina de pescado, o diagramas de Ishikawa. Para hacer un diagrama de causa - efecto se recomienda seguir los siguientes pasos:

- 1.) Elegir la característica de calidad que se va a analizar. Por ejemplo, en la producción de frascos de mermelada, la característica podría ser el peso del frasco lleno, la densidad del producto, los grados brix, etc. Trazamos una flecha horizontal gruesa en sentido izquierda a derecha, que representa el proceso y a la derecha de ésta escribimos la característica de calidad.
- 2.) Indicamos los factores causales más importantes que puedan generar la fluctuación de la característica de calidad. Trazamos flechas secundarias diagonales en dirección de la flecha principal. Usualmente estos factores causales se ven representados en Materias primas, Máquinas, Mano de obra, Métodos de medición, etc.
- 3.) Anexamos en cada rama factores causales más detallados de la fluctuación de la característica de calidad. Para simplificar ésta labor podemos recurrir a la técnica del interrogatorio. De ésta forma seguimos ampliando el diagrama hasta asegurarnos de que contenga todas las posibles causas de dispersión.
- 4.) Verificamos que todos los factores causales de dispersión hayan sido anexados al diagrama. Una vez establecidas de manera clara la relación causa y efecto, el diagrama estará terminado.

2.7.3 HISTOGRAMAS

Es un gráfico que muestra la frecuencia de cada uno de los resultados cuando se efectúan mediciones sucesivas. Éste gráfico permite observar alrededor de qué valor se agrupan las mediciones y cuál es la dispersión alrededor de éste valor. La utilidad en función del control de calidad que presta ésta representación radica en la posibilidad de visualizar rápidamente información aparentemente oculta en un tabulado inicial de datos.

2.7.4 GRÁFICA DE CONTROL

son diagramas preparados donde se van registrando valores sucesivos de la característica de calidad que se está estudiando. Estos datos se registran durante el proceso de elaboración o prestación del producto o servicio. Cada gráfico de control se compone de una línea central que representa el promedio histórico, y dos límites de control (superior e inferior). (López, *ingenieriaindustrialonline*, 2016)

2.8 ANÁLISIS DEL MACRO-ENTORNO

2.8.1 CADENA PRODUCTIVA DE LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA

En general, los productos electrónicos tales como televisores, equipos de cómputo o teléfonos celulares están formados por Ensamblajes de Circuitos Impresos, también conocidos como PCAs (Printed Circuit Assemblies, en inglés), componentes mecánicos (pueden ser metálicos y/o plásticos, como tapas, soportes, teclados, marcos de pantalla, bases, chasis, entre otros), material impreso (como etiquetas y manuales de servicio) y material de empaque. El ensamble PCA se encuentra en el interior de los productos electrónicos, por lo que no es visible para el usuario final y en general está compuesto por los siguientes componentes:

- 1.) Componentes Electrónicos: Los componentes electrónicos son dispositivos que se conectan entre ellos para formar un circuito electrónico. Los componentes electrónicos se pueden dividir en componentes activos (tales como diodos, displays, transistores, microprocesadores, circuitos integrados) y componentes pasivos (tales como circuitos impresos, también conocidos como PCBs por sus siglas en inglés, conectores, capacitores, inductores).
- 2.) Software “Embebido” (Embedded Software): El software es comúnmente llamado “embebido” debido a que se encuentra contenido en los circuitos integrados de tipo micro controladores. El software embebido lleva el control del sistema para que cumpla diferentes funciones y tareas.
- 3.) Circuitos Impresos o PCBs (Printed Circuit Board): El PCB es parte de los componentes pasivos, sin embargo, se mencionará de forma separada considerando su importancia.

El PCB es una tablilla, generalmente verde que se caracteriza por tener pistas o caminos grabados en los cuales se conectan los componentes electrónicos. Existen diferentes tipos de PCB: monocapa, de doble capa, multicapa, multicapa de alta definición, flexible, entre otros. Se puede decir que la fabricación de un PCB es a partir de una tablilla fenólica, la cual está compuesta por láminas de cobre y resinas. Por si sola la tablilla fenólica no es un PCB, para ello se requiere de químicos fotosensibles y corrosivos que se aplican a un diagrama de “pistas” previamente diseñado en la tablilla fenólica. Esta tablilla es posteriormente, poblada de componentes eléctricos, los cuales incluyen cables, arneses, conectores, fusibles y relevadores, entre otros, y se fabrican a partir de componentes conductores, sustratos químicos y procesos micro-mecánicos.

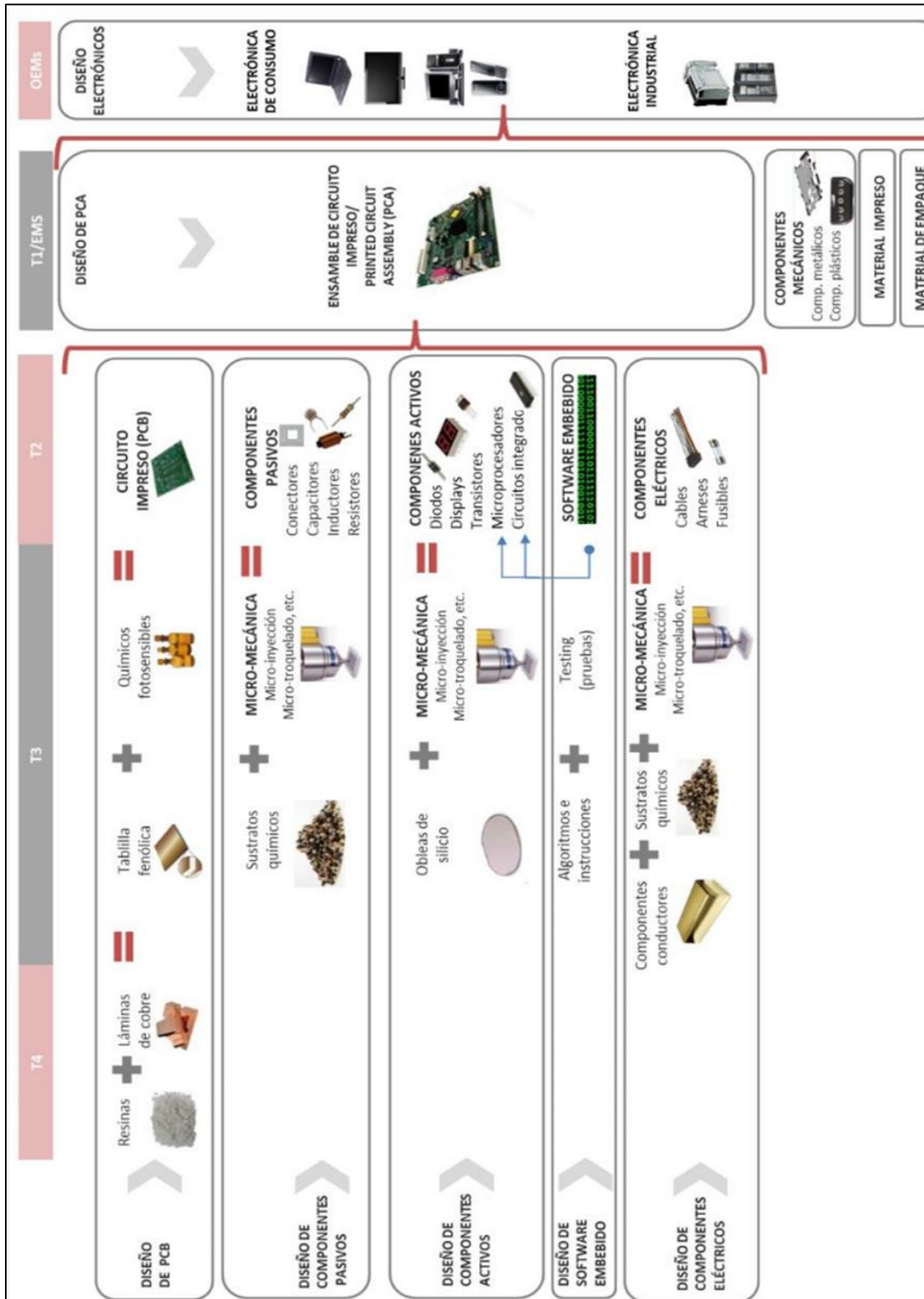


Ilustración 5. Cadena Productiva de la Industria Electrónica

Fuente: (PROMÉXICO, 2014).

2.8.2 INDICADORES CLAVES GLOBALES, 2014

Los siguientes indicadores de crecimiento de la producción de tablas PCB para la industria electrónica son obtenidas del estudio publicado por PROMÉXICO en el 2014 entorno a su participación en dicha industria.

Tabla 1. Indicadores Claves Globales

Producción 2014	3,789 miles de millones de dólares (mmd)
Tasa media de crecimiento anual (TMCA) real de producción 2014-2020	5.0%
Consumo 2014	3,730 mmd
TCMA real de consumo 2014-2020	4.5%

Tabla 2. Participación en la Producción por región

Participación en la Producción por Región	
Participación de Asia-Pacífico en la producción mundial de la industria electrónica	67%
Participación de América del Norte ² en la producción mundial de la industria electrónica	15%
Participación de la Unión Europea en la producción mundial de la industria electrónica	11%
Participación de Latinoamérica en la producción mundial de la industria electrónica	1%
Participación del resto del mundo en la producción mundial de la industria electrónica	6%

Tabla 3. Principales Empresas de la Industria

Compañías	Origen
Foxconn	Taiwán
HP	Estados Unidos
Samsung	Corea del Sur
Flextronics	Singapur
LG	Corea del Sur

2.8.3 SEGMENTACIÓN GEOGRÁFICA

En 2014, la región de Asia-Pacífico produjo la mayor parte del sector ya que cuenta con tres de los principales productores en el mundo: China, Corea del Sur y Taiwán. Norteamérica fue la segunda región más productiva seguida de la Unión Europea.

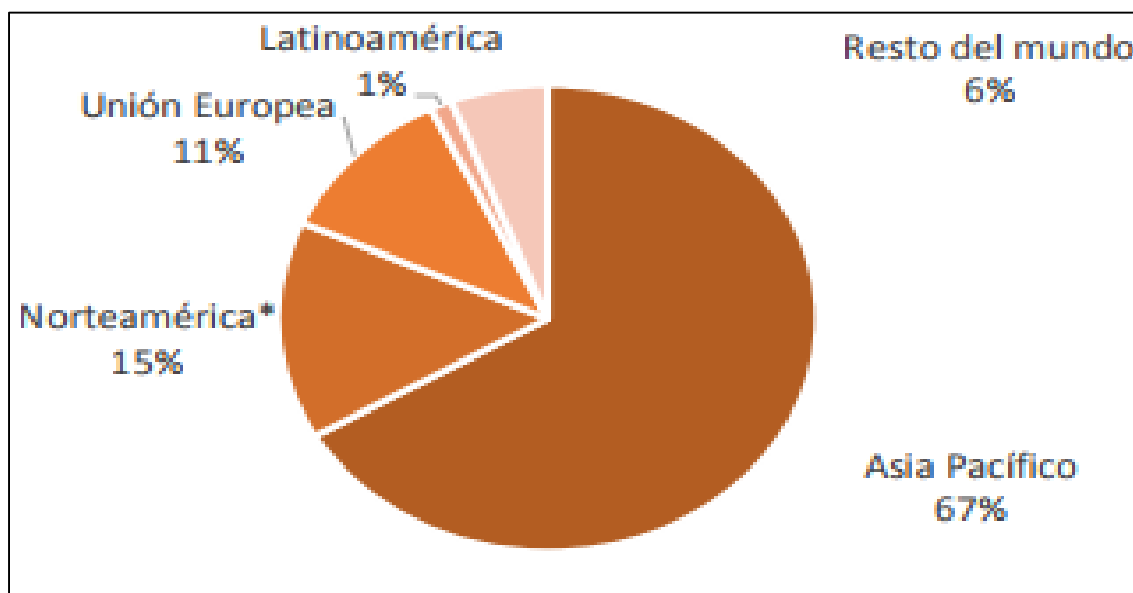


Ilustración 6. Producción de la industria geográficamente.

Fuente: (PROMÉXICO, 2014)

En 2014, los mayores consumidores de electrónicos fueron algunos de los países asiáticos como China, Japón y Taiwán lo cual contribuyó a que Asia-Pacífico se colocara como la región con mayor consumo de la industria. (PROMÉXICO, 2014)

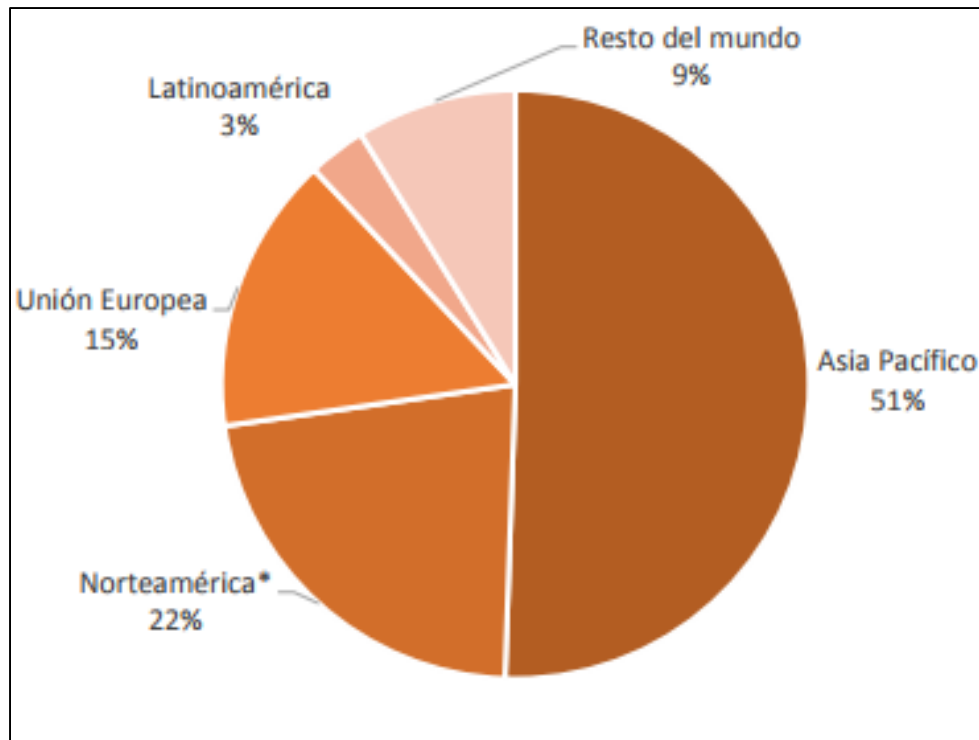


Ilustración 7. Consumo de la industria geográficamente.

Fuente: (PROMÉXICO, 2014)

2.9 ANÁLISIS DEL MICRO-ENTORNO

Honduras se propone convertirse en los próximos cuatro años en la principal plataforma de manufactura de partes para la industria automotriz en Latinoamérica. La meta es llevar al país del tercer puesto en la producción de estos artículos que ocupa actualmente al segundo, en cuatro años, y liderar la lista de países que abren sus mercados a la inversión en este tipo de industrias.

La producción de arneses para autos se ha diversificado y la empresa estadounidense Empire Electronics ya fabrica tarjetas electrónicas para autos inteligentes, el nuevo boom en la industria automotriz.

Honduras alberga a seis empresas del rango TR1 (Rango alto en inversión automotriz). Estas empresas están produciendo conjuntos tabulares, soldados y estampados para la industria automotriz y aeronáutica (Lear Corporation de EEUU); arneses para carros Hyundai, Sonata, Santa Fe, Kia optima y sistemas eléctricos para automotores (kyungshin Lear y Honduras Electrical Distribution Systems, esta última con capital de Lear, Hyundai y Kia).

También construyen conectores electrónicos la inglesa Delphi Automotive Systems Honduras, empresa ubicada en Zoli Green Valley Industrial Park, en Santa Bárbara. Esta empresa privada se fundó en 2011.

La producción de molduras de inyección de plástico, envasado, montaje de placas de circuitos impreso, sobremoldeo, montaje de arnés de cableado, fabricación de alambre y capacidades de montaje electrónico las realiza Empire Electronics.

En cuanto a sistemas de protección, servicio técnico de tubería de fluidos y ensamblaje, los realiza la francesa Delfingen; y las partes y diseño de interiores de vehículos la alemana Novem Car Interior Design.

Honduras es el tercer exportador de arneses electrónicos para vehículos a Estados Unidos y México en la región con volúmenes de exportación que alcanzaron los 680 millones de dólares en el año 2014; los 750 millones en el 2015 y más de 645 millones de dólares en el 2016. En este sector se contempla generar 95,000 empleos adicionales en los próximos cinco años mediante el desarrollo del clúster de autopartes y equipos eléctricos con mayor crecimiento en el continente. (Mejía, 2017)

2.10 ANÁLISIS DEL INTERNO

La novedad automotriz es la elaboración de tarjetas electrónicas para navegación, iluminación y control. En este campo ha incursionado la trasnacional estadounidense Empire Electronics, con sede en Michigan desde 1981 y cuya planta ensambladora comenzó operaciones en Honduras en 1997.

Las operaciones de fabricación de Empire Electronics se basan en una planta de 240,000 pies cuadrados. Esta instalación está integrada verticalmente y alberga molduras de inyección de plásticos para envasado, montaje de placas de circuitos impreso, sobre moldeo, montaje de arnés de cableado, fabricación de alambre y capacidades de montaje electrónico. La compañía cuenta con más de 2,000 empleados de ingeniería, dirección y montaje en el país. Todos estos productos son vendidos a los gigantes de la industria automotriz nivel mundial, como Ford, Chrysler, General Motor, Toyota, Nissan, entre otros. (Mejía, 2017)

Actualmente Empire Electronics en su división PCBA, cuenta con una certificación individual para la ISO/TS 16949 y una certificación en protección ESD denominada ANSI 20.20.

2.10.1 ESTRATEGIAS A LARGO PLAZO

- 1.) Integración vertical focalizada alrededor de la manufactura de PCBs, donde EEH posea su propio proceso de elaboración de tarjetas en bruto (Boardhouse), para ser procesadas en SMT, considerando que sus actuales proveedores son tanto de origen asiático como SPI (Shanghai Products International) y norteamericano, como PCG&G (Printed Circuits Girls & Geeks). (The Printed Circuit Girls & Geeks, 2017)
- 2.) Desarrollo de plataforma de trazabilidad exacta entorno a consumos SMD e inventarios.
- 3.) Adaptación de sistemas 3D para la nueva tendencia flexboard en sistemas de iluminación.



Ilustración 8. Sitio web de proveedor PCG&G

Fuente: (PCG&G, 2017)

2.10.2 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS SITUACIONAL

El Análisis Situacional es el punto de partida de todo Plan de Marketing. Debemos conocer bien cuáles son los factores internos y externos que influyen en nuestra organización. Es fundamental saber dónde estamos parados para saber hacia dónde queremos ir y cómo vamos a llegar. (Group, 2017)

2.10.2.1 ANÁLISIS FODA

Es una conocida herramienta estratégica de análisis de la situación de la empresa. El principal objetivo de aplicar la matriz FODA en una organización, es ofrecer un claro diagnóstico para poder tomar las decisiones estratégicas oportunas y mejorar en el futuro. Su nombre deriva del acrónimo formado por las iniciales de los términos: debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades. La matriz de análisis FODA permite identificar tanto las oportunidades como las amenazas que presentan nuestro mercado, y las fortalezas y debilidades que muestra nuestra empresa. (Espinosa, 2013)



Ilustración 9. Diagrama Representativo de Análisis FODA

Fuente: (Espinosa, 2013)

2.10.2.2 ANÁLISIS FODA ENTORNO EEH Y SU PROCESO PCBA

1.) Fortalezas

- 1.1) Laboratorio certificado por American Testing and Measurements (ATM), dedicado a los análisis cuantitativos para los procesos estadísticos de las diferentes áreas productivas.
- 1.2) Maquinaria alemana que permite mayor precisión para el proceso de producción lo cual hace más estable el análisis estadístico, por la consistencia del proceso.
- 1.3) Reconocimiento de su cartera de clientes, como proveedor ágil y adaptable a las demandas, capaz de mantener un proceso en control presentando evidencias del mismo.

- 1.4) Integrado verticalmente en numerosos procesos, convirtiéndose en una plataforma unificada para suplir expectativas de clientes, bajo las consideraciones y especificaciones especiales de cada cliente y sus controles respectivos.

2.) Oportunidades

- 2.1) Dada su capacidad de procesamiento, se prevé la incursión en tecnologías SMT especializadas, como las flex-board (tarjetas flexibles) y los componentes BGA (arreglo de bolas de soldadura), dichos aditamentos requieren un nivel de control estadístico más riguroso, para lo cual EEH apuesta por la capacidad de su proceso.
- 2.2) Tecnología micro-LED (diodo luminiscente) enfocado a lámparas de automóviles como remplazo total de bulbos, para lo cual se requiere un control de posicionamiento de componente, riguroso y estable.
- 2.3) Expansión de operaciones con la apertura de planta manufacturera en China, trasladando los sistemas de control estadístico y sistemas de calidad oriundos de Honduras, a esta nueva planta manufacturera, liderada por un equipo de ingenieros que armaron el sistema conjunto en Honduras.

3.) Debilidades

- 3.1) Toda la materia prima utilizada, así como el herramental de procesamiento, debe importarse de Estados Unidos y Asia, y muchas veces éstas no cuentan con especificaciones o parámetros que sirvan para el control estadístico del proceso.
- 3.2) El soporte técnico para las máquinas debe ser traído del extranjero, ya que no hay representantes locales, lo cual muchas veces dificulta poner a punto una maquina cuando esta arroja producto fuera de especificación, por lo que los paros se vuelven prologados.
- 3.3) No se cuenta con equipo de alta precisión para aspectos de inspección, y análisis micro-seccional, por lo cual el análisis estadístico se basa únicamente en características superficiales y dimensiones físicas evidentes.

4.) Amenazas

- 4.1) Otros competidores de arneses automotrices del país podrían, en los próximos años, adentrarse al segmento de PCBs, ‘robando’ el talento humano desarrollado por la empresa y con ellos, las bases de los sistemas de control estadístico y/o de gestión de calidad que se han desarrollado en EEH.
- 4.2) El desarrollo de nuevos componentes SMD con tecnologías diferentes puede complicar el proceso de control estadístico debido a las características intrínsecas de los mismos, y la falta de conocimiento de dichas nuevas tendencias.
- 4.3) Nuevas regulaciones o normas internacionales que obliguen a los procesos a tener valores de control estadístico de procesos, CpK, mucho más estrictos para la industria automotriz.

2.11 TEORÍAS DE SUSTENTO

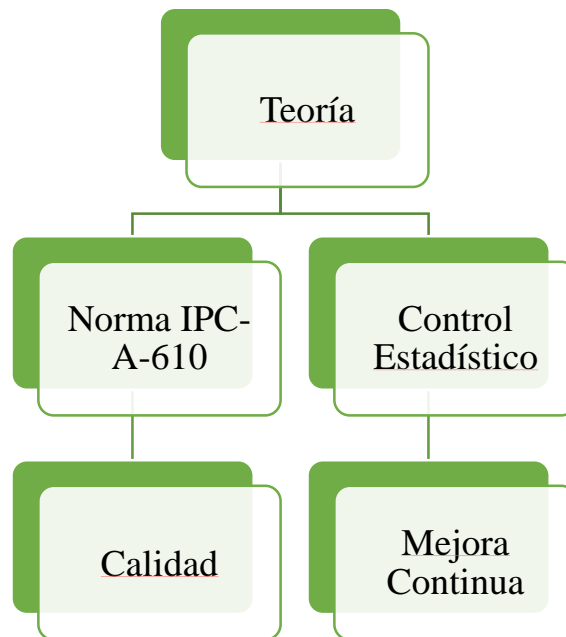


Ilustración 10. Esquema de Teorías de Sustento

2.11.1 CALIDAD

La calidad para la industria automotriz es el pilar principal que sustenta toda la gestión operativa entorno al rubro. Los niveles de exigencia para el cumplimiento de normativas son consecuentemente, altos y rigurosos, provocando que el medio se vuelva competitivo y que los productos de esta naturaleza, evolucionen y se adapten al mercado, de la mejor forma posible, cumpliendo requerimientos en aras de la satisfacción de los consumidores.

Una de las Normas Internacionales de mayor uso la gestión de calidad de la industria del automóvil, es la norma ISO / TS 16949, la cual establece su futura evolución de la mano de la publicación del nuevo estándar de la industria mundial de la mano de la International Automotive Task Force (IATF).

La norma ISO / TS 16949 hace referencia a la especificación técnica de los sistemas de gestión de calidad del sector del automóvil. Esta norma internacional fue desarrollada por primera vez en 1999 por la IATF, junto al comité técnico de la ISO para la gestión de la calidad, ISO / TC 176.

Esta norma, ha conseguido ser desde entonces una de las normas más utilizadas en la industria del automóvil, y tiene por objeto la armonización de los diferentes sistemas de evaluación y certificación de la cadena mundial de suministro automotriz.

La nueva norma 16949: 2016 publicada por la IATF pasará a sustituir la actual norma ISO / TS 16949, en la que se definen los requisitos de un sistema de gestión de calidad para las organizaciones en la industria del automóvil. (Intedya, 2016).

Esta norma se alinea y hace referencia a su vez a la versión más reciente de la norma de sistemas de gestión de la calidad ISO 9001:2015. IATF 16949: 2016 respetando plenamente la norma ISO 9001, su estructura y los requisitos que se plantean en la versión correspondiente al año 2015. La norma ISO 16949: 2016 no es una norma de gestión de calidad independiente, aunque se implementa como un suplemento, y en conjunción con, ISO 9001: 2015.

El objetivo de IATF es asegurar la continuidad de la alineación con la norma ISO 9001 mediante el mantenimiento de una estrecha cooperación con las normas ISO, a través de su participación en la norma ISO / TC 176.

2.11.1.1 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Se refiere a cualquier actividad planeada y sistemática dirigida a proveer a los clientes productos (bienes y servicios) de calidad apropiada, junto con la confianza de que los productos satisfacen los requerimientos de los clientes. El aseguramiento de la calidad depende de la excelencia de dos puntos focales importantes en los negocios: el diseño de bienes y servicios y el control de la calidad durante la ejecución de la manufactura y la entrega de servicios. (Evans & M., 2015).

2.11.1.2 SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD

La organización debe establecer, implementar, mantener y mejorar de forma continua el Sistema de Gestión de la Calidad, incluyendo los procesos necesarios y sus interacciones, en concordancia con los requisitos de esta Norma Internacional.

La organización debe acordar los procesos necesarios para el Sistema de Gestión de la Calidad y su aplicación a través de la organización, y debe:

- 1.) Establecer las entradas requeridas y las salidas esperadas de tales procesos.
- 2.) Determinar tanto la secuencia como la interacción de estos procesos.
- 3.) Determinar y aplicar los criterios y métodos necesarios para asegurar la eficacia de la operación y el control de estos procesos.
- 4.) Estipular los recursos necesarios para estos procesos y asegurar que están disponibles.
- 5.) Asignar responsabilidades y autoridades para estos procesos.

- 6.) Manejar los riesgos y oportunidades determinados de acuerdo a requisitos establecidos.
- 7.) Evaluar tales procesos e implementar los cambios necesarios para asegurar que estos procesos logran los resultados previstos.
- 8.) Mejorar los procesos y el Sistema de Gestión de la Calidad.

En la medida en que sea necesario, la organización debe:

- 9.) Mantener información documentada con el objetivo de apoyar la operación de sus procesos.
- 10.) Conservar la información documentada para tener la certeza de que los procesos se ejecutan acorde con lo planificado.

Aquí se pone de manifiesto la gestión por procesos, que es uno de los aspectos en los que ISO 9001:2015 pone especial énfasis. En relación a ello la organización debe concretar los procesos necesarios para el Sistema de Gestión de la Calidad y su aplicación. (Excelencia, 2015)

Incluye ciertos requisitos que la organización debe determinar en relación al enfoque basado en procesos, tales como:

- 1.) Insumos necesarios y resultados esperados de estos procesos.
- 2.) Recursos necesarios y su disponibilidad.
- 3.) Riesgos y oportunidades en conformidad con el requisito 6.1 y planificar y ejecutar las acciones apropiadas para hacerles frente.
- 4.) Oportunidades de mejora de los procesos y el sistema de gestión de la calidad.

2.12 MEJORA CONTINUA

La mejora continua, si se quiere, es una filosofía que intenta optimizar y aumentar la calidad de un producto, proceso o servicio. Es mayormente aplicada de forma directa en empresas de manufactura, debido en gran parte a la necesidad constante de minimizar costos de producción obteniendo la misma o mejor calidad del producto, porque como sabemos, los recursos económicos son limitados y en un mundo cada vez más competitivo a nivel de costos, es necesario para una empresa manufacturera tener algún sistema que le permita mejorar y optimizar continuamente.

La Mejora Continua no solo tiene sentido para una empresa de producción masiva, sino que también en empresas que prestan servicios es perfectamente válida y ventajosa principalmente porque si tienes un sistema de Mejora Continua (al ser un sistema, quiere decir que es algo establecido y conocido por todos en la empresa donde se está aplicando) entonces tienes las siguientes características:

- 1.) Un proceso documentado. Esto permite que todas las personas que son partícipes de dicho proceso lo conozcan y todos lo apliquen de la misma manera cada vez
- 2.) Algún tipo de sistema de medición que permita determinar si los resultados esperados de cierto proceso se están logrando (indicadores de gestión)
- 3.) Participación de todas o algunas personas relacionadas directamente con el proceso ya que son estas personas las que día a día tienen que lidiar con las virtudes y defectos del mismo.

Viéndolo desde este punto de vista, una de las principales ventajas de tener un sistema establecido de Mejora Continua es que todas las personas que participan en el proceso tienen capacidad de opinar y proponer mejoras lo que hace que se identifiquen más con su trabajo y además se tiene la garantía que la fuente de información es de primera mano ya que quien plantea el problema y propone la mejora conoce el proceso y lo realiza todos los días. (Flores M. V., 2010)

2.12.1 CICLO DE DEMING

Es una secuencia cíclica de actuaciones que se hacen a lo largo del ciclo de vida de un servicio o producto para planificar su calidad, en particular en la mejora continua.



Ilustración 11. Diagrama del Ciclo de Deming

Fuente: (Métodoss, 2017)

Como su nombre indica, consiste en cuatro etapas que hay que hacer de forma sucesiva y en un cierto orden, por lo que cada una de ellas tiene una anterior y una posterior. Este ciclo no se acaba, sino que hay que seguir indefinidamente. Las actuaciones son las siguientes:

P (de Plan, Planificación): Incluye, entre otras actividades, la definición de objetivos y de medidas para alcanzarlos, la definición y asignación de personas responsables, y la definición de los medios, recursos económicos y materiales necesarios.

D (de Do, Ejecución): Es poner en práctica lo escogido a P. Incluye la formación, educación y entrenamiento del personal escogido en P.

C (de Check, Evaluación): Comparación, análisis y evaluación de los resultados reales obtenidos en D con los esperados a P. hay que insistir en que los resultados finales no son suficientes y que se han de comparar los datos que sean necesarios en cada una de las etapas, movimientos y en cada uno de los elementos definidos en P, que deben aportar toda la información necesaria.

A (de Act, Actuación): Si los elementos definidos en P no son lo suficientemente buenos o son insuficientes, habrá que modificarlos para la próxima vez. La fase de actuación es necesaria para corregir los aspectos negativos obtenidos en C y puede implicar la modificación de P. En cualquier caso, lo que se haya aprendido a A debe utilizarse con las conclusiones e informaciones previas que ya teníamos, para empezar de nuevo, a continuación, un P, y renovar así el ciclo. Es muy importante no detenerse en A ni quedarse con el antiguo P, sino empezar verdaderamente un nuevo ciclo constantemente. (Metodoss, metodoss, 2017).

2.12.2 MÉTODO TECNOLÓGICO

Es el método base que valida los resultados de un proceso de creación de un objeto tecnológico.

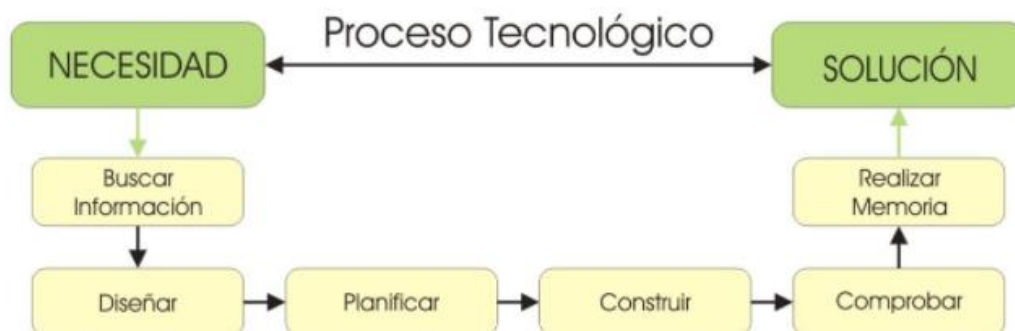


Ilustración 12. Flujo de Proceso Tecnológico

Fuente: (Métodoss, 2017)

Este proceso se compone de un conjunto de etapas secuenciales con retroalimentaciones que seguidas sistemáticamente facilitan la obtención de resultados y su adecuación a los requerimientos iniciales.

Una primera aproximación al método tecnológico sería la siguiente:

- 1.) Necesidad. En primer lugar, hay que partir de una necesidad a la que hay que dar solución, nuestro proyecto estará dirigido a satisfacerla.

2.) Análisis. Esta etapa, consiste en analizar los factores que intervienen en nuestra necesidad. Será interesante estudiar cómo se ha resuelto esta necesidad hasta el momento y la búsqueda de información, todo lo que permite definir mejor los requerimientos y el diseño. (Metodoss, metodoss, 2017)

2.12.3 MÉTODO KAIZEN

Kaizen se refiere a una estrategia de calidad en el lugar de trabajo y está a menudo asociada con el sistema de producción de Toyota y relacionada con varios sistemas de control de calidad, incluyendo métodos de W. Edwards Deming.

El kaizen trata de eliminar “residuos”, definidos por Joshua Isaac Walters como “actividades que añaden costo, pero no añaden valor”). (Metodoss, metodoss, 2017)

2.12.4 MÉTODO KANBAN

Es una palabra de origen japonés que significa tarjeta, su concepto ha evolucionado hasta convertirse en señal, y se puede definir como un sistema de flujo que permite, mediante el uso de señales, la movilización de unidades a través de una línea de producción mediante una estrategia pull o estrategia de jalonamiento el cual podemos definirlo como un sistema de flujo pull consiste en optimizar los inventarios y el flujo del producto de acuerdo al comportamiento real de la demanda.

De acuerdo al modelo Kanban empleado por Toyota, existen básicamente dos tipos de tarjetas Kanban, estas son:

1.) Kanban de Retiro

Especifica la referencia y la cantidad de producto que un proceso debe retirar del proceso inmediatamente anterior, o de su contenedor de producto (pequeños almacenes reguladores entre procesos).

<i>Proceso anterior:</i>	Pulido de rebaba
<i>Proceso posterior:</i>	Ensamble de suela y capellada
<i>Contenedor:</i>	Almacén proceso 2
<i>Referencia:</i>	F-026-39
<i>Nombre de la pieza:</i>	Suelas de EVA
<i>Tipo de calzado:</i>	Sandalia talla 39 color azul Ref: 26
<i>Capacidad del contenedor</i>	<i>Tipo de contenedor</i>
40 unidades	A

Ilustración 13. Ejemplo Kanban de Retiro

Fuente: (Salazar, 2016)

2.) Kanban de Producción

Un kanban o tarjeta de producción especifica la referencia y la cantidad de producto que un proceso debe producir. (Salazar, 2016)

<i>Proceso:</i>	Ensamble de suela y capellada
<i>Depositar piezas en:</i>	Almacén proceso 2 (Al-2)
<i>Referencia:</i>	F-026-39
<i>Nombre de la pieza:</i>	Sandalia talla 39 color azul Ref: 26
<i>Cantidad a producir</i>	
40 unidades	

Ilustración 14. Ejemplo de Kanban de Producción

Fuente: (Salazar, 2016)

Derivado de lo anterior, se entiende que la utilización del método de kanban sirve a dos propósitos básicos para el proceso operativo de una empresa.

1.) Control de la producción

Es la integración de los diferentes procesos y el desarrollo de un sistema justo a tiempo, en la cual los materiales llegaran en el tiempo y cantidad requerida en las diferentes etapas de la fábrica y si es posible incluyendo a los proveedores.

2.) Mejora de los Procesos

Facilita la mejora en las diferentes actividades de la empresa mediante el uso de kanban, esto se hace mediante técnicas ingenieriles (eliminación de desperdicios, organización del área de trabajo, reducción de cambio de modelo, utilización de Maquinaria vs. Utilización en base a la demanda, manejo de multiprocesos, dispositivos para la prevención de errores (Poka Yoke), mecanismos a prueba de errores, mantenimiento preventivo, mantenimiento productivo total (TPM), reducción de los niveles de inventarios.) (Flores, Barron, Flores, & Flores, 2008)

2.12.5 LEAN MANUFACTURING

Jacob, Bergland & Cox (2011) Afirma: “Lean se fundó en base a conceptos establecidos por el sistema de producción de Toyota (TPS) y gira entorno a la eliminación del desperdicio en todas sus formas.” (p.12)

Es “una filosofía /sistema de gestión sobre cómo operar un negocio”. Enfocando esta filosofía/sistema de herramientas en la eliminación de todos los desperdicios, permitiendo reducir el tiempo entre el pedido del cliente y el envío del producto, mejorando la calidad y reduciendo los costos.



Ilustración 15. Indicadores Lean Manufacturing

Fuente: (Lean Solutions, 2017)

2.12.5.1 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL LEAN MANUFACTURING

- 1.) Calidad perfecta a la primera: búsqueda de cero defectos, detección y solución de los problemas en su origen.
- 2.) Minimización del desperdicio: eliminación de todas las actividades que no son de valor añadido y/o optimización del uso de los recursos escasos (capital, gente y espacio).
- 3.) Mejora continua: reducción de costes, mejora de la calidad, aumento de la productividad y
Compartir la información
- 4.) Procesos “Pull”: los productos son tirados (en el sentido de solicitados) por el cliente final, no empujados por el final de la producción.
- 5.) Flexibilidad: producir rápidamente diferentes mezclas de gran variedad de productos, sin sacrificar la eficiencia debido a volúmenes menores de producción.
- 6.) Construcción y mantenimiento de una relación a largo plazo con los proveedores tomando acuerdos para compartir el riesgo, los costes y la información.

El modelo Lean es uno de los símbolos más reconocidos de la fabricación moderna, el cual hace analogía con una casa que tiene un sistema estructural. La casa es sólida si el techo, los pilares y los cimientos son fuertes, hay diferentes versiones de la casa, pero los principios son los mismos.



Ilustración 16. Representación de Modelo Lean

Fuente: (Lean Solutions, 2017)

2.12.5.2 JUST-IN-TIME

Producir los elementos que se necesitan, en las cantidades que se necesitan, en el momento en que se necesitan.

Es una filosofía industrial de eliminación de todo tipo de desperdicio (muda) del proceso de producción, desde las compras hasta la distribución, Justo a tiempo “JAT” es como era conocido antes de los 80 lo que hoy conocemos como Lean Manufacturing, en esencia es lo mismo solo es un cambio de nombre.

2.12.5.3 LOS 7+2 DESPERDICIOS

Es todo lo que sea distinto de los recursos mínimos absolutos de materiales máquinas y mano de obra necesarios para agregar valor al producto”.

- 1.) Sobre-producción: Es el peor de los desperdicios es producir más de lo que el cliente requiere o producir más rápido de lo necesario, generalmente oculta problemas o defectos de producción abre el camino para otros tipos de desperdicio.
- 2.) Esperas: El operario espera por vigilar la máquina, material o información esto solo provoca que el flujo se detenga.
- 3.) Movimientos innecesarios: Por búsqueda de herramientas, información material, etc.
- 4.) Transporte: es un elemento importante de producción, pero transportar más allá de lo necesario o colocarlos temporalmente en un sitio para luego transportarlos a otro.
- 5.) Sobre-procesamiento: Proceso más allá del estándar requerido por el cliente (calidad más alta de la requerida por el cliente).
- 6.) No calidad: corresponde a todos aquellos procesos necesarios para corregir errores los defectos se traducen en tiempo adicional, material, energía capacidad y costo laboral.
- 7.) Inventario: aumentan los costes por área, administración, cuidado, se puede volver obsoletos, se pierde flexibilidad del proceso.

A los desperdicios identificados por Taichi Ohno se le suman dos:

- 8.) Utilización de las personas: no se fomentan ni se aprovechan las destrezas de los trabajadores al máximo.
- 9.) Desperdicios al medio-ambiente.

Para dar un poco más de contexto a los desperdicios debe considerarse la explicación de la frase valor agregado y que es lo que esto representa en un proceso productivo. Tomando en cuenta lo anterior, se puede decir que las únicas actividades que agregan valor son las que producen una transformación física y/o química del producto, por las cuales el cliente está dispuesto a pagar.

2.12.5.4 JIDOKA

Significa automatización con un toque humano, es asegurar el control de la calidad en la fuente, es no permitir que pase un defecto al proceso siguiente, en contraste con los procesos tradicionales que realizan inspección al final de la línea, descartando los productos defectuosos.



Ilustración 17. Esquema del JIDOKA

Fuente: (Lean Solutions, 2017)

Jidoka consta de:

- 1.) Sistema Andon: Es el sistema utilizado para alertar de un problema en el proceso de producción, generalmente son señales visibles y/o audibles, la palabra Andon significa en Japonés Cuerda, y hace referencia a una cuerda que al ser halada activa el sistema de alerta.
- 2.) Paradas automáticas: Se instalan dispositivos, sensores, mecanismos, etc. En las operaciones que detectan alguna anomalía, pueden aplicarse a procesos en los cuales intervienen maquinas o personas, en el caso de las personas tienen la autoridad de parar la línea de producción o activen los sistemas Andón, para alertar del problema y que acudan en su ayuda para resolver el problema de Raíz (RCA). en resumen, es:
 - 2.1) Detectar la anomalía automáticamente.
 - 2.2) Parar la línea de producción.
 - 2.3) Encontrar la causa Raíz y eliminarla.
- 3.) Separación Hombre maquina: Generalmente en las fábricas o procesos de fabricación clásica, el operario cuida de las maquinas sin necesidad mientras estas hacen su trabajo, un ejemplo es el operario esperando que una maquina CNC termine su trabajo.
- 4.) Control de calidad en el puesto de trabajo: cada trabajador de la línea es responsable de la calidad de su trabajo, esto evita que los defectos pasen a través de los procesos siguientes los cuales agregan costos.
- 5.) Análisis de causa Raíz: ¿El análisis de causa raíz es en sí un esfuerzo para que el problema nunca aparezca nuevamente, el método más usado para este análisis es preguntarse 5 veces por qué?, de una forma estructurada y confirmado cada porque antes de pasar al siguiente, el resultado de esto es la razón generalmente escondida del problema y en este momento se puede pasar a diseñar un POKA YOKE.
- 6.) Poka-yoke (a prueba de errores) es un dispositivo destinado a evitar errores; con el cual se garantiza la seguridad de la maquinaria ante los usuarios, proceso o procedimiento, en el cual se encuentren relacionados. (Lean-Solutions, 2017)

2.12.6 CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

El “Control Estadístico de Procesos” nació a finales de los años 20 en los Bell Laboratories. Su creador fue W. A. Shewhart, quien en su libro “Economic Control of Quality of Manufactured Products” (1931) marcó la pauta que seguirían otros discípulos distinguidos (Joseph Juran, W.E. Deming, etc.). Sobre este libro han pasado más de 70 años y sigue sorprendiendo por su frescura y actualidad. Resulta admirable el ingenio con el que plantea la resolución de problemas numéricos pese a las evidentes limitaciones de los medios de cálculo disponibles en su época.

Lamentablemente, a Shewhart se le recuerda “solo por los gráficos de control” (X-R, etc.). Por si fuera poco, a menudo se emplean estos gráficos de modo incorrecto o se desconoce las limitaciones de los mismos. Normalmente, la utilización incorrecta de los gráficos de control dimana del desconocimiento de los fundamentos estadísticos que los sustentan. Por esta razón se ha considerado conveniente hacer hincapié en los fundamentos estadísticos, el problema del sobre ajuste del proceso y las limitaciones que presentan para la detección de derivas en los procesos y aumentos en la variabilidad en los mismos.

2.12.6.1 ¿POR QUÉ VARÍAN LOS PROCESOS?

Un proceso industrial está sometido a una serie de factores de carácter aleatorio que hacen imposible fabricar dos productos exactamente iguales. Dicho de otra manera, las características del producto fabricado no son uniformes y presentan una variabilidad. Esta variabilidad es claramente indeseable y el objetivo ha de ser reducirla lo más posible o al menos mantenerla dentro de unos límites. El Control Estadístico de Procesos es una herramienta útil para alcanzar este segundo objetivo. Dado que su aplicación es en el momento de la fabricación, puede decirse que esta herramienta contribuye a la mejora de la calidad de la fabricación. Permite también aumentar el conocimiento del proceso (puesto que se le está tomando “el pulso” de manera habitual) lo cual en algunos casos puede dar lugar a la mejora del mismo.

2.12.6.2 FUNDAMENTOS ESTADÍSTICOS.

Para el entendimiento del Control Estadístico de Procesos no es necesario ser un experto en estadística, pero es preciso recordar al menos los puntos que se describen a continuación.

1.) Distribución Normal o Campana de Gauss. La distribución normal es desde luego la función de densidad de probabilidad “estrella” en estadística. Depende de dos parámetros μ y σ , que son la media y la desviación típica respectivamente. Tiene una forma acampanada (de ahí su nombre) y es simétrica respecto a μ . Llevando múltiplos de σ a ambos lados de μ , nos encontramos con que el 68% de la población está contenido en un entorno $\pm 1\sigma$ alrededor de μ , el 95% de la población está contenido en un entorno $\pm 2\sigma$ alrededor de μ y que el 99,73% está comprendido en $\pm 3\sigma$ alrededor de μ .

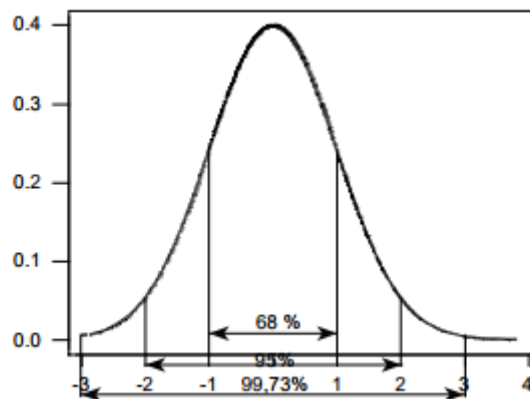


Ilustración 18. Función de Densidad de Probabilidad Normal

Fuente: (Ruiz & Rojas, 2006)

2.) Teorema del Límite Central. El teorema del límite central (TLC) establece que si una variable aleatoria (v. a.) se obtiene como una suma de muchas causas independientes, siendo cada una de ellas de poca importancia respecto al conjunto, entonces su distribución es asintóticamente normal. Es decir:

Ecuación del Teorema de Límite Central

Fuente: (Ruiz & Rojas, 2006)

$$X \rightarrow N\left(\sum_{i=1}^n \mu_i, \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}\right)$$

Donde los parámetros μ y σ^2 , corresponden a la media y la varianza, respectivamente.

3.) Distribución de las medias muestrales Si X es una variable aleatoria $N(\mu, \sigma)$ de la que se extraen muestras de tamaño n , entonces las medias muestrales se distribuyen según otra ley normal:

Ecuación de Medias Muestrales

Fuente: (Ruiz & Rojas, 2006)

$$\bar{x}_m \propto N\left(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$$

Donde tenemos μ como la media y la desviación estándar σ , dividida entre la raíz cuadrada del número de muestras n .

Obsérvese que, como consecuencia del TLC, la distribución de las medias muestrales tiende a ser normal aún en el caso que la población base no lo sea, siempre que el tamaño de la muestra sea suficientemente grande $n \geq 25$, si bien este número depende de la asimetría de la distribución. (Ruiz & Rojas, 2006)

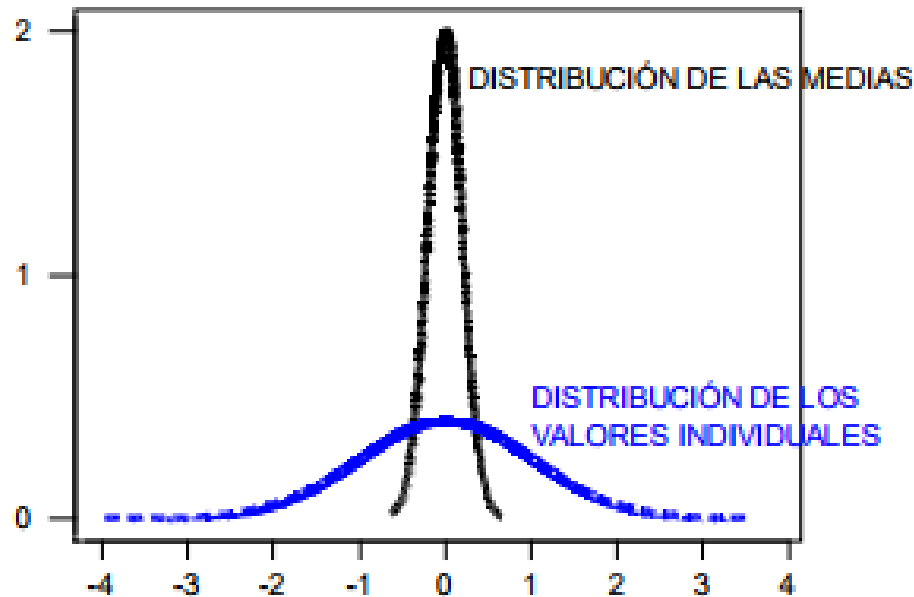


Ilustración 19. Función de Densidad de las Medias Muestrales

Fuente: (Ruiz & Rojas, 2006)

2.12.7 CAPACIDAD DE PROCESOS

Jacob, Bergland & Cox, (2011) Afirma: “Seis Sigma surgió a partir de la gestión de la calidad total (TQM) y de otros métodos de mejora de la calidad, y su gran ventaja es que reduce la variación”.

Una necesidad muy frecuente en los procesos consiste en evaluar la variabilidad y tendencia central de una característica de calidad, para así compararla con sus especificaciones de diseño. La capacidad de proceso es el grado de aptitud que tiene un proceso para cumplir con las especificaciones técnicas deseadas.

Cuando la capacidad de un proceso es alta, se dice que el proceso es capaz, cuando se mantiene estable a lo largo del tiempo, se dice que el proceso está bajo control, cuando no ocurre esto se dice que el proceso no es adecuado para el trabajo o requiere de inmediatas modificaciones.

Mientras los procesos no sufran modificaciones o reajustes, para evaluar su capacidad suele recurrirse a algunas de las siete herramientas de la calidad, tales como:

- 1.) Histogramas
- 2.) Gráficos de control
- 3.) Planillas de inspección

Cuando el proceso se ve modificado, por ejemplo, con la implementación de una nueva máquina, o con un reajuste de métodos, debe efectuarse un estudio de índices de capacidad.

REQUISITOS PARA EFECTUAR UN ESTUDIO DE ÍNDICES DE CAPACIDAD

El principal requerimiento para iniciar con un estudio de aptitud del proceso consiste en que éste se encuentre estadísticamente estable. Además, se precisa que:

- 1.) Las mediciones individuales del proceso se comporten siguiendo una distribución normal.
- 2.) Las especificaciones de ingeniería representen con exactitud los requerimientos de los clientes.

Cuando se han identificado desviaciones en el comportamiento estadístico de las mediciones de alguna característica de calidad, la evaluación de la capacidad del proceso inicia después de que en las gráficas de control las causas especiales han sido identificadas, analizadas y corregidas, por ende, las gráficas actuales de control muestran un proceso dentro de control estadístico.

2.12.7.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CAPACIDAD

Los índices de capacidad se pueden clasificar según su posición y alcance temporal en:

1.) Respecto a su posición

1.1) Índices centrados con respecto a los límites

1.2) Índices descentrados con respecto a los límites

2.3) Solo con límite superior

1.4) Solo con límite inferior

2.) Respecto a su alcance temporal

2.1) A corto plazo: Capacidad potencial

2.2) A largo plazo: Capacidad global

Tabla 4. Plazos de Índices de Capacidad de Proceso

	Centrado	No centrado	Con límite superior	Con límite inferior
Corto plazo	C_P	C_{PK}	C_{PU}	C_{PL}
Largo plazo	P_P	P_{PK}	P_{PU}	P_{PL}

Sí una vez determinadas las capacidades se encuentra una diferencia significativa entre los índices de corto y largo plazo, es un síntoma de inconsistencias en el proceso, y de que éste es susceptible de aplicar mejoras.

2.12.7.2 ÍNDICES DE CAPACIDAD A CORTO PLAZO Cp Y Cpk

2.12.7.2.1 ÍNDICES Cp

Para considerar que un producto sea de calidad, las mediciones de sus características deben ser iguales a su valor ideal, sin embargo, al conocer que la variabilidad es una característica ínsita de todo proceso estas mediciones deben al menos estar dentro de cierta especificación inferior y/o superior. La medida de la capacidad potencial del proceso para cumplir con tales especificaciones de calidad nos la proporciona el **índice de capacidad del proceso (Cp)**.

Fuente: (Ruiz & Rojas, 2006)

$$Cp = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$$

Donde, LES y LEI corresponden al límite de especificación superior y el límite de especificación inferior, respectivamente. El resultado de la resta de éstos, se divide entre seis veces desviación estándar σ .

Ecuación 4. Desviación Estándar

Fuente: (Ruiz & Rojas, 2006)

$$\sigma = \text{Desviación estándar}$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Donde d_2 es una constante que depende del tamaño de muestra.

Para una mejor interpretación del índice analicemos la siguiente gráfica

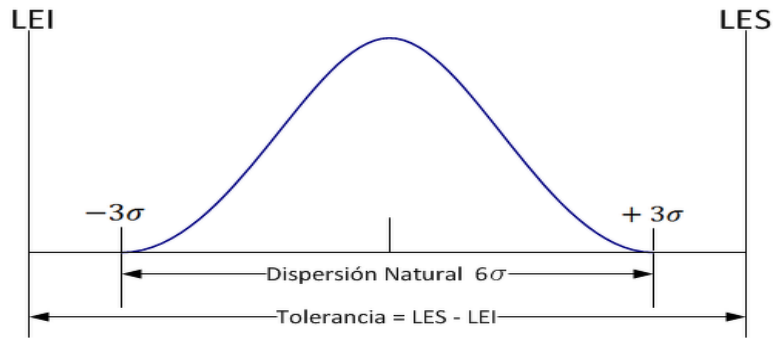


Ilustración 20. Gráfica de Dispersión Natural

(FUENTE: López, 2016)

El Cp compara el ancho de las especificaciones (tolerancia) con la amplitud de la variación (dispersión natural) del proceso. Si la variación del proceso es mayor que la amplitud de las especificaciones, entonces el Cp es menor que 1, lo que sería evidencia de que no se está cumpliendo con las especificaciones. Si el Cp es mayor que 1 es una evidencia de que el proceso es potencialmente capaz de cumplir con las especificaciones.

El Cp se utiliza para conocer y tomar decisiones sobre el proceso dependiendo de su valor, es el tipo de proceso y la decisión que debe de tomarse. La siguiente tabla nos muestra la interpretación cualitativa del índice Cp.

Tabla 5. Decisiones relacionadas al Valor de Cp

Valor del Cp.	Clase de proceso	Decisión
Cp. > 2	Clase mundial	Tiene calidad seis sigma
1.33 ≤ Cp. ≤ 2	1	Mas que adecuado
1 ≤ Cp. < 1.33	2	Adecuado para el trabajo, pero requiere de un control estricto conforme el Cp. se acerca a uno.
0.67 ≤ Cp. < 1	3	No adecuado para el trabajo. Un análisis del proceso es necesario. Requiere modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria
Cp. < 0.67	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones serias.

Cuando se determina que el proceso no es apto para producir las unidades dentro de las especificaciones establecidas deben adoptarse diversas medidas, dentro de las que se encuentran:

- 1.) Mejorar el proceso
- 2.) Cambiar el proceso por uno mejor
- 3.) Cambiar la especificación (No recomendado)
- 4.) Rediseñar el producto
- 5.) Inspeccionar al 100% (Ineficiente)
- 6.) Obtener una desviación o permiso de aceptación (Temporal)
- 7.) Tercerizar la elaboración de la parte (En caso de ser posible)
- 8.) Dejar de hacer el producto (No recomendado)

2.12.7.2.2 ÍNDICE Cpk

El índice Cp estima la capacidad potencial del proceso para cumplir con tolerancias, sin embargo, comúnmente se reconoce que una de sus desventajas es que no toma en cuenta el centrado del proceso. Para dar solución a esto el Cp se puede modificar para evaluar también donde se localiza la media del proceso respecto a las especificaciones. Al índice de Cp modificado se le conoce como índice de capacidad real Cpk.

Ecuación 5. Índice de Capacidad Real CPK

Fuente: (López, ingenieriaindustrialonline, 2016)

$$Cpk = \text{Menor valor entre } Cpu \text{ y } Cpl$$

$$Cpu = \frac{LES - \mu}{3\sigma}$$

$$Cpl = \frac{\mu - LEI}{3\sigma}$$

Donde,

μ = media de la característica de calidad

LES = límite de especificación superior

LEI = límite de especificación inferior

Σ = desviación estándar

El índice Cpk va a ser igual al Cp cuando la media del proceso se ubique en el punto medio de las especificaciones. Si el proceso no está centrado entonces el valor del índice de Cpk será menor que el Cp.

1.) Valores mayores a 1 de Cpk indican que el proceso está fabricando artículos que cumplen con las especificaciones.

2.) Valores menores a 1 de Cpk indican que el proceso está produciendo artículos fuera de las especificaciones.

3.) Valores de 0 o negativos de Cpk indican que la media del proceso está fuera de las especificaciones.

Por lo tanto, el Cp mide la capacidad potencial del proceso; mientras que el Cpk mide la capacidad real.

2.12.7.3 PROCESOS DE UNA SOLA ESPECIFICACIÓN

Aunque es menos común, es posible que en determinados procesos al medir las características de calidad se precise que "entre más grande mejor" o "entre más pequeño mejor", o simplemente que no sea menor o mayor a determinada especificación. Para estos casos existen los llamados índices de especificación única. (López, ingenieriaindustrialonline, 2016)

Índice de capacidad inferior - "Entre más grande mejor"

Ecuación 6. Índice de Capacidad Inferior

Fuente: (López, ingenieriaindustrialonline, 2016)

$$C_{PL} = \frac{\mu - LEI}{3\sigma}$$

En donde la capacidad inferior está dada por la media μ menos el límite de especificación inferior LEI, dividido entre tres veces la desviación estándar σ .

Índice de capacidad superior - "Entre más pequeño mejor"

Ecuación 7. Índice de Capacidad Superior

Fuente: (López, ingenieriaindustrialonline, 2016)

$$C_{PS} = \frac{\mu - LES}{3\sigma}$$

En donde la capacidad superior está dada por la media μ menos el límite de especificación superior LES, dividido entre tres veces la desviación estándar σ .

2.13 MAQUINARIA E IMPLEMENTOS SMT

Con el fin de poder realizar la presente investigación, se da a conocer una breve reseña del proceso de SMT o tecnología de montaje superficial, por sus siglas en inglés. De esta manera se brinda al lector una idea de las máquinas y materiales utilizados y de cómo estas se operan, a grandes rasgos, en relación al tema de estudio.

PCB del inglés Printed Circuit Board, es una superficie constituida por caminos o pistas de material conductor laminadas sobre un sustrato o material no conductor. Se utiliza para conectar eléctricamente a través de los caminos conductores y sostener mecánicamente por medio del sustrato, un conjunto de componentes electrónicos.

1.) Módulos y Panel

Para fines de producción automatizada y en masa, cada PCB o Módulo se construyen o ensamblan con varios a la vez y a esto se llama panel; es decir, que varios módulos hacen un panel.

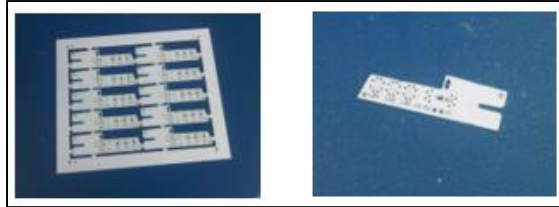


Ilustración 20. Muestra de Panel y Módulo

2.) Fiduciales

Los fiduciales son marcas físicas que tienen los PCB o Módulos con los que cada máquina puede ubicar y guiarse a partir de ellos para poderla ensamblar o examinar. Cada panel tiene tres marcas fiduciales y los módulos normalmente tienen dos.

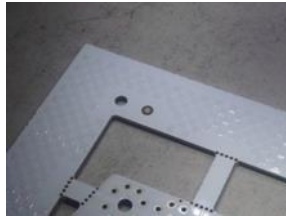


Ilustración 21. Muestra de Fiducial

3.) Componentes electrónicos

Son todas las piezas que forman el PCB. Cada uno con una función en específico, tienen formas y tamaños diferentes.

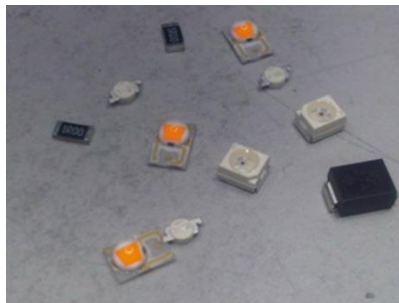


Ilustración 22. Selección de varios componentes SMD

4.) Pasta de Soldar

La pasta de Soldar es lo que une eléctrica y mecánicamente los componentes con los PCB. Se aplica sobre el PCB justo antes de colocar cada componente. Las pastas de soldar requieren almacenamiento refrigerado, pero previo a su utilización deben tomar la temperatura ambiente sin ser abierto para evitar la condensación de humedad lo cual es causa de posibles fallas en la soldadura.



Ilustración 23. Bote de pasta ALPHA SAC305

5.) Temperatura y Humedad

Para poder ensamblar PCB es necesario controlar el ambiente en el que nos encontramos. La Temperatura no debe ser mayor a 30 grados centígrados y el porcentaje de humedad en el aire no debe pasar el 60%.

6.) KanBan

En SMT se utiliza el sistema de KanBan para documentar y llevar de manera ordenada y regulada la administración de componentes que se cargan a la Línea. Un KanBan es un documento donde se registra el componente, su serie, el feeder que utiliza, posición donde se coloca, hora a la que se carga, y demás información pertinente a producción.



Ilustración 24. Muestra de KanBan de producción

7.) Kitting

El Kitting es toda la materia prima con la que se alimenta la Línea SMT. El materialista reúne todos los componentes, paneles, pasta de soldar y herramientas necesarias para que la línea ensamble cualquier producto. El sistema interno se asegura que no se vaya a cargar al Kitting algún componente o herramienta incorrecta.

8.) Sistema de Calidad

El sistema de calidad de la Línea se asegura que todas las piezas estén bien y para ello se utilizan mecanismos como el de Primer y última pieza, en el que se examinan a profundidad las piezas para poder saber si esta todo en orden, el mecanismo de Validación se asegura que solo los componentes correctos se están alimentando a las máquinas antes y durante el ensamble del producto.

9.) Board Loader (Cargador de tarjetas)

Es donde se alimentan los paneles vírgenes para luego ser ensamblados con la pasta y los demás componentes. En esta máquina se pueden colocar o apilar las tarjetas como en resma si es primer lado a correr; sin embargo, la disposición en magazines se realiza cuando lo que se procesa es el segundo lado o parte posterior del panel, el cual ya trae poblado la parte inicial.



Ilustración 25. Máquina Board Loader (cargado de tarjetas)

10.) Stencil Printer

Es la máquina que aplica o imprime la pasta de soldar sobre cada tarjeta. Un Stencil es la herramienta que tiene la forma para cada PCB y aplica la pasta solamente en las áreas de contacto donde se ensambla cada componente, estas áreas de contacto se les llaman Pads



Ilustración 26. Máquina stencil printer (impresora de pasta)

11.) SPI (inspección de pasta)

En esta máquina es donde se examina que la impresión de pasta sea exitosa. Esta máquina es capaz de ver área, volumen, altura, forma y muchas más características de la pasta para asegurar la calidad del producto.



Ilustración 27. Máquina SPI (inspección de pasta para soldar)

12.) IFLEX (colocación de componentes)

Esta máquina se encarga de colocar todos los componentes en la tarjeta. Utiliza unos dispositivos de alimentación de componentes llamados feeders (alimentadores) que son en los que están puestos los carretes con cada componente necesario para hacer los PCB.



Ilustración 28. Máquina IFLEX (colocación de componentes)

13.) Horno de Reflujo

Esta es la máquina más grande y robusta de la línea, siempre está funcionando. En ella los PCB se someten a altas temperaturas haciendo que la pasta de soldar se funda con las terminales de los componentes electrónicos.



Ilustración 29. Horno de Reflujo

14.) Buffer (almacenador)

Está ubicada a la salida del horno, debido a que este siempre está en funcionamiento es la tarea del buffer almacenar todas las tarjetas que vayan saliendo del horno y liberarlas cuando sea posible.



Ilustración 30. Buffer de almacenamiento

15.) AOI (inspección óptica automática)

Máquina encargada de revisar todos y cada uno de los componentes en la tarjeta, verifica que estén colocados de manera correcta y que la soldadura sea aceptable.



Ilustración 31. Máquina de inspección automática (AOI)

16.) Prueba eléctrica en línea (ICT)

En esta estación se prueban las tarjetas y a la vez sus componentes. Cuenta con dos fixturas o plataformas con las que energiza y analiza las tarjetas en su configuración eléctrica para corroborar la funcionalidad de los componentes y la salida de corriente y luz de aquellos que son luminiscentes.



Ilustración 32. Máquina ICT

17.) Magazine loader (cassetera)

Es la última máquina de la línea. Su función es guardar todas las tarjetas en dispositivos de almacenamiento llamados Magazines (Casseteras) para transportar de forma segura todo el material terminado.



Ilustración 33. Máquina magazine loader (cassetera)

2.13.1 IFLEX (COLOCACIÓN DE COMPONENTES)

La máquina de colocación de componentes IFLEX T4 cuenta con cuatro brazos magnéticos que se mueven desde y hacia las tarjetas para realizar la colocación de componentes, basados en el algoritmo de programación para la trayectoria de desplazamiento de los cabezales aunados a estos brazos.

La manera en la que la colocación se lleva a cabo, comienza con la programación de la receta, donde se dictamina la posición de cada número de parte de los componentes electrónicos basado en el listado de materiales que compete a cada producto; seguidamente, la referencia de plano se vincula a la receta y partiendo de dicho posicionamiento se procede a estipular las coordenadas de posición X, Y de cada componente que poblará la tarjeta. Normalmente, ya que las PCBs vienen dispuestas en placas repetitivas, simplemente, se programa el módulo inicial de la tablilla, y solo se extrapolan las posiciones de los componentes en los demás módulos gemelos, mediante el uso de pitch (distancia centro a centro) entre los componentes, para que toda la tablilla salga con los componentes correctamente posicionados.

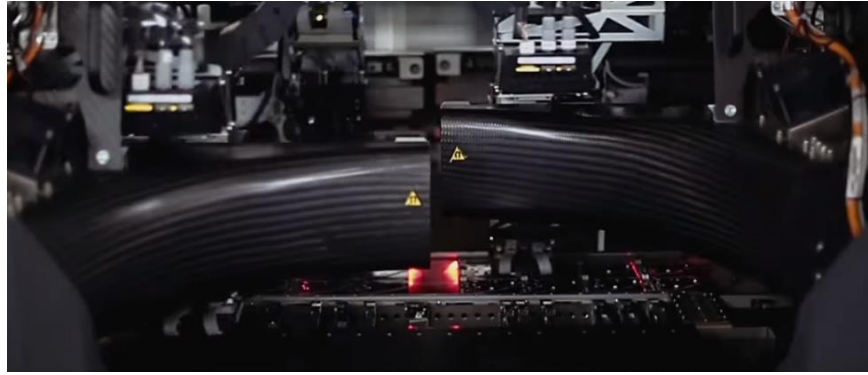


Ilustración 34. Brazos magnéticos con cabezales para colocación de componentes.

Para efectos de lograr la precisión esperada en la colocación de los componentes, la maquina cuenta con sistema de alineación mediante laser, el cual permite que se pueda medir y alinear el componente en pleno movimiento, desde el alimentador hacia su posición final, lo cual hace más eficiente el proceso de colocación, al evitar tener que trasladar el componente ante una cámara para ser medido previo a la colocación.

El sistema de lasers de la IFLEX permite una precisión de fábrica de 40 micrones, lo cual equivale a un alcance de 0.04 milímetros, esto deja ver la gran capacidad de precisión que posee esta máquina de origen alemán. Esta precisión, se ve acompañada de la agilidad de los brazos de colocación que, por su naturaleza magnética, se mueven mucho más rápido que los antiguos procesos de colocación que contaban con tornillos sin fin, lo cual representa un elemento de fricción que le resta estabilidad y velocidad a los brazos. (Assembleon, 2012)

La importancia de la alineación de los componentes, sobre todo en los más pequeños, radica en el hecho que el cumplimiento del estándar, exige que los componentes no se encuentren desfasados de su punto de colocación, ya que, al desfasarse, pueden provocar violación de espacios eléctricos mínimos que por lo tanto pueden ocasionar daños eléctricos en las pistas de la tablilla. Asimismo, el centrado de los LEDs es esencial para que la salida de luz de los mismos sea la adecuada y que se pueda proyectar el espectro de luz y color que se espera del componente en cuestión.

iFlex T4	
	Dual lane Single lane
Number of transport lanes	Dual lane or Single lane
Max. output dual lane	70,000 cph
Output IPC 9850 dual lane	51,000 cph
Output IPC9850 single lane	34,500 cph
Placement defect rate ¹	
Availability	99.99 %
Component range	0.4 x 0.2 mm to 17.5 x 17.5 mm
Component height	15 mm
Accuracy (align method)	40 micron (laser)
Component interspacing	80 micron
Component weight (heavier on request)	12 g
Programmable placement force (in steps of 0.1 N) (lower on request)	1.5 - 8.0 N
Pickup rate	
Toolbits	Nozzles
Alignment method	High resolution laser

Ilustración 35. Precisión de Colocación

Fuente: (Assembleon, 2012)

Además de los lasers, también se cuenta con el herramental del proceso de recogida y de colocación de componentes, llamado toolbit. Este toolbit es una boquilla de succión que levanta el componente del carrito o alimentador, y lo carga hasta llegar a su posición final, donde lo posiciona sobre el pad con pasta, basado en la coordenada programada.



Ilustración 36. Toolbit

Cada brazo magnético cuenta con dos cabezales, y cada uno sostiene un toolbit que permite el aprovechamiento de cada movimiento del brazo para recoger dos componentes a la vez. Estos cabezales ‘T-head’ sostienen las unidades laser que miden el componente a colocar.

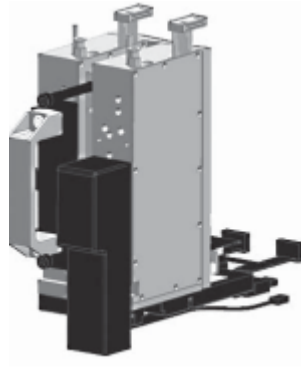


Ilustración 37. Unidad T-head que sostiene los toolbits.

2.13.2 HORNO DE REFLUJO

El proceso de reflujo de que se lleva a cabo dentro del horno, solidifica la pasta colocada y la convierte en uniones de soldadura. Este proceso se lleva a cabo mediante un escalamiento de temperatura al interior de la recámara del horno, lo cual está verificado por un perfil térmico, la cual muestra la gráfica de ascenso de temperatura desde las zonas iniciales del proceso de reflujo, pasando por la temperatura pico y llegando al enfriamiento.

El proceso de perfil térmico se realiza pasando un panel preparado con termocuplas adheridas a los pads, distribuidas de forma equidistante a lo largo de dicho panel, de modo que se pueda verificar el entorno y el calentamiento de la tablilla de forma uniforme al momento de calentarse.

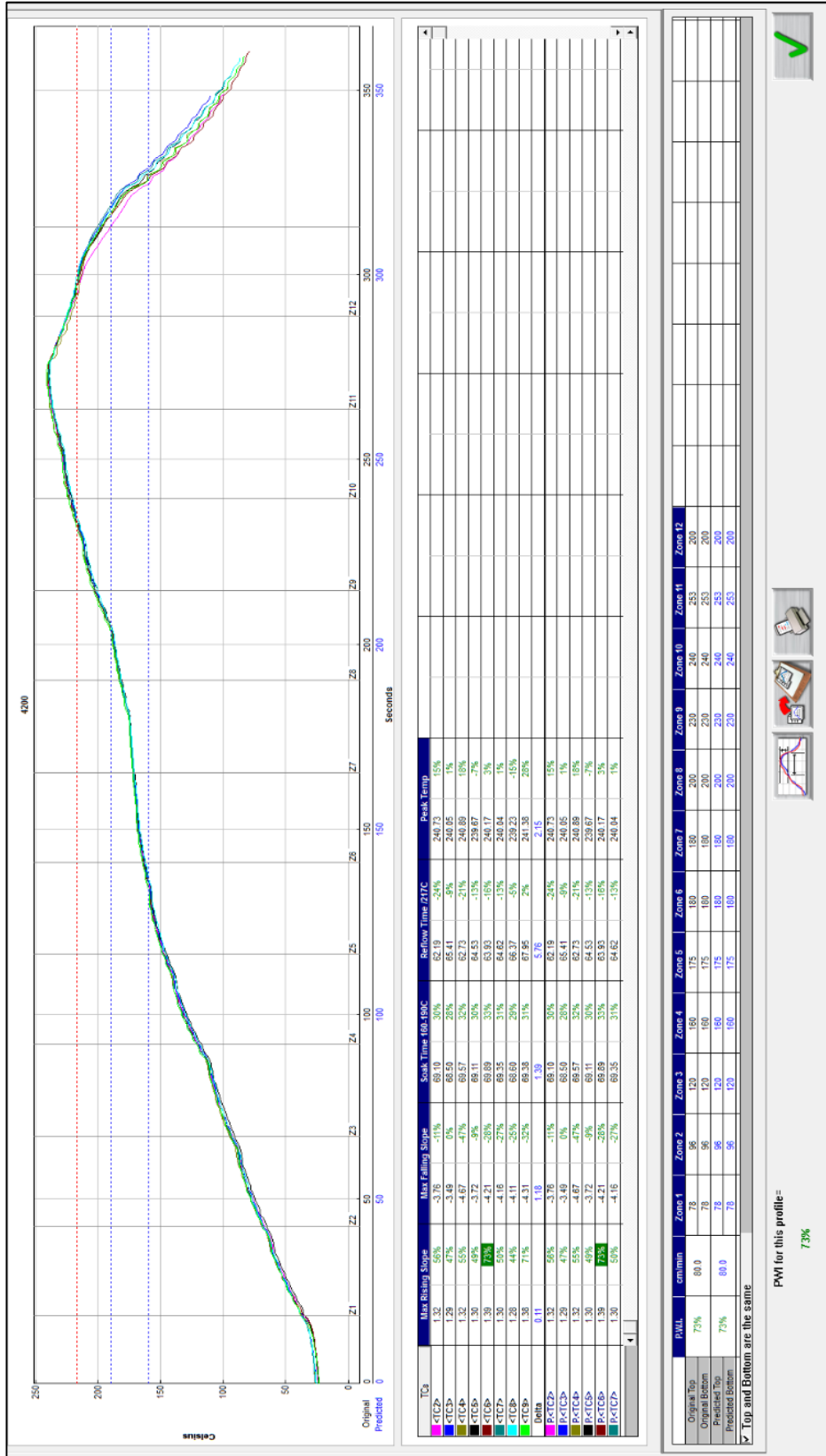


Ilustración 38. Perfil Térmico

2.13.3 PASTA DE SOLDAR

La pasta para soldar mantiene al componente adherido al pad a medida que cruza el proceso de reflujo del horno (Ilustración 39). Por tanto, se busca la característica de viscosidad y adherencia que presenta la pasta en su especificación (Ilustración 40) de modo que a pesar de sufrir movimientos la tablilla, los componentes se mantengan en su posición. La viscosidad y la adherencia se mantienen estables en la medida que la pasta no sufra alteraciones por un periodo de 8 horas y que el tubo se mantenga guardado por debajo de 10 °C, las temperaturas de operación se mantengan al menos a 25 °C y considerando que la humedad relativa del cuarto de operación se mantenga al 50% idealmente. (ALPHA, 2012)

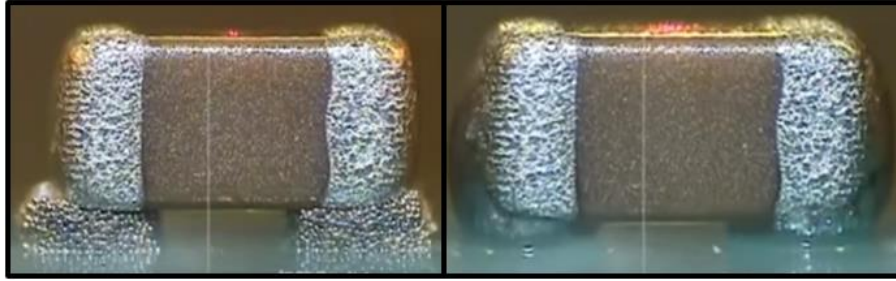


Ilustración 39. Proceso de Reflujo de la pasta, de crudo a sólido (izquierda a derecha)

ALPHA OM-340 Technical Data		
CATEGORY	RESULTS	PROCEDURES/REMARKS
CHEMICAL PROPERTIES		
Activity Level	ROLO	IPC J-STD-004
Halide Content	Halide free (by titration). Passes Ag Chromate Test	IPC J-STD-004
Halogen Content	Pass, Zero Halogen - No halogen intentionally added	EN14582, by oxygen bomb combustion, Non detectable (ND) at < 50 ppm
Copper Mirror	Pass	IPC J-STD-004
Copper Corrosion Test	Pass	IPC J-STD-004
ELECTRICAL PROPERTIES		
SIR (IPC 7 days @ 85° C/85% RH)	Pass, 8.6×10^9 ohms	IPC J-STD-004 (Pass $\geq 1 \times 10^9$ ohm)
SIR (Bellcore 96 hours @ 35°C/85%RH)	Pass, 2.1×10^{11} ohms	Bellcore GR78-CORE (Pass $\geq 1 \times 10^{11}$ ohm)
Electromigration (Bellcore 96 hours @ 65°C/85%RH 10V 500 hours)	Pass, Initial = 3.9×10^8 ohms Final = 1.9×10^9 ohms	Bellcore GR78-CORE (Pass=final > initial/10)
PHYSICAL PROPERTIES (Using 88.0% Metal, IPC Type 3 Powder, unless otherwise noted)		
Color	Clear, Colorless Flux Residue	
Tack Force vs. Humidity (t=8 hours)	Pass, Change of <1 g/mm ² over 24 hours at 25% and 75 % Relative Humidity	IPC J-STD-005
	Pass, Change of <10% when stored at 25±2°C and 50±10% relative humidity.	JIS Z3284 Annex 9
Viscosity	Type 3 powder, 88.0% metal load designated M16 for printing. Viscosity (Typical) 1600 poise at 10 RPM Malcom	Malcom Spiral Viscometer; J-STD-005
	Type 4 powder, 88.3% metal load designated M18 for printing. Viscosity (Typical) 1800 poise at 10 RPM Malcom	
	Type 4 powder, 84% metal load, designated M06 for dispensing Type 4 powder, 85% metal load, designated M08 for dispensing	

Ilustración 40. Hoja de Especificación de Pasta

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

El presente capítulo contiene la metodología a utilizar en el trabajo de investigación, se identifican y analizan las variables y dimensiones que contiene la teoría aplicada, al tiempo que se define el alcance de la investigación, la formulación de la hipótesis y métodos. Asimismo, mediante el análisis enfocado de dichos elementos y la descripción de las técnicas utilizadas para la obtención de resultados se busca dar respuesta a la problemática expuesta en torno al proceso de control estadístico de EEH y su cumplimiento con la norma IPC-A-610 en la fase de colocación de componentes SMD.

2.8 CONGRUENCIA METODOLÓGICA

Al definir correctamente las variables a estudiar, así como la dependencia entre las mismas, se busca asegurar la congruencia metodológica, permitiendo que dichas variables puedan ser rastreadas a las preguntas de investigación, así como los objetivos del presente estudio. De forma implícita se conjugan las variables para realizar su operacionalización, que, a su vez, forma parte esencial del proceso de definición de hipótesis y su posterior reflejo en los métodos y técnicas utilizadas para llevar el estudio a término, con su respectiva resolución.

Con el fin de lograr la congruencia y comprobar la secuencia lógica de los procesos de investigación se presenta la matriz metodológica de la presente investigación, donde se plantea el problema, las preguntas de investigación que necesitan ser resueltas, los objetivos y la categorización en variables dependientes e independientes, como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 6. Matriz Metodológica

Título	Problema	Preguntas de Investigación	Objetivos		Variables	
			General	Específicos	Independientes	Dependientes
Implementación de Control Estadístico en el Proceso de Colocación de Componentes SMD Automotriz en base a la Norma IPC-A-610	La carencia de un control de proceso estadístico para la colocación de componentes SMD en el proceso SMT hacer surgir la siguiente interrogante: ¿Es el proceso/máquina actual de colocación de componentes SMD en EEH lo suficientemente preciso para ser capaz de cumplir con la norma IPC-A-610 Clase 3?	1. ¿Cuál es la precisión de colocación de componentes SMD?	Proveer un modelo de sistema de control estadístico para el proceso de colocación SMD en ensamblajes electrónicos para Empire Electronics en la división PCBA.	1. Identificar el nivel de precisión de máquina en su capacidad de colocación de componentes SMD.	Precisión y exactitud	Conformidad a la norma
		2. ¿El producto ensamblado se apega a los criterios IPC-A-610 clase 3 en su totalidad?		2. Definir si el resultado actual de los procesos de colocación se apega en su totalidad a lo definido como Clase 3 para la norma IPC-A-610.		
		3. ¿Cómo se puede mejorar la precisión de colocación de los componentes en la máquina actual?		3. Plantear mejoras al proceso de colocación componente SMT, precisión y capacidad.	Gestión de proceso	

3.2 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES

La definición operacional de las variables que se realiza en el presente informe sirve como parte inicial para la identificación de indicadores que permiten llevar a cabo las mediciones de forma empírica y cuantitativa.

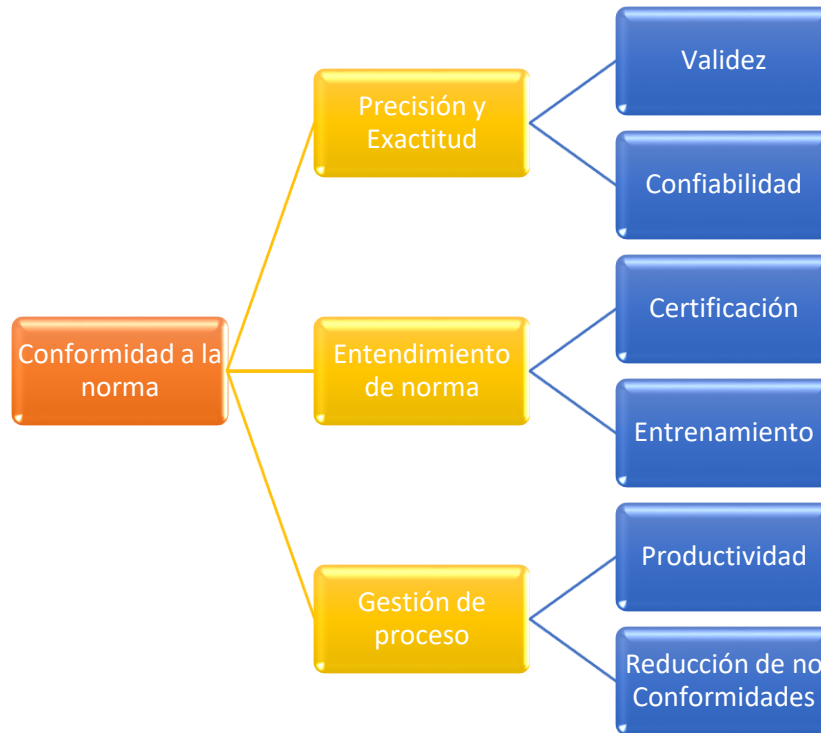


Figura 1. Variables independientes y sus dimensiones

3.3 TABLA DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 7. Operacionalización de Variables

Ítem	Variable Independiente	Dimensión	Operacionalización	Tipo de Variable
1	Precisión y exactitud	Validez	Precisión en la colocación de componentes	Cuantitativo
		Confiabilidad	Índices de capacidad del proceso	Cuantitativo
2	Entendimiento de Norma	Certificación	Comprensión de los Requerimientos de la norma	Cualitativo
		Entrenamiento	Desarrollar personal Capaz	Cualitativo
Formación de líderes de Trabajo				
3	Gestión de Proceso	Productividad	Mayor cantidad de piezas Producidas	Cuantitativo
			Mejoramiento en la calidad	
			Cumplimiento con los requerimientos del cliente	
		Reducción de no Conformidades	El material debe cumplir con las especificaciones de la norma.	Cuantitativo
			Cumplir con las Necesidades o Expectativas establecidas	
			Evitar la propagación del problema	
Prevención de Ocurrencia				

De la tabla se desprende la denotación de dimensiones con su respectiva tipificación de las variables. Para poder entender mejor las variables se pasan al operacional de modo que se pueda identificar su impacto en relación con las preguntas de investigación y los objetivos que orientan el curso de la presente investigación.

3.4 HIPÓTESIS

A través de la hipótesis, se busca afirmar o rechazar lo que se está buscando analizar en la investigación. Las hipótesis se presentan al lector como hipótesis de investigación y nula, que son las que ayudan a determinar la relación entre las variables cuantitativas que afectan el proceso de control estadístico en la colocación de componentes SMT.

Hi: PCBs ensambladas en proceso actual sí cumplen Clase 3 de la norma IPC-A-610, que equivale a un desplazamiento menor a 0.4 mm de longitud y 0.2 mm de ancho referente al cuerpo del componente resistivo.

Ho: PCBs ensambladas en proceso actual no cumplen Clase 3 de la norma IPC-A-610, que equivale a un desplazamiento menor a 0.4 mm de longitud y 0.2 mm de ancho referente al cuerpo del componente resistivo.

3.5 ENFOQUE Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó bajo una metodología mixta en donde prevalece el enfoque cuantitativo más que el cualitativo. El tipo de estudio en el que recae esta investigación es un no experimental, lo que implica que las variables del estudio no fueron manipuladas y el fenómeno observado será normal. El tipo de diseño es transversal ya que los datos son recopilados con un límite de tiempo durante las semanas en que se desarrolla la investigación y la observación del proceso de colocación de componentes SMT bajo un concepto de control estadístico y de conformidad a la norma dicha previamente. El alcance de esta investigación es correlacional, ya que se pretende ver las causas y efectos del proceso, buscando brindar soluciones a los hallazgos suscitados al término de la investigación. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010)

La siguiente figura muestra el esquema desarrollado para el enfoque metodológico descrito para la investigación.

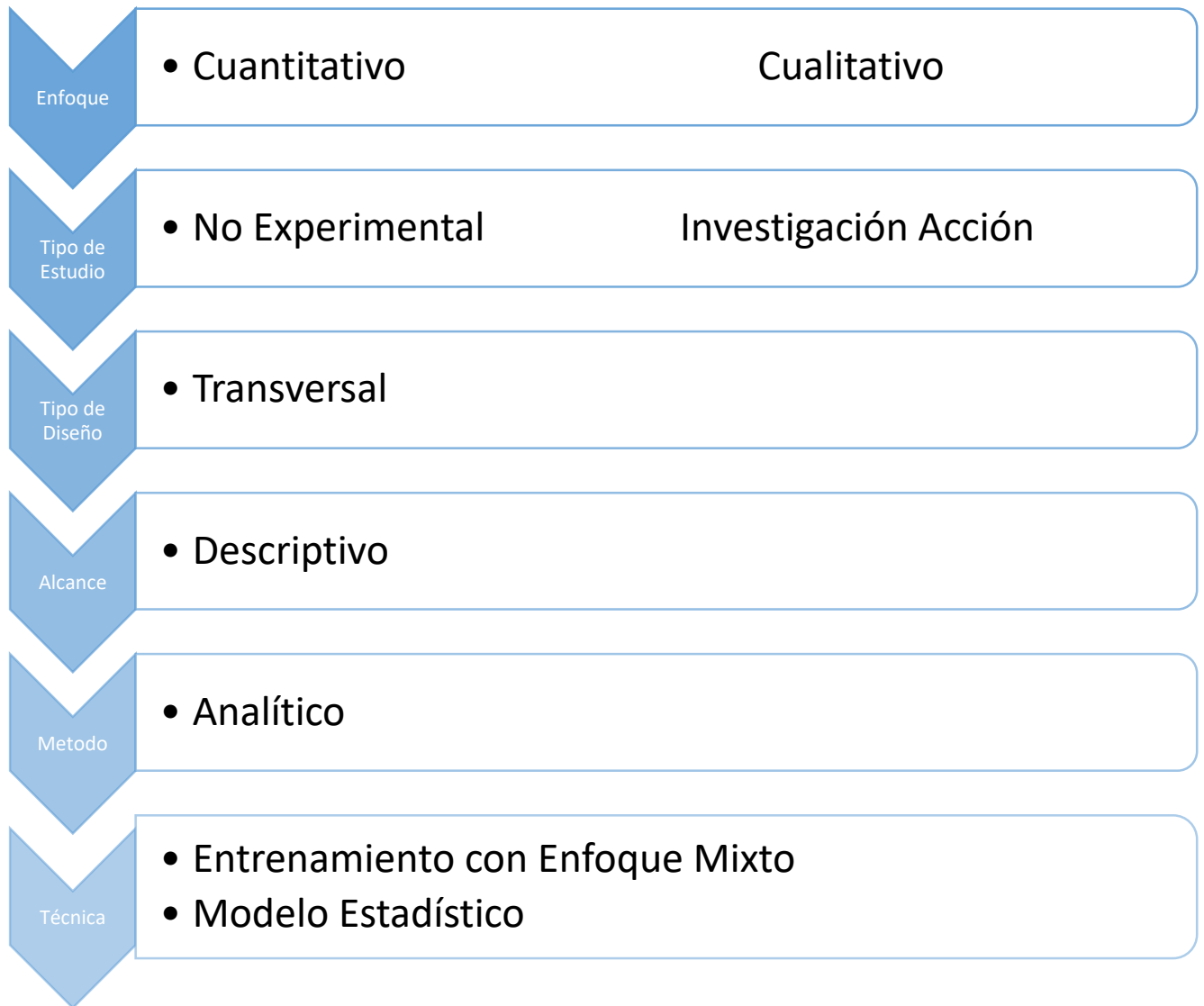


Ilustración 41. Diseño de Enfoque Metodológico

3.6 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es el plan o estrategia que se desarrolla para tener la información que se requiere en una investigación con el fin de encontrar las respuestas a las interrogantes planteadas al inicio de la misma y por las cuales se hace el proceso metodológico. (Hernández, R, Fernández, & Baptist, 2010).

El proyecto en cuestión tiene un enfoque mixto cuantitativo y cualitativo y a su vez se convierte en una investigación no experimental por ser un estudio empírico en el cual no se manipulan los datos; y sistemático con un diseño transversal ya que se recogieron los datos en un momento único mediante la recolección de datos medidos directamente sobre las muestras físicas para procesar las variables inherentes a dichas muestras bajo un espectro estadístico enfocado a control de proceso. Al mismo tiempo es un estudio descriptivo ya que con el resultado se busca demostrar la situación actual del proceso de colocación de componentes en Empire Electronics. A su vez como es también un estudio con enfoque cualitativo, ya que involucra conceptos de interpretación de criterios basados en los entrenamientos provistos para abordar la temática que aborda este proyecto, como ser el cumplimiento con la norma IPC-A-610 de parte del proceso SMT. Todo lo anterior se construye para lograr dar respuesta a la hipótesis planteada, mediante la obtención de datos a través de las mediciones y la interpretación de dichos resultados.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos de la investigación realizada en la división PCBA de Empire Electronics, en torno al proceso de colocación de componentes SMD siguiendo los lineamientos de la norma IPC-A-610. Para el registro de los resultados de la toma de muestras y para graficar las mismas se utilizó el MS Excel 2016 así como el uso del software de procesamiento estadístico MINITAB16 con la información provista por la compañía mencionada.

4.1 GRADO DE OCURRENCIA

El grado de ocurrencia se interpreta como la cantidad de incidencias de desplazamientos fuera de tolerancia presentada en la tablilla EEB4007 bajo el concepto interpretado de la norma IPC-A-610, la cual establece que los desplazamientos o desfases en sentido vertical u horizontal, mayores a 25% se consideran defecto para Clase 3. Por tanto, los siguientes gráficos muestran la cantidad de incidencias de componentes movidos para el período comprendido entre Agosto y Octubre.

4.1.1 COMPONENTES DESFASADOS

El estudio se concentra en la tablilla EE4007 por ser la que de manera recurrente presenta casos de desplazamiento en los tres meses estudiados; a la vez, se toma como factor preponderante el hecho que es la tablilla que es poblada con los componentes más pequeños utilizados en planta, por lo que el grado de precisión se vuelve crítico, al no tener holgura significativa para el posicionamiento en cualquier dirección. Los componentes más pequeños son los que representan mayor reto de colocación para la máquina en cuanto a la precisión de la misma.

4.1.2 PARETO DE DESFASES

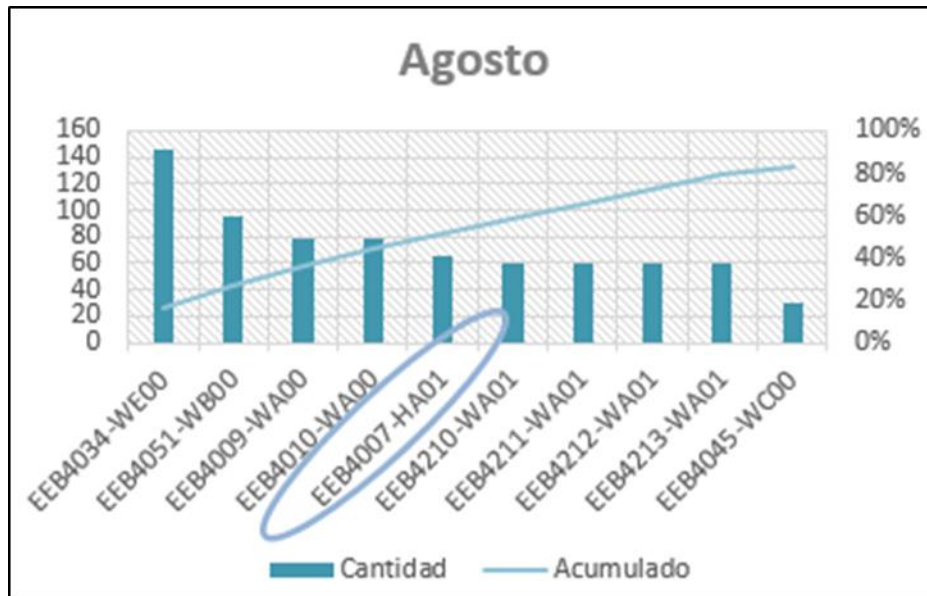


Ilustración 42. Pareto Desfases Agosto

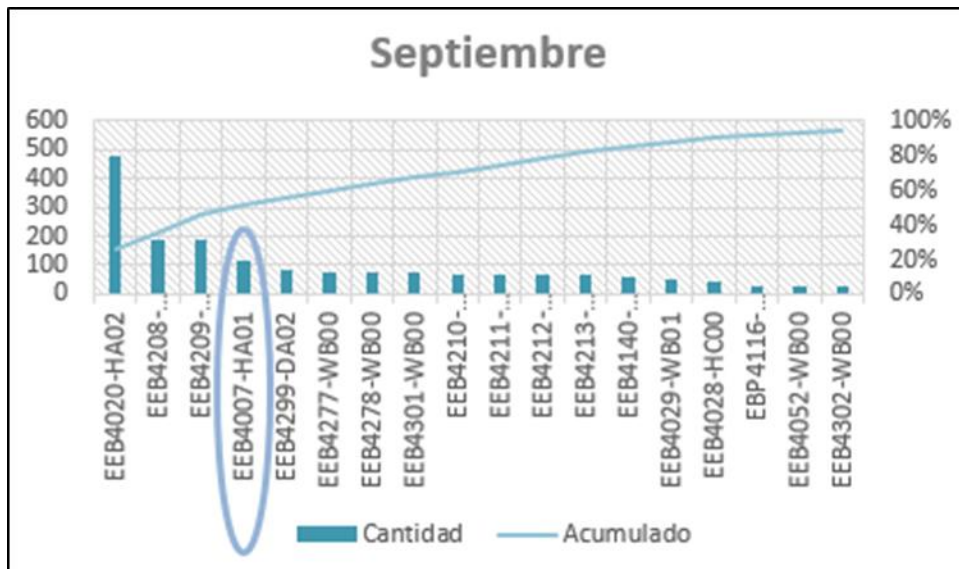


Ilustración 43. Pareto Desfases Septiembre

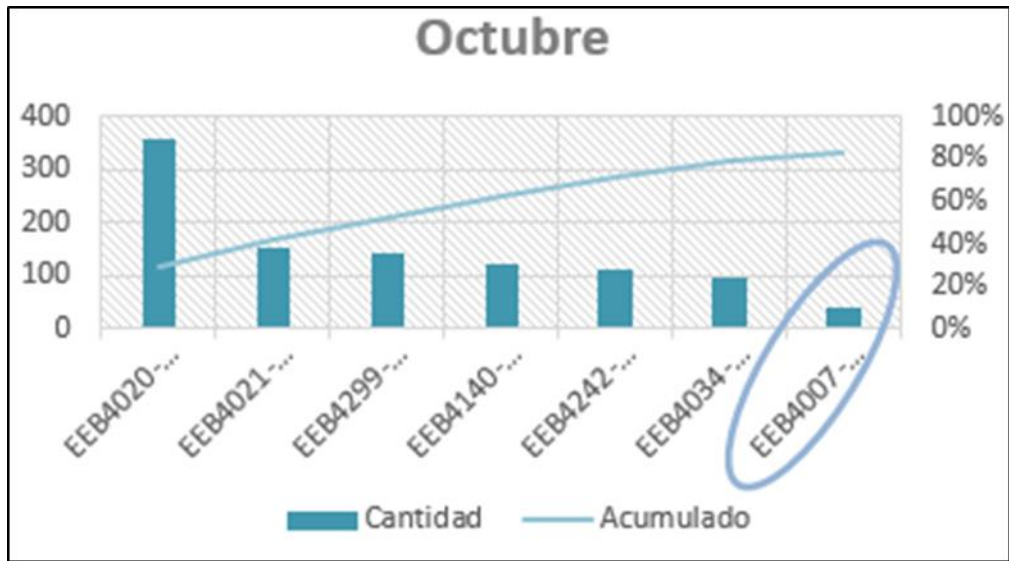


Ilustración 44. Pareto Desfasos Octubre

Los diferentes paretos muestran la tendencia de la tablilla PCB EEB4007 a presentar condiciones de componentes movidos o desfasados que se salen de las tolerancias descritas por la norma IPC-A-610. Por lo tanto, es sobre este número de parte sobre el cual se enfoca el estudio estadístico a realizarse.

Las no conformidades aquí presentadas dan pie para el cuestionamiento de la materia prima, la máquina, el método y la mano de obra. Para lo anterior se presentan los resultados obtenidos mediante la observación y el desarrollo del estudio estadístico.

4.1.3 ANÁLISIS DE CAUSA Y EFECTO PARA DESFASE DE COMPONENTES

Para poder determinar las causas que interfieren con el proceso de colocación de componentes electrónicos sobre la tablilla PCB, se realiza una evaluación de diferentes puntos a considerar para lograr esclarecer la causa raíz del problema planteado. Para dar pie a dicha evaluación se procede a realizar un diagrama de causa y efecto para analizar factores relevantes alusivos al proceso estudiado.

Con el uso de la herramienta Ishikawa, se pueden traer a la mesa de evaluación, diferentes factores que deben ser estar sometidos a un escrutinio para lograr determinar la verdadera causa o causas a las que se le puedan atribuir los problemas planteados en la investigación. Por tal motivo, se realizó un diagrama que permite visualizar de forma gráfica los factores de Mano de Obra, Máquina, Método y Materia Prima en torno al proceso de colocación de componentes SMT en el proceso de tarjetas electrónicas de la división PCBA de la empresa de arneses automotrices Empire Electronics. En este diagrama se visualizan factores a descartar

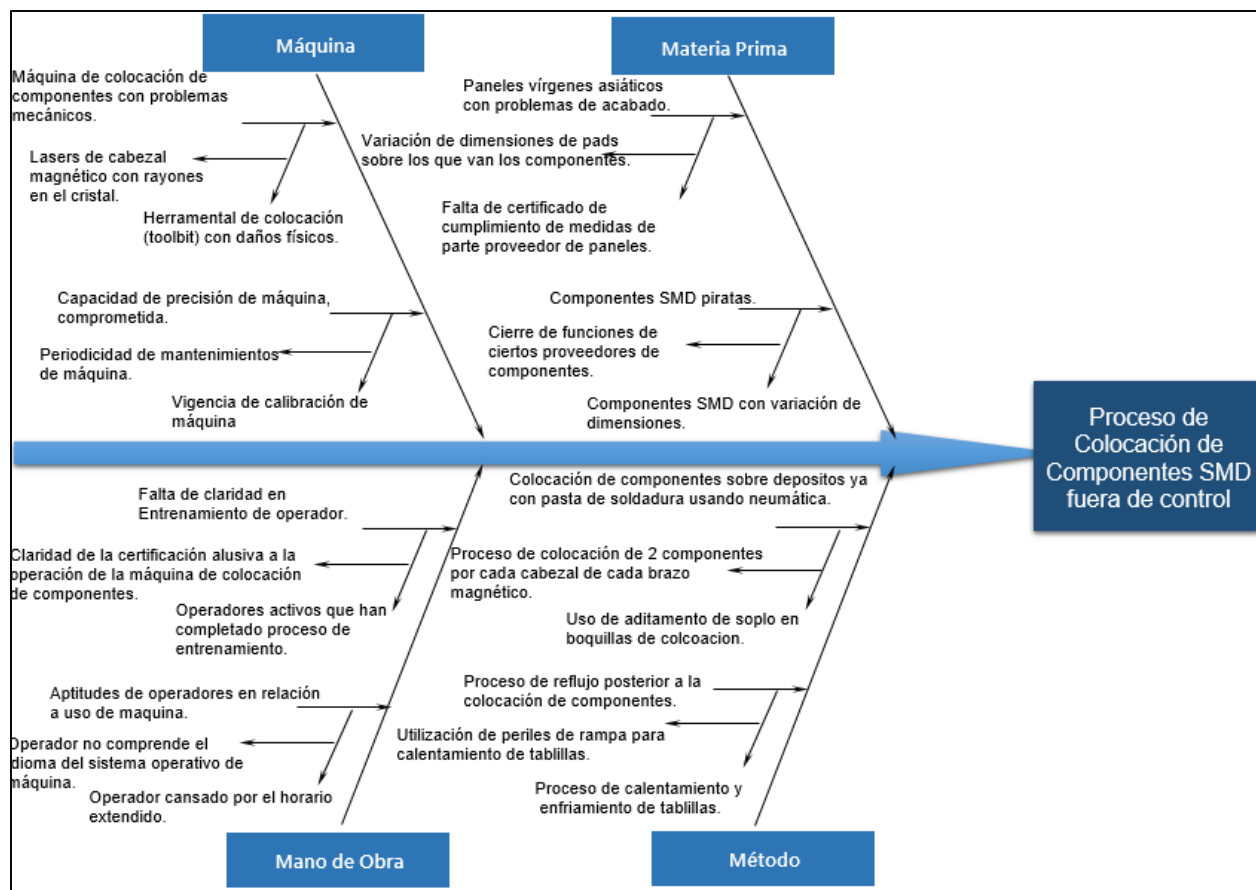


Ilustración 45. Diagrama Ishikawa sobre Problema estudiado.

4.1.4 DESPLAZAMIENTO LATERAL

Según la norma IPC-A-610 Rev. 3 menciona “El desplazamiento lateral (A) es mayor que el 25% del ancho de la terminación del componente (W) o 25% del ancho de la pista (P), lo que sea menor.”

Por tanto, se tomaron mediciones de la pista donde se coloca nuestro componente (R14) y la medida del mismo con el fin de encontrar cual es el menor y tomar este como referencia obteniendo los siguientes resultados (ver Tabla 8) (Industries, 2017)

Tabla 8. Medidas PAD vrs Resistencias

Medidas PAD contra Resistencia					
PAD (X)	Resistencia (X)	Según Norma	PAD (Y)	Resistencia (Y)	Según Norma
2.895	1.600	0.400	0.953	0.800	0.200

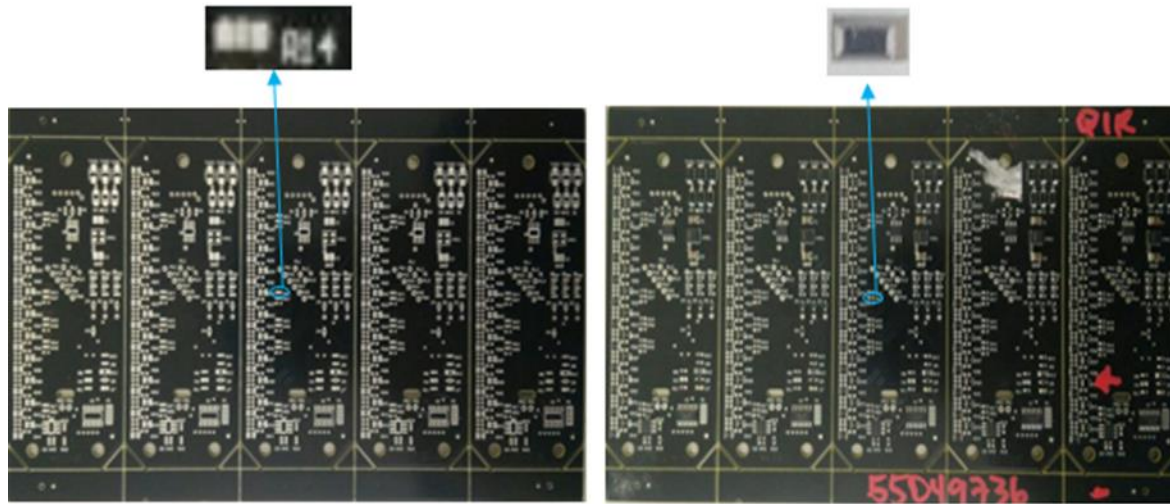


Ilustración 46. Comparación PAD vrs Resistencias

Según una muestra de 35 datos se observó con más frecuencia el desplazamiento en el eje Y. Para la comprobación de este estudio se separaron las medidas de desplazamiento en 4 cuadrantes tomando como referencia el PAD. Las mediciones en negativo muestran un desplazamiento no aceptado del componente hacia fuera del PAD.

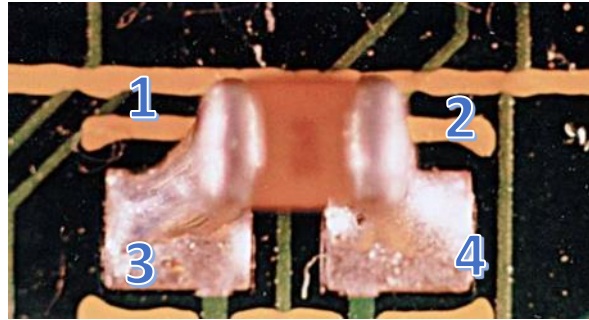


Ilustración 47. Cuadrantes de Desfase de Componentes

En base a lo anterior, se entiende que los desplazamientos de los componentes pueden ocurrir tanto en el eje X como en el eje Y. Para el caso estudiado del componente R14 (ERJ-3EKF1002V) en la tablilla EEB4007, el cual es de los más pequeños que se colocan en el proceso, se busca determinar la precisión con la que la máquina es capaz de mantener la población de componentes en un rate de producción a razón de 200 componentes por minuto.

Los desplazamientos más allá del 25% son considerados defectos para Clase 3 de la norma mencionada, debido a que no presentan una condición favorable para el tránsito eléctrico de toda la tablilla como tal, por lo tanto, al estar con desfases mayores a los indicados, el espacio eléctrico mínimo a respetar para cada conductor y componente adyacente, se ve violentado, lo que puede causar daños a la tablilla, al energizarse, producto de la formación de arcos eléctricos a pequeña escala dentro de la configuración y entramado de capas conductoras de la PCB.

En la siguiente tabla se presenta los resultados de 35 muestras de componentes posicionados en los pads correspondientes de la tablilla PCB para comprobar que tan precisa es la colocación sobre dichos pads. Se toman mediciones tanto en el eje X como el eje Y; haciendo la distinción de los 4 cuadrantes en los cuales se puede desplazar el componente, tal y como lo muestra la Ilustración 46 anterior.

4.1.5 CÁLCULO DE LA MUESTRA

Determinar el tamaño de la muestra que se va a seleccionar es un paso importante en cualquier estudio de investigación de mercados, se debe justificar convenientemente de acuerdo al planteamiento del problema, la población, los objetivos y el propósito de la investigación. (AG, 2018)

La fórmula para calcular el tamaño de muestra cuando se desconoce el tamaño de la población es la siguiente:

Cálculo de la Muestra

Fuente: (AG, 2018)

$$n = \frac{Z_a^2 \times p \times q}{d^2}$$

En donde

Z = nivel de confianza, (99%)

P = probabilidad de éxito, o proporción esperada (0.05)

Q = probabilidad de fracaso (0.05)

D = precisión (error máximo admisible en términos de proporción) (0.01)

Tomando esto en consideración el tamaño de la muestra necesario para este estudio debe ser de 166.41, lo cual redondeado es 167. Sin embargo, de acuerdo a lo permitido por la empresa y debido al alto costo del material solo se permitió tomar una muestra de 30 piezas.

Tabla 9. Datos de Desfase de Componente R14

Tolerancia	Eje X		Eje Y	
	0.4	-0.4	0.2	-0.2
Cuadrante 1	132.222	133.022	76.624	77.024
Cuadrante 2	133.822	134.622	76.624	77.024
Cuadrante 3	132.222	133.022	75.824	76.224
Cuadrante 4	133.822	134.622	75.824	76.224

Sample	Cuadrante #1		Cuadrante #2		Cuadrante #3		Cuadrante #4	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
Master	132.622	76.824	134.222	76.824	132.622	76.024	134.222	76.024
1	132.486	77.346	134.086	77.346	132.486	76.546	134.086	76.546
2	132.645	77.001	134.245	77.001	132.645	76.201	134.245	76.201
3	133.254	76.864	134.854	76.864	133.254	76.064	134.854	76.064
4	133.029	76.864	134.629	76.864	133.029	76.064	134.629	76.064
5	132.972	78.025	134.572	78.025	132.972	77.225	134.572	77.225
6	133.033	77.648	134.633	77.648	133.033	76.848	134.633	76.848
7	132.217	76.846	133.817	76.846	132.217	76.046	133.817	76.046
8	133.085	77.013	134.685	77.013	133.085	76.213	134.685	76.213
9	132.648	76.864	134.248	76.864	132.648	76.064	134.248	76.064
10	133.018	76.971	134.618	76.971	133.018	76.171	134.618	76.171
11	133.091	76.964	134.691	76.964	133.091	76.164	134.691	76.164
12	132.289	76.899	133.889	76.899	132.289	76.099	133.889	76.099
13	133.086	76.900	134.686	76.900	133.086	76.100	134.686	76.100
14	132.691	76.489	134.291	76.489	132.691	75.689	134.291	75.689
15	132.671	76.698	134.271	76.698	132.671	75.898	134.271	75.898
16	132.230	77.016	133.830	77.016	132.230	76.216	133.830	76.216
17	133.094	76.849	134.694	76.849	133.094	76.049	134.694	76.049
18	133.186	77.018	134.786	77.018	133.186	76.218	134.786	76.218
19	133.020	76.456	134.620	76.456	133.020	75.656	134.620	75.656
20	132.648	76.884	134.248	76.884	132.648	76.084	134.248	76.084
21	132.156	76.891	133.756	76.891	132.156	76.091	133.756	76.091
22	133.019	77.018	134.619	77.018	133.019	76.218	134.619	76.218
23	132.674	76.915	134.274	76.915	132.674	76.115	134.274	76.115
24	132.279	76.899	133.879	76.899	132.279	76.099	133.879	76.099
25	133.012	76.890	134.612	76.890	133.012	76.090	134.612	76.090
26	132.942	77.168	134.542	77.168	132.942	76.368	134.542	76.368
27	133.010	76.913	134.610	76.913	133.010	76.113	134.610	76.113
28	133.016	76.971	134.616	76.971	133.016	76.171	134.616	76.171
29	132.229	77.013	133.829	77.013	132.229	76.213	133.829	76.213
30	133.019	76.887	134.619	76.887	133.019	76.087	134.619	76.087

4.1.6 GRÁFICOS DE DISTRIBUCIÓN

Derivado de la tabla anterior, se realizó el análisis de distribución de datos para los ejes X y Y, buscando el valor de desplazamiento del componente ERJ-3EKF1002V para visualizar el proceso en términos gráficos y ver como la colocación de componentes presenta fallas que caen fuera del cumplimiento de la norma expuesta.

Para tal fin se muestran los gráficos de campana aquellos datos que caen fuera de los límites de especificación, extraídos de las especificaciones de componentes, y tomando en cuenta que la norma declara que las dimensiones se toman en base a las terminaciones de los componentes o las dimensiones de pad, considerando al que sea menor.

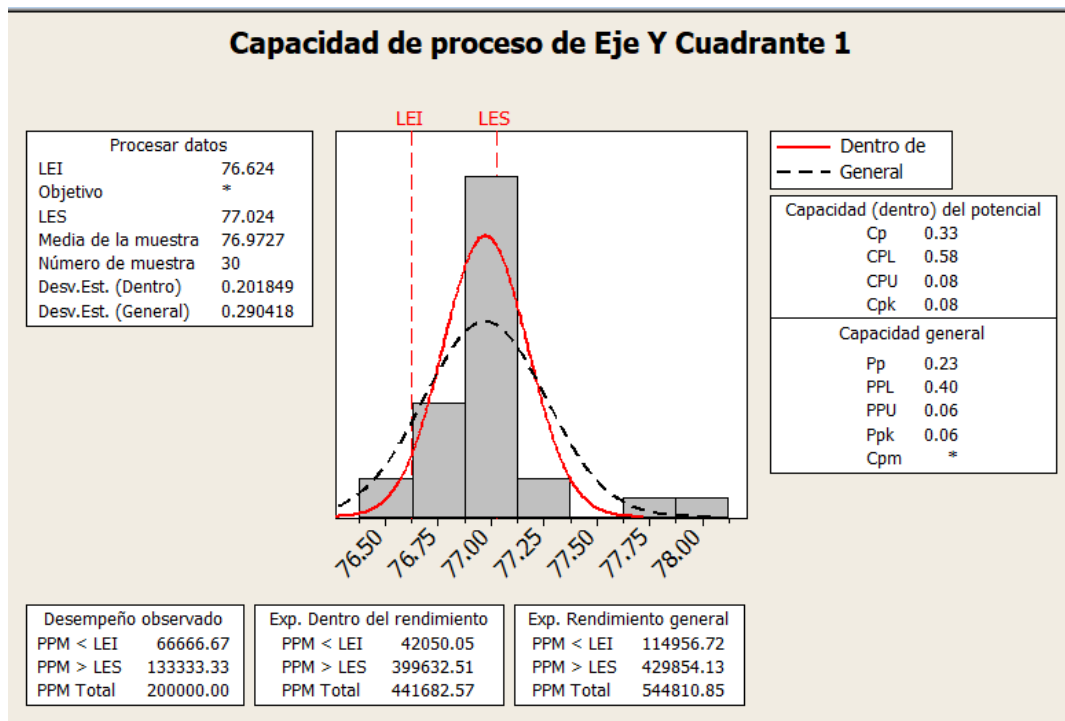


Ilustración 48. Proceso Eje Y, Cuadrante 1

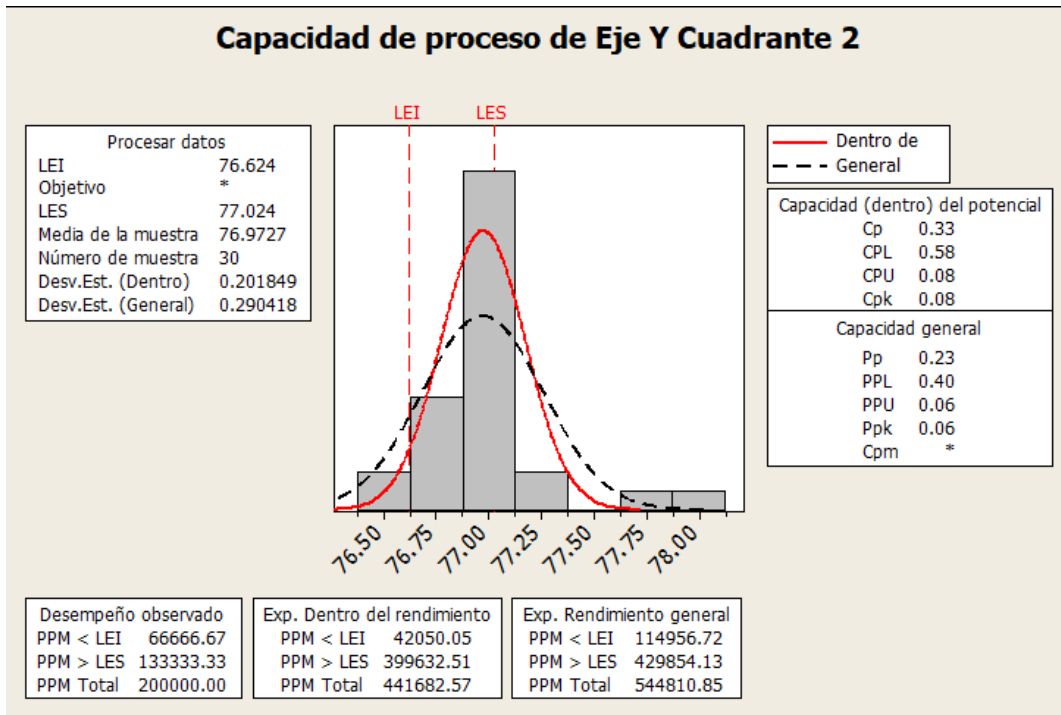


Ilustración 49. Proceso Eje Y, Cuadrante 2

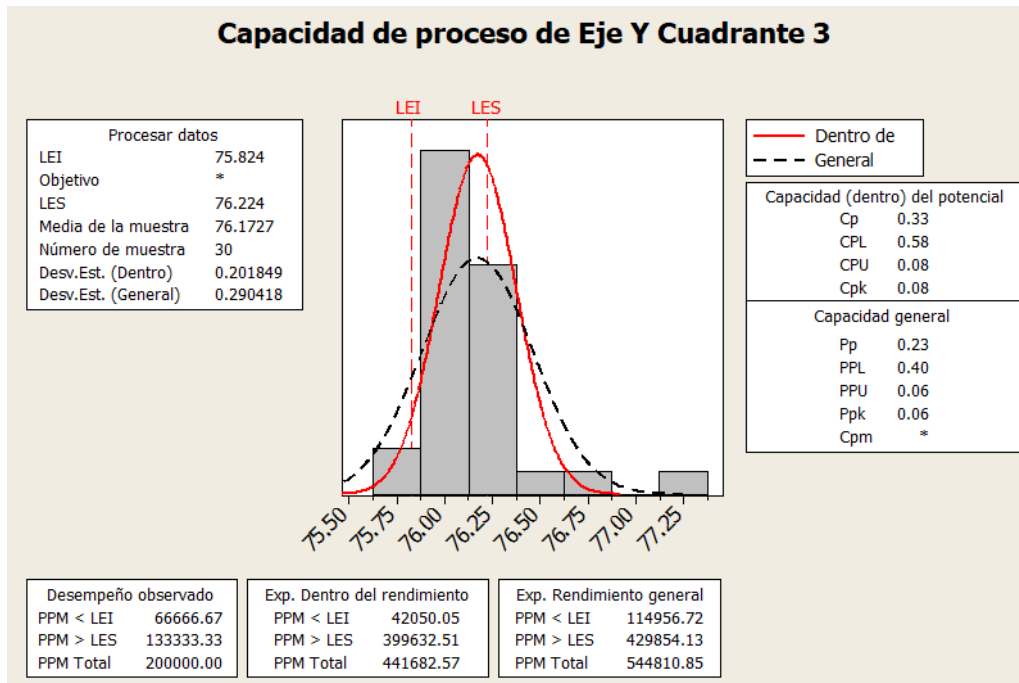


Ilustración 50. Proceso Eje Y, Cuadrante 3

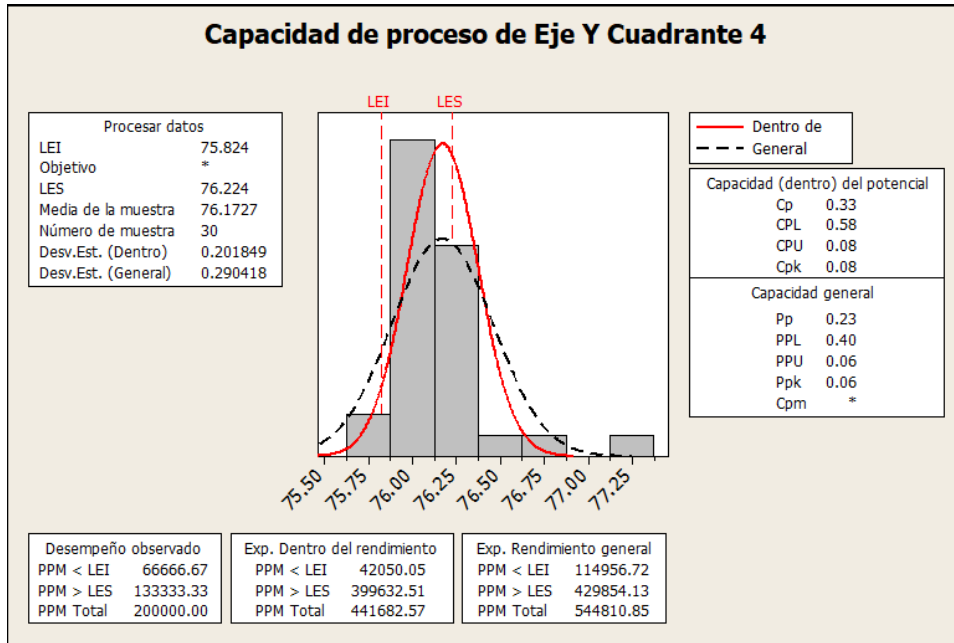


Ilustración 51. Proceso Eje Y, Cuadrante 4

El posicionamiento de los componentes en eje Y, se observa mucho más orientado al centro, que su contraparte, siguiendo a los límites inferior y superior, descritos en la Tabla 9. Esto indica que la posición del resistor estudiado, tiene menor variación en cuanto a la posición vertical, respecto al pad, por lo tanto, el enfoque para llevar a control el proceso se centrara en la dimensión X. La media de la muestra lograda en para esta recolección, figura una medida entre 76.426 mm, y 76.97 de la media de los datos normalizados para el proceso.

Seguidamente, se presentan los gráficos para los datos recolectados de los cuadrantes de X respecto al posicionamiento de los resistores y los pads sobre los cuales que se colocan:

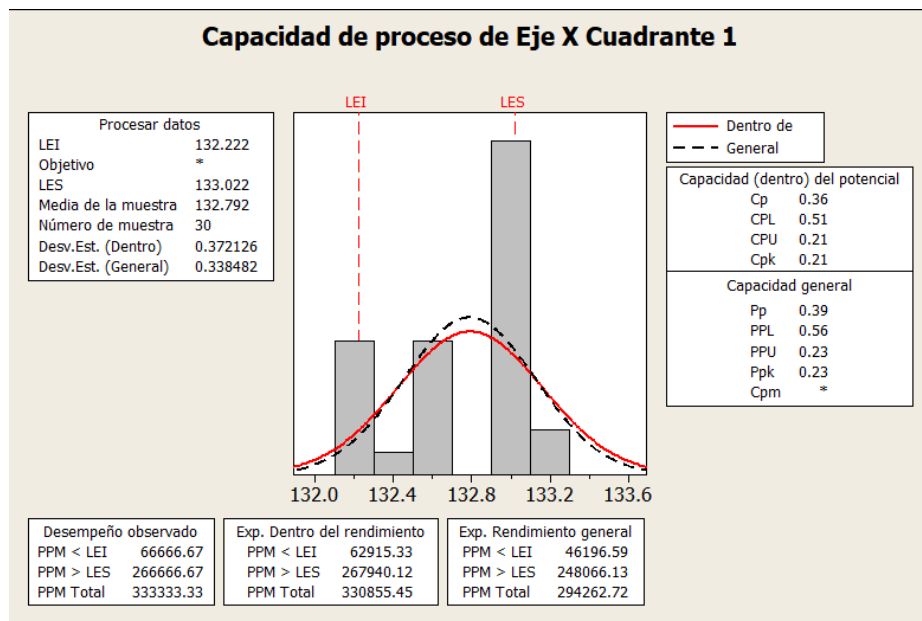


Ilustración 52. Proceso Eje X, Cuadrante 1

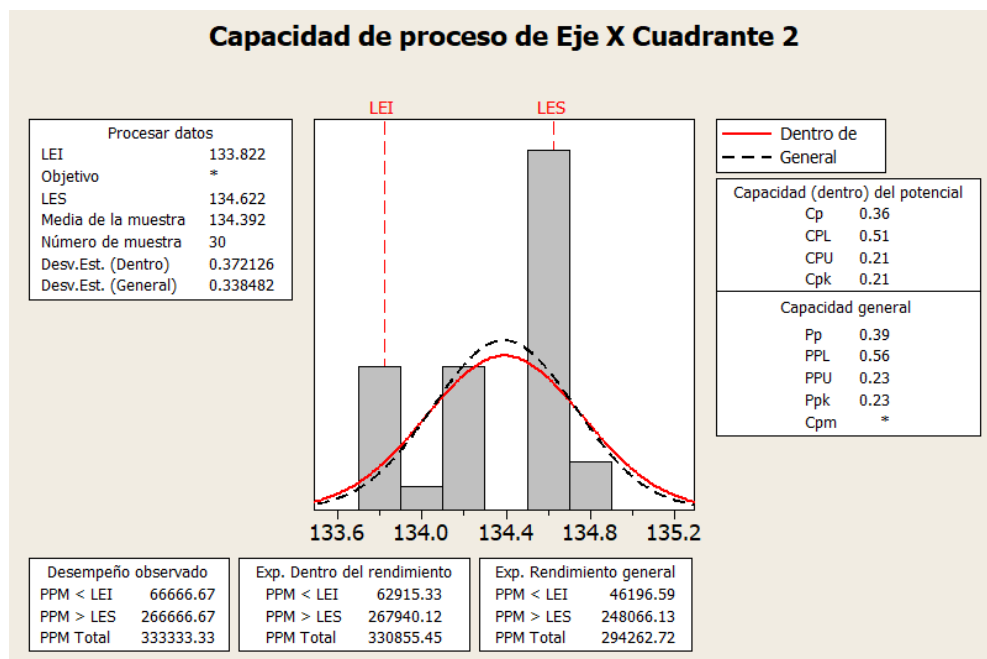


Ilustración 53. Proceso Eje X, Cuadrante 2

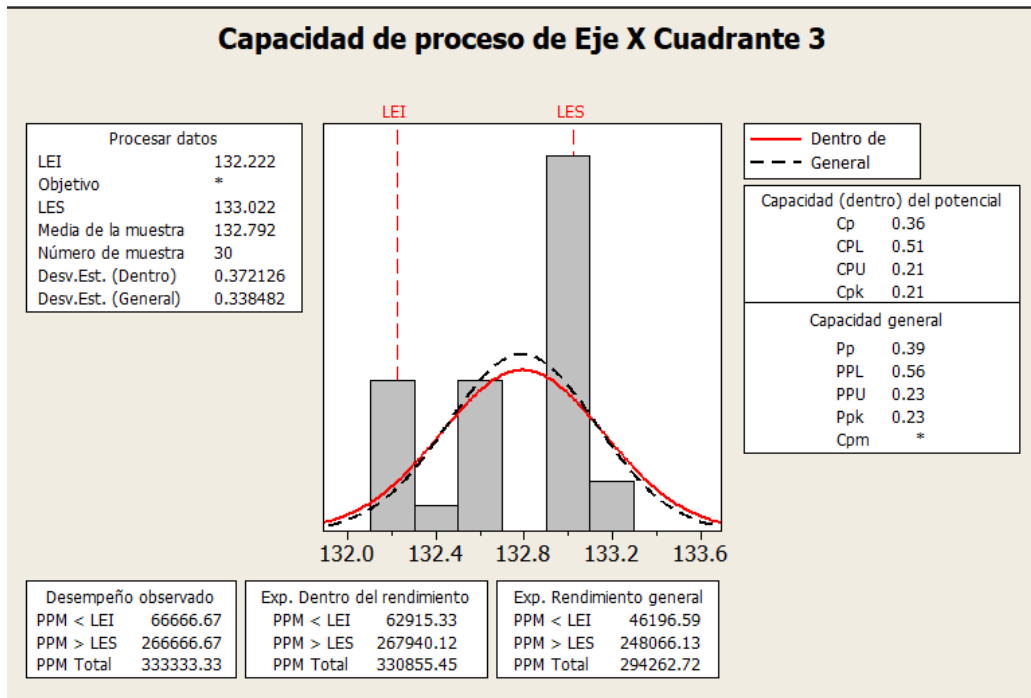


Ilustración 54. Proceso Eje X, Cuadrante 3

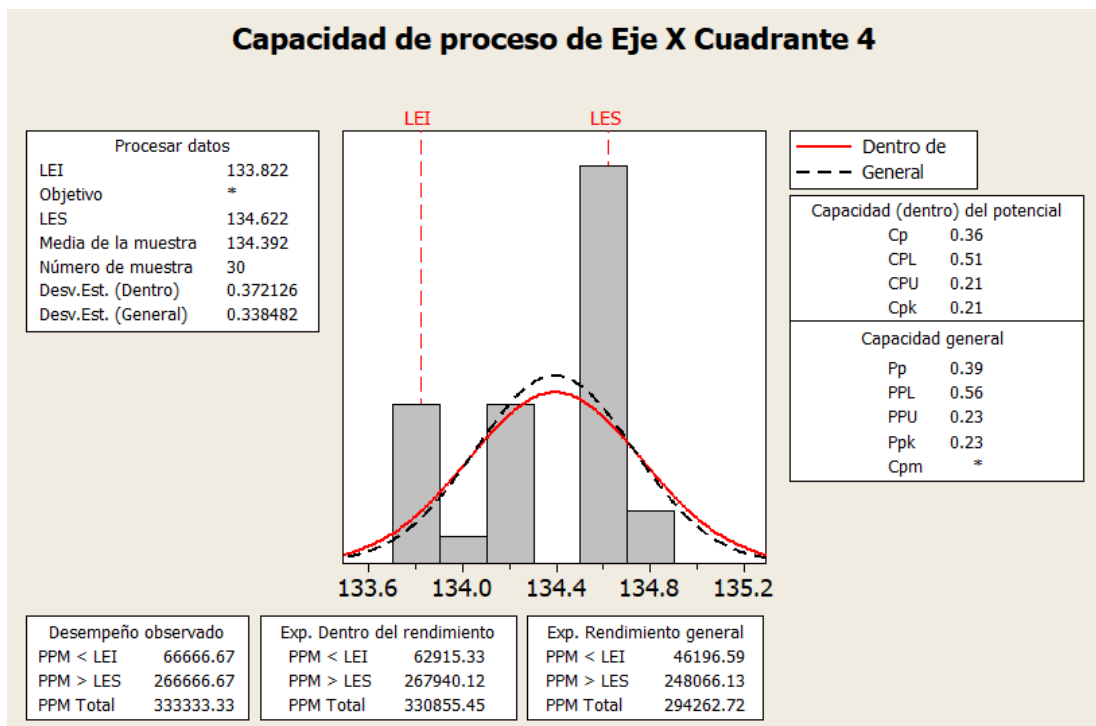


Ilustración 55. Proceso Eje X, Cuadrante 4

Los resultados anteriores, expresan un problema de proceso en donde los componentes no están centrados dentro de las terminaciones de los pads, por lo que al desviarse más allá del 25% del ancho del componente, es decir 0.2 mm, la tablilla no cumple la especificación de Clase 3 para la norma IPC-A-610 G.

En el gráfico de campana se aprecia la distribución normalizada de los datos, al momento de la recolección inicial, para el parámetro de posición en X del resistor. Las medias para este varían entre 133.39 -139.72 mm, y los límites de especificación inferior y superior dados por la hoja de datos del componente son más la tolerancia de posicionamiento, dependiendo del cuadrante, descritas en la Tabla 9.

Se puede apreciar que hay ciertos datos que salen por sobre los límites, por lo tanto, hay oportunidad de mejorar la estabilidad del proceso de colocación de componente SMD sobre las tablillas PCB efectuado por la máquina de posicionamiento de componentes con sus cabezales y herramientas de colocación.

4.1.7 DIMENSIONES DE MATERIA PRIMA

Se realizó la medición de materia prima en 30 muestras del componente resistor ERJ-3EKF1002V para corroborar la consistencia en las dimensiones de largo y ancho del mismo, respecto a la tabla de especificaciones del proveedor aprobado.

Las dimensiones a medir, son tomadas aleatoriamente de componentes obtenidos de los distintos carretes de proveedor que vienen a la planta desde Estados Unidos y de Asia. Los componentes vienen dispuestos en cavidades del carrete, y cubiertas con una pequeña lámina plástica que las mantiene en su lugar.

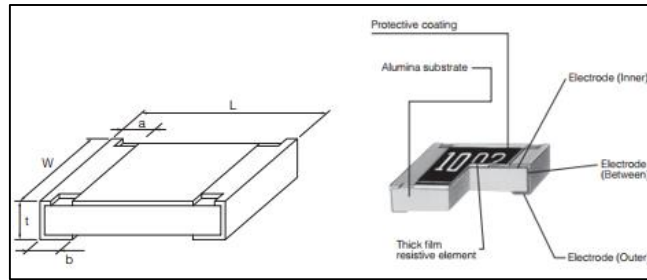


Ilustración 56. Forma de Resistor

Las medidas para lo ancho del resistor proveen una media de 0.802 mm, lo cual cae dentro de la tolerancia de 1% opara las dimensiones del componente, descrito por la hoja de especificación. Del mismo modo, la media del largo de resistor da 1.601 mm, que también respeta la tolerancia descrita.

Tabla 10. Medidas ancho y largo de resistor

Sample	Nom	0.800
	Tol +	0.810
	Tol -	0.790
0.800	0.807	
0.800	0.805	
0.800	0.800	
0.800	0.802	
0.800	0.803	
0.800	0.799	
0.800	0.806	
0.800	0.801	
0.800	0.803	
0.800	0.794	
0.800	0.796	
0.800	0.809	
0.800	0.809	
0.800	0.801	
0.800	0.805	
0.800	0.804	
0.800	0.797	
0.800	0.799	
0.800	0.804	
0.800	0.796	
0.800	0.805	
0.800	0.803	
0.800	0.803	
0.800	0.798	
0.800	0.801	
0.800	0.804	
0.800	0.799	
0.800	0.805	
0.800	0.809	
0.800	0.798	
Media	0.802	

Sample	Nom	1.600
	Tol +	1.610
	Tol -	1.590
1.600	1.601	
1.600	1.605	
1.600	1.599	
1.600	1.596	
1.600	1.603	
1.600	1.606	
1.600	1.598	
1.600	1.602	
1.600	1.598	
1.600	1.594	
1.600	1.608	
1.600	1.598	
1.600	1.604	
1.600	1.598	
1.600	1.604	
1.600	1.598	
1.600	1.594	
1.600	1.608	
1.600	1.598	
1.600	1.594	
1.600	1.609	
1.600	1.599	
1.600	1.607	
1.600	1.597	
1.600	1.599	
1.600	1.601	
1.600	1.598	
1.600	1.604	
1.600	1.605	
1.600	1.598	
Media	1.601	



Ilustración 57. Tendencia de mediciones de ancho del resistor



Ilustración 58. Tendencia de mediciones de largo del resistor

Por otro lado, se tiene el panel virgen sobre el cual se hace la colocación del componente y que una vez se pasa por el proceso de reflujo, termina siendo una tablilla PCB completa.

Las mediciones de las características como ser largo, ancho y espesor de la tablilla son medidas para lograr establecer una media de dichas dimensiones y poderla comparar contra el posicionamiento de los componentes realizado por la IFLEX.

Tabla 11. Dimensiones físicas de paneles

Item	Largo	Ancho	Espesor
1	250	1439.2	16
2	250	1438.8	16.1
3	250	1439.9	16.1
4	250	1439.8	16.2
5	250	1440.5	16.2
6	250	1440.6	16.1
7	250	1440.2	16.2
8	250	1441.2	16.2
9	250	1440.6	15.9
10	250	1440.3	16.1
11	250	1439.1	15.1
12	250	1439.9	15.4
13	250	1439.3	15.8
14	250	1440.1	16.1
15	250	1440.2	15.4
16	250	1439.7	15.8
17	250	1440.6	15.9
18	250	1440.2	15.7
19	250	1439.7	15.4
20	249.5	1440.3	15
21	250	1440.6	15.7
22	250	1440.6	15.9
23	250	1440.1	15.9
24	249.5	1440.1	14.7
25	250	1440.1	15
26	250	1440.1	15.4
27	249.5	1440.8	15.2
28	249.5	1440	16.2
29	249.5	1440.8	15.3
30	250	1439.2	15.1
31	250	1440.3	15.6
32	250	1440.4	15.5
33	250	1440.6	14.7
34	250	1440.3	15.4
35	250	1439.5	14.8

Del mismo modo se considera la medida de cada cuadro o pad sobre el cual se coloca el componente a soldar. De las mediciones realizadas se encuentra que, efectivamente hay puntos que se salen de los valores de tolerancia permitidos para la dimensión de dichas características.

Tabla 12. Medidas de Pad X,Y de la posición R14

Medida Y			Medida X		
Sample	Nom	0.953	Sample	Nom	2.896
	Tol +	0.963		Tol +	2.906
	Tol -	0.943		Tol -	2.886
0.953	0.964	2.896	2.897		
0.953	0.953	2.896	2.884		
0.953	0.943	2.896	2.891		
0.953	0.940	2.896	2.764		
0.953	0.960	2.896	2.746		
0.953	0.944	2.896	2.973		
0.953	0.931	2.896	2.895		
0.953	0.956	2.896	2.905		
0.953	0.936	2.896	2.799		
0.953	0.926	2.896	2.906		
0.953	0.963	2.896	2.898		
0.953	0.954	2.896	2.897		
0.953	0.956	2.896	2.896		
0.953	0.943	2.896	2.901		
0.953	0.968	2.896	2.906		
0.953	0.976	2.896	2.891		
0.953	0.956	2.896	2.970		
0.953	0.981	2.896	2.863		
0.953	0.946	2.896	2.886		
0.953	0.958	2.896	2.889		
0.953	0.934	2.896	2.916		
0.953	0.946	2.896	2.891		
0.953	0.953	2.896	2.887		
0.953	0.950	2.896	2.905		
0.953	0.951	2.896	2.864		
0.953	0.949	2.896	2.902		
0.953	0.943	2.896	2.816		
0.953	0.947	2.896	2.910		
0.953	0.948	2.896	2.900		
0.953	0.952	2.896	2.897		
Media	0.951	Media	2.885		

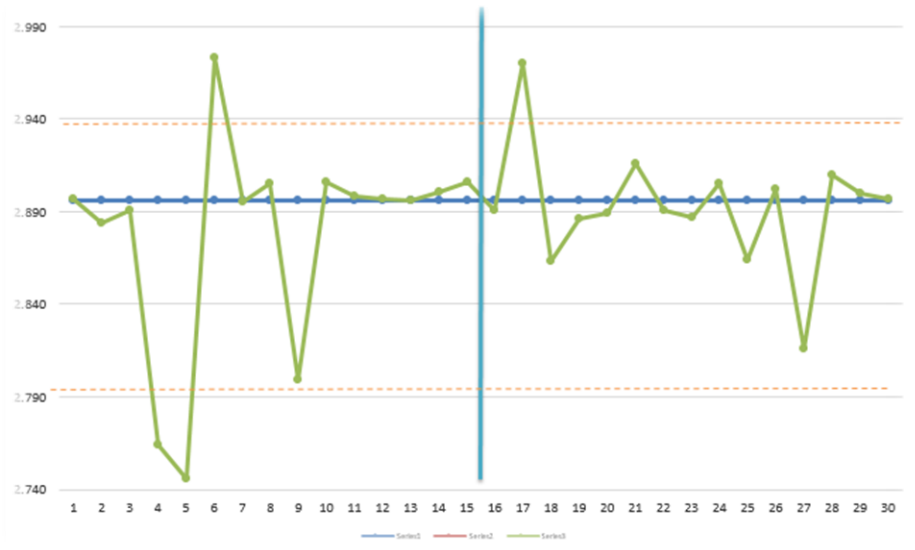


Ilustración 59. Gráfica de Medidas X de pad R14

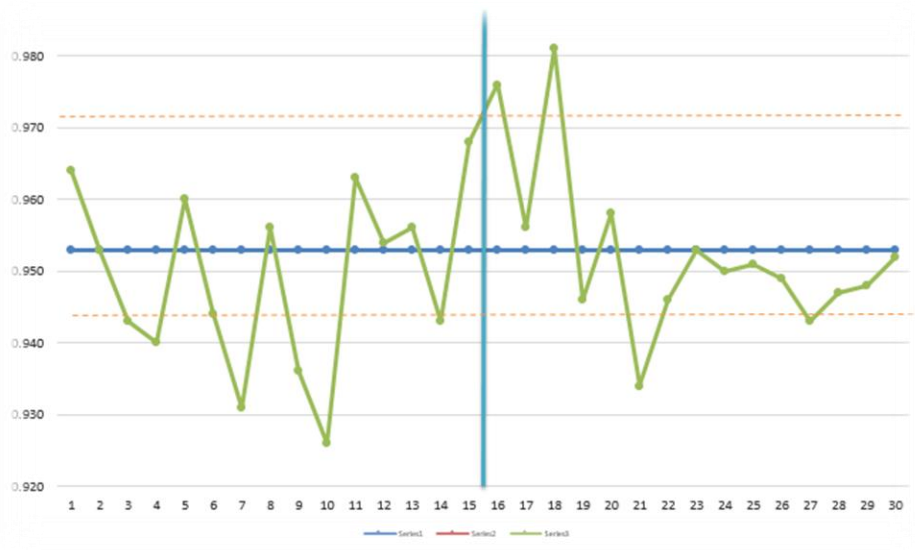


Ilustración 60. Gráfica de Medidas Y de pad R14

4.1.8 PRECISIÓN DE MÁQUINA

Para efectos de evaluar la capacidad de consistencia de la máquina en la colocación de los componentes, se realizó la medición de centro a centro, basado en las coordenadas de máquina. El fin es que pueda coincidir el centro del componente con la coordenada X,Y del pad.

Tabla 13. Cotejo de coordenadas de colocación

Sample	Nom	1	2
		Tol +	Tol -
		0.040	0.040
1	133.409	76.400	
2	133.422	76.409	
3	133.400	76.420	
4	133.429	76.440	
5	133.431	76.432	
6	133.421	76.405	
7	133.419	76.389	
8	133.411	76.411	
9	133.419	76.456	
10	133.386	76.422	
11	133.382	76.464	
12	133.436	76.420	
13	133.426	76.392	
14	133.420	76.420	
15	133.420	76.436	
16	133.440	76.400	
17	133.425	76.420	
18	133.430	76.427	
19	133.440	76.420	
20	133.449	76.421	
21	133.425	76.450	
22	133.426	76.427	
23	133.427	76.424	
24	133.410	76.450	
25	133.428	76.440	
26	133.460	76.407	
27	133.440	76.430	
28	133.418	76.392	
29	133.444	76.458	
30	133.425	76.450	

Min	133.382	76.389
Max	133.460	76.464
Mean	133.424	76.424
Avg. Range	0.0152	0.0234
Std Dev	0.016	0.020
3 Sigma	0.05	0.06
CP	0.99	0.64
CPU	0.94	0.63
CPL	1.04	0.65
Cpk	0.94	0.63

Tabla 14. Definición de precisión de colocación de componentes

Precisión		Delta
Nominal X	133.422	
Xmax	133.460	0.038
Xmin	133.382	0.040
Nominal Y	76.424	
Ymax	76.389	0.035
Ymin	76.464	0.040

Tomando como base la programación de la IFLEX, se calcula el centro de coordenada de todas las muestras de R14, luego se revisan los valores mínimos y máximos obtenidos de las mediciones. A partir de este punto, se coteja contra el valor nominal de posición de centro del componente, sacando así un delta de posición; este delta de posición es el que debe cumplir el estándar de precisión de alineación provisto por la máquina, mencionado en el capítulo 2, sobre los 40 micrones de precisión con los que la máquina puede operar, que se traducen a una precisión de 0.04 mm. Por tanto, de la Tabla 14, se infiere que las diferencias, tanto mínimas como máximas obtenidas de las mediciones, caen dentro del rango de tolerancia de operación de la IFLEX, por lo que se puede determinar que la máquina opera a este nivel de precisión.

4.2 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Luego de realizar todos los análisis respectivos para el proceso de colocación de componentes SMD en Empire Electronics, bajo la norma IPC-A-610 Clase 3; se comprueba que el proceso actual no está cumpliendo en su totalidad con dicho requerimiento. Al haber múltiples puntos de medición que caen fuera de los márgenes permitidos por la norma en cuando al criterio de desplazamiento no mayor al 25% que se traduce en desplazamientos menores a 0.4 mm en eje X (largo) y 0.2 mm en eje Y.

Para realizar la comprobación de la hipótesis, se tomó la diferencia del cuadrante #1 del eje Y, contra el valor nominal del cuadrante. Con este fin se desarrolla la siguiente tabla y su respectiva comprobación:

Eje Y	Diferencia
76.824	0.000
77.346	0.131
77.001	0.044
76.864	0.010
76.864	0.010
78.025	0.300
77.848	0.206
76.846	0.006
77.013	0.047
76.864	0.010
76.971	0.037
76.964	0.035
76.899	0.019
76.900	0.019
76.489	0.084
76.698	0.032
77.016	0.048
76.849	0.006
77.018	0.049
76.456	0.092
76.884	0.015
76.891	0.017
77.018	0.049
76.915	0.023
76.899	0.019
76.890	0.017
77.168	0.088
76.913	0.022
76.971	0.037
77.013	0.047
76.887	0.016

T de una muestra: C2

Prueba de $\mu = 0.2$ vs. $\mu = 0.2$

Variable	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 99%	T	P
C2	30	0.0510	0.0633	0.0116	(0.0191, 0.0829)	-12.89	0.000

Ilustración 61. Comprobación de hipótesis

Por lo tanto, derivado del análisis anterior, se comprueba la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula; lo cual significa que las PCBs ensambladas en proceso actual no cumplen Clase 3 de la norma IPC-A-610, que equivale a un desplazamiento menor a 0.4 mm de longitud y 0.2 mm de ancho referente al cuerpo del componente resistivo.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos por medio de la toma de datos y la metodología de análisis aplicado al proceso de colocación de componentes SMT en Empire Electronics en su división de PCBA, bajo la visión de cumplimiento de la norma IPC-A-610 en su categoría de Clase 3, se llegó a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

5.1 CONCLUSIONES

- 1.) El nivel de precisión con la que la máquina IFLEX es de 0.04 mm tanto en el eje X como el eje Y, por lo que la máquina si es capaz de cumplir con la colocación física del componente en el punto donde es programado.
- 2.) En la actualidad, el proceso de colocación de componentes SMT bajo la directriz de Clase 3 para IPC-A-610, no está cumpliendo en su totalidad con dicha norma, ya que hay puntos de colocación en los cuales, el componente se sale más allá del 25% permitido.
- 3.) En vista de que la máquina si es capaz de cumplir el posicionamiento según coordenadas programadas; para poder cumplir a cabalidad con las especificaciones de desplazamiento estipulados en la norma IPCA-610 para Clase 3, es necesario que el proceso sea ajustado a la variación de la materia prima.

5.2 RECOMENDACIONES

- 1.) Para realizar el control estadístico continuo en el proceso de colocación de componentes, se recomienda a la empresa Empire Electronics, montar un laboratorio de medición en el mismo edificio donde se encuentra la planta productiva, de este modo, los análisis y elaboración de reportes pueden realizarse en menor tiempo y con mayor facilidad de acceso a la información clave.
- 2.) Con miras a tener un personal eficaz en el manejo de las máquinas de colocación de componentes, se recomienda continuar con el proceso de entrenamiento y reforzamientos sobre las guías de *'troubleshooting'* elaboradas para el proceso en cuestión, de modo que los conocimientos se mantengan a punto, en todo el personal involucrado.
- 3.) Se recomienda a Empire Electronics, gestionar un sistema de calificación de sus proveedores en base a la calidad del producto recibido. Se invita implementar un sistema de integración de proveedores a su cadena de valor, desarrollando en conjunto la mejora de capacidades y atenciones, de modo que el producto recibido por la mencionada empresa, sea de mejor calidad.
- 4.) En vista de que la máquina si es capaz de cumplir con la precisión de colocación que se le programa y considerando que la materia prima utilizada en la que presenta problemas de desfase, se recomienda a Empire Electronics enfocar sus entrenamientos de operación de máquina IFLEX a un manejo flexible, para poder compensar el problema de materia prima, buscando dentro del mismo entrenamiento, hacer conciencia en los operadores sobre la problemática y que estos a su vez, retroalimenten el proceso como tal.

CAPÍTULO VI. APLICABILIDAD

La aplicabilidad del proyecto se basa en la entrega de un procedimiento de operación sobre el análisis estadístico del proceso SMT, específicamente en la colocación de los componentes sobre la tablilla o PCB. Este procedimiento describe el propósito del mismo, el alcance de utilización, los responsables y, en última instancia, el paso a paso para la recolección de datos a utilizarse para la implementación del control estadístico necesario para la evaluación de este proceso.

El procedimiento, a su vez, cuenta con un formato adjunto, para realizar dicha toma de datos para posteriormente poder aplicar los gráficos de control, mediante la tabulación respectiva. Una vez realizada la tabulación y la conjetura de los gráficos, se procede a analizar y emitir un juicio respecto al resultado, determinando de tal forma, la consistencia con el cumplimiento esperado con la norma IPC-A-610. El procedimiento estipula la responsabilidad y frecuencia de utilización para abordar el análisis estadístico pertinente, para el proceso particular que requiera ser evaluado. Para efectos de la presente investigación, el procedimiento se inició con la etapa del ‘Pick and Place’; es decir, el de colocación de componentes SMT, sin embargo, el procedimiento está abierto para incluir los requerimientos a estipular de los demás procesos o máquinas que requieran un análisis de esta naturaleza.

Asimismo, se incluye la guía ‘troubleshooting’ elaborada como entrenamiento para el personal operativo asignado a la máquina para efectos de abordar el problema de colocación de componentes; que, si bien es cierto, deriva de la calidad de la materia prima usada, la cual no es consistente en su totalidad, aporta positivamente al conocimiento de operación de la máquina y de cómo se debe atender en caso de alarmas. Ver Anexos #1 al #3.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(2017). Retrieved from The Printed Circuit Girls & Geeks: <http://www.pcgandg.com/home.html>

AG, P. G. (2018). *psyma*. Retrieved from www.psyma.com:

<http://www.psyma.com/company/news/message/como-determinar-el-tamano-de-una-muestra>

ALPHA. (2012). *ALPHA OM-340 TECHNICAL BULLETIN*. USA: Cookson Electronics.

Assembleon. (2012). *IFLEX Specification Book*. USA.

Cidei. (2012, Feb 28). *Cidei*. Retrieved from Cidei.net: <http://cidei.net/necesidad-de-introducir-latecnologia-de-montaje-superfi-cial-smt-en-la-produccion-detarjetas-electronicas-pcb-de-los-productos-electronicos-colombianos/>

Datalyzer. (2015, Jul 26). *datalyzer*. Retrieved from datalyzer.com:

<https://www.datalyzer.com/es/knowledge/cep/>

Delta. (2017, Jun 25). *aldelta*. Retrieved from aldelta.com.co/blog-disene-con-normas/normas-pcb-y-electronica/

Espinosa, R. (2013, Julio 29). *robertoespinosa.es*. Retrieved from robertoespinosa.es:

<http://robertoespinosa.es/2013/07/29/la-matriz-de-analisis-dafo-foda/>

Espinoza, G. (2006, 09 06). *gestiopolis*. Retrieved from gestiopolis.com:

<https://www.gestiopolis.com/la-cadena-productiva-y-los-sistemas-de-produccion/>

Evans, J. R., & M., W. (2015). *Administración y Control de la Calidad*. Mexico: Cengage Learning Editores.

Excelencia, E. E. (2015). *nueva-iso-9001-2015*. Retrieved from nueva-iso-9001-2015.com:

<http://www.nueva-iso-9001-2015.com/4-4-sistema-de-gestion-de-la-calidad/>

Flores, A. L., Barron, V. Y., Flores, A. J., & Flores, D. A. (2008, 01 30). *gestiopolis*. Retrieved from gestiopolis.com: <https://www.gestiopolis.com/sistema-kanban/>

Flores, M. V. (2010, 10 26). *eoi*. Retrieved from eoi.es:

<http://www.eoi.es/blogs/mariavictoriaflores/definicion-de-mejora-continua/>

- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna 3era. Edición*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Group, D. (2017, Junio). *dicodegroup*. Retrieved from dicodegroup.com:
<http://dicodegroup.com/cinco-herramientas-analisis-situacional/>
- Hernández, R. F., R, Fernández, & Baptist. (2010). *Metodología de la Investigación*. Chile: McGraw Hill.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. Mexico D.F.: McGraw Hill.
- Industries, A. C. (2017). *Acceptabilidad de ensamble electrónica*. USA: IPC.
- Intedya. (2016, Agosto). *INTEDYA Internation Dynamic Advisors*. Retrieved from Garantías de Calidad en la Industria Automotriz: <http://www.intedya.com/internacional/1133/noticia-garantias-de-calidad-en-la-industria-automotriz.html>
- Jacob, D., Bergland, S., & Cox, J. (2011). *Velocidad: Combinando el sistema Lean, el Seis Sigma y la teoría de las Limitaciones para alcanzar resultados excepcionales*. Barcelona: Centro Libros PAPP, S.L.U.
- Kiziryan, M. (2015). *Economías de Escala*. Retrieved from ECONOMIPEDIA:
<http://economipedia.com/definiciones/economias-de-escala.html>
- Lean-Solutions. (2017). *leansolutions*. Retrieved from [leansolutions.co](http://www.leansolutions.co):
<http://www.leansolutions.co/conceptos/lean-manufacturing/>
- López, B. S. (2016, Mar 16). *ingenieriaindustrialonline*. Retrieved from [ingenieriaindustrialonline.com](https://www.ingenieriaindustrialonline.com): <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gesti%C3%B3n-y-control-de-calidad/las-siete-herramientas-de-la-calidad/>
- López, B. S. (2016). *ingenieriaindustrialonline*. Retrieved from [ingenieriaindustrialonline.com](https://www.ingenieriaindustrialonline.com):
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gesti%C3%B3n-y-control-de-calidad/capacidad-de-proceso/>

- Manzaneque, J. (2016). *Tendencias & Innovación*. Retrieved from OBS Business School:
<https://www.obs-edu.com/int/blog-investigacion/direccion-general/economia-de-escala-definicion-y-tipos>
- Mejía, O. (2017, Mar 21). Produccion automotriz para autos inteligentes. *La Prensa*, pp.
<http://www.laprensa.hn/economia/1054820-410/producci%C3%B3n-automotriz-para-autos-inteligentes>.
- Metodoss. (2017). *metodoss*. Retrieved from metodoss.com: <https://metodoss.com/metodologia-pdca-ciclo-shewhart-deming/>
- Metodoss. (2017). *metodoss*. Retrieved from metodoss.com: <https://metodoss.com/kaizen-metodologia/>
- Metodoss. (2017). *metodoss*. Retrieved from metodoss.com: <https://metodoss.com/tecnologico/>
- México, U. A. (2016). *Sistemas Microelectromecánicos*. Retrieved from
www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/213/4/A4.pdf
- Navarro, K. (2012, Feb 19). *panamahitek*. Retrieved from panamahitek.com:
<http://panamahitek.com/componentes-de-un-smd/>
- Oñate, I. (2017, Marzo). *Diario Electrónico Hoy*. Retrieved from
<https://www.diarioelectronicohoy.com/miniaturizacion-los-componentes-electronicos-actuales/>
- PROMÉXICO. (2014). Diagnóstico Sectorial. *PROMÉXICO*, 6 to 10.
- Riquelme, M. (2015, Junio). *5fuerzasdeporter*. Retrieved from www.5fuerzasdeporter.com:
<http://www.5fuerzasdeporter.com/>
- Ruiz, A., & Rojas, F. (2006, mARZO). *web.cortland*. Retrieved from web.cortland.edu:
<http://web.cortland.edu/matresearch/ControlProcesos.pdf>
- Salazar, B. (2016). *ingenieriaindustrialonline*. Retrieved from ingenieriaindustrialonline.com:
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/kanban/>

Tomta, D., & Chiatchoua, C. (2009, Diciembre). *Cadenas Productivas y Productividad de las MIPYMES*. Retrieved from Revista Criterio Libre:
<http://www.unilibre.edu.co/CriterioLibre/images/revistas/11/CriterioLibre11art06.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO SOBRE PROCESOS SMT



Título: Procedimiento de Análisis Estadístico sobre procesos SMT

1.0 PROPÓSITO

Establecer un procedimiento para definir frecuencia y metodología a seguir para llevar a cabo los estudios estadísticos de la capacidad de proceso de aquellos que dan valor agregado al producto en PCBA. Asimismo, se definirán estudios de repetibilidad y reproducibilidad para las máquinas que realizan procesos de inspección ya sea por medios ópticos o eléctricos, al producto de PCBA, basado en un control estadístico realizado con la toma de muestras del proceso de colocación de componentes referenciado a la norma IPC-A-610 Clase 3.

2.0 UTILIZACIÓN

Este procedimiento es utilizado por el equipo de Calidad, con el apoyo implícito de los equipos de Laboratorio y de Mantenimiento.

3.0 RESPONSABILIDAD

3.1 Gerente de Calidad

3.1.1 Es responsabilidad del gerente de calidad velar por el cumplimiento de dicho procedimiento, otorgando los recursos necesarios para este fin.

3.2 Ingeniero de Calidad

3.2.1 Es responsabilidad del ingeniero de calidad desarrollar y mantener el sistema de estudios de capacidad anuales para las maquinas PCB, entregando, para tal fin, la información y muestras respectivas.

3.3 Ingeniero de Laboratorio

3.3.1 Es responsabilidad del ingeniero de Laboratorio, llevar a cabo los estudios de capacidad de las diferentes máquinas, según la información otorgada por el equipo de calidad.

3.4 Ingeniero de Mantenimiento

3.4.1 Es responsabilidad del ingeniero de mantenimiento, asegurar que todas las máquinas, tengan sus mantenimientos preventivos/correctivos al día, a modo de asegurar su correcto desempeño al momento de realizar el estudio de capacidad.

4.0 DEFINICIONES

4.1 Capacidad de Proceso: La Capacidad del proceso es una propiedad medible de un proceso que puede calcularse por medio del índice de capacidad del proceso (CpK, CmK). El resultado de esta medición suele representarse con un histograma que permite calcular

- cuántos componentes serán producidos fuera de los límites establecidos en la especificación.
- 4.2 Repetitividad: Es la variación en la medida cuando se utiliza un instrumento de medición por una misma persona al medir varias veces una misma característica de una misma pieza
 - 4.3 Reproducibilidad: Es la variación en el promedio de medidas hechas por diferentes individuos utilizando el mismo instrumento de medición al medir una misma característica de una misma pieza.
 - 4.4 Evento extraordinario: entiéndase por extraordinario, cualquier evento ajeno al ritmo de producción normal, como ser: un movimiento de máquina o la instalación/cambio de un repuesto propio de las funciones primarias de la máquina.
 - 4.5 Control estadístico: alude al uso de gráficos de control, basándose en técnicas estadísticas, lo que permite usar criterios objetivos para distinguir variaciones de fondo de eventos de importancia.

5.0 PROCEDIMIENTO

- 5.1 Los estudios de análisis estadístico se realizarán semanalmente por producto siguiendo los siguientes lineamientos:
- 5.2 Estudio de capacidad de *Pick & Place*:
 - 5.2.1 Se preparan 30 paneles del producto elegido para el estudio y se solda el componente más pequeño que lleve la tablilla PCB para ver el posicionamiento más crítico posible.
 - 5.2.2 Se obtienen las muestras ya procesadas por IFLEX y pasadas por horno para tomar medidas fijas con el componente soldado.
 - 5.2.3 Se obtiene el valor X, Y desde la coordenada 0,0 del panel (esquina inferior derecha) hasta el centro del componente.
 - 5.2.4 De este modo se obtiene la capacidad de posicionamiento de la Pick & Place para el componente más pequeño, teniendo como tolerancia, aquella descrita por el proveedor en la capacidad de máquina (0.04 mm) y/o configuración del proceso.
 - 5.2.5 El cálculo se basa en la relación de coordenadas descritas en el archivo de algoritmo de las recetas de la IFLEX.
 - 5.2.6 Con los datos recopilados se procede a realizar los gráficos de campana y realizar el análisis de la distribución de los datos.
 - 5.2.7 Se genera un plan de acción para corregir el proceso en caso de encontrar puntos fuera del límite de especificación.

6.0 ANEXOS

6.1 Pick and Place X,Y Validation

Elaborado por: Ing. Sergio Argüello Fecha de Revisión: 1-12-2017	Revisado por: Ing. Victor Acosta Fecha Aprobado: 3-12-2017 Página 3 de 3 <i>Cambios en Itálicos y Negrilla</i>	Aprobado por: Ing. José Pineda Rev. Procedimiento: 1.0
---	---	---

Rev. 2.0

ANEXO 2. FORMATO DE VALIDACIÓN X,Y DE MÁQUINA DE COLOCACIÓN COMPONENTES

Producto		Numero parte tarjeta		Numero de maquina	

Criterio de aceptacion		Resultados	
Referencia IPC-A610	Capitulo 8 -Criterios para Clase 3-DK	Referencia IPC-A610	

Metod Inspeccion Visual

#	Resultado		#	Resultado	
	OK	NO OK		OK	NO OK
1			16		
2			17		
3			18		
4			19		
5			20		
6			21		
7			22		
8			23		
9			24		
10			25		
11			26		
12			27		
13			28		
14			29		
15			30		

Inspected by: _____ Date: *Mes-Dia-Año* _____

ANEXO 3. HOJA DE TROUBLESHOOTING DE ENTRENAMIENTO IFLEX

Troubleshoot Guide – Iflex Pick and Place



GUIA BÁSICA

A continuación se presenta una tabla con los problemas más comunes de la Iflex (Pick and Place). Más adelante se tiene una guía paso a paso con las acciones que se deben de tomar con respecto a dichas alarmas.

Problema	Causa Probable	Acción Correctiva
Componente movido.	Toolbits dañados/sucios.	Se debe solicitar al técnico que revise los Toolbits . Se debe revisar que no estén dañados o sucios. Una manera de saber si este es el problema es cambiándolos de cabezal y viendo si el problema cambia de cabezal.
	Laser sucios.	Se revisan los Laser que no tengan picos sobre o debajo de la intensidad permitida, esto se soluciona limpiando los Laser (técnico de mantenimiento).
	Pick Incorrecto.	Se revisa que el Pick Point sea el correcto. El componente debe de estar centrado en la forma o shape asignada al mismo.
	Corrección de coordenada.	Si todo lo demás está correcto, es permitido realizar una Corrección de Coordenada del componente. Estos cambios se deben validar por el departamento de calidad. Para que los cambios entren en efecto, se deben Liberar Cambios (Release) .
Conveyor muy ancho/angosto.	Ancho de conveyor no es el adecuado.	Cuando la tarjeta está muy ajustada o el conveyor está muy ancho, se realiza un Cambio de Ancho de Conveyor .
Failed to pick component.	Pick Incorrecto.	Se revisa que el Pick Point sea el correcto. El componente debe de estar centrado en la forma o shape asignada al mismo.
Componente faltante.	Failed to pick component.	Se revisa que el Pick Point sea el correcto. El componente debe de estar centrado en la forma o shape asignada al mismo.
	Alarma de contaminación detectada.	Si el componente ya está colocado, saltarse el paso. Si el componente todavía no está colocado el componente, notificar a mantenimiento para que revisen la máquina.
No reconoce fiduciales.	Fiduciales dañados.	Si los fiduciales están dañados, se pueden modificar los parámetros de los Fiduciales , en especial el parámetro de Surface .
	Fiduciales fuera del área de búsqueda.	Si los fiduciales están dañados, se pueden modificar los parámetros de los Fiduciales , en especial el parámetro de Search Area .
Programa nuevo.	Cambiar el nombre del programa.	Cuando el programa es igual a otro (bins diferentes que colocan exactamente los mismos componentes en las mismas posiciones) se puede simplemente cambiar el nombre. Se debe Archivar Programa y en la dirección M:\Archive se renombra el archivo al programa nuevo. Una vez renombrado se debe Cargar Programa y se agrega el producto (Add Product) en el PLM.
	Programa nuevo.	Cuando se quiera crear un programa nuevo (bin con resistencias diferentes) se puede tomar un programa de otro bin (que coloque resistencias de manera que se pueda simplemente reemplazar una resistencia por otra sin alterar el producto final) y se debe Archivar Programa . Se procede a realizar el Cambio de Número de Parte en el archivo de notepad en la dirección M:\Archive (también aplica para cambio de número de parte del LED). Se debe Cargar Programa y se agrega el producto (Add Product) en el PLM.
Thombstone.	Pick Incorrecto.	Se revisa que el Pick Point sea el correcto. El componente debe de estar centrado en la forma o shape asignada al mismo.
	Corrección de coordenada.	El componente quedo más cerca de un pad que del otro y al momento de hacer reflujó en el horno, el flux movió el componente de manera que quedo levantado. Realizar una Corrección de Coordenada .
Componente invertido (Polaridad).	Pick Incorrecto.	Se revisa que el Pick Point sea el correcto. El componente debe de estar centrado en la forma o shape asignada al mismo.
	Necesita corrección de coordenada.	En ocasiones es necesario hacer una rotación del componente. Esto se hace de la misma manera que se hace la Corrección de Coordenada .
	Movieron el shape.	Nunca se debe de mover Shape del Componente . En caso de que alguien haya realizado esto, corregirlo solamente en el programa como una Corrección de Coordenada .
Componente intercambiado.	Componente mal cargado.	Revisar con Ingeniero de Materiales si el material cargado al feeder es el que fue solicitado por la operadora.

ANEXO 4. FORMATO DE CARTA COMPROMISO PARA ASESORÍA TEMÁTICA

Señores Facultad de Postgrado UNITEC.

Por este medio yo: _____

Identidad No. _____ Pregrado: _____

Postgrado: _____

Doctorado en: _____

Hago constar que asumo la responsabilidad de asesorar técnicamente el trabajo de Tesis de Maestría denominado:

A ser desarrollado por el (los) estudiante(s):

Para lo cual me comprometo a realizar de manera oportuna las revisiones y facilitar las observaciones que considere pertinentes a fin de que se logre finalizar el trabajo de tesis en el plazo establecido por la Facultad de Postgrado.

Dado en la ciudad de San Pedro Sula el ___ de _____ del 201_

FIRMA

CARTA DE COMPROMISO PARA ASESORIA TEMATICA

Srs. Facultad de Postgrado UNITEC

Por este medio Yo Juan Carlos Muñoz Maye
Identidad No. 0501-1966-07607 Pregrado: Lic. Ing. Industrial
Postgrado: MAESTRÍA EN DIRECCIÓN EMPRESARIAL
Doctorado en: - - -

Hago constar que asumo la responsabilidad de asesorar técnicamente el trabajo de tesis de maestría denominado.

Control Estadístico En el proceso de Colocación de
Componentes SMD Según la norma Ipc-A-610 en Emplaca
Electronics.

A ser desarrollado por el (los) estudiante (s)

Victor René Acosta Pineda
Sergio Leonel Arquello Villatoro.

Por lo cual me comprometo a realizar de manera oportuna a revisiones y Facilitar las observaciones que considere pertinentes a fin que se logre realizar el Trabajo de tesis en el plazo establecido por la facultad de postgrado.

Dado en la Ciudad de San Pedro Sula el 23 de Nov. del 2017



Firma

ANEXO 5. FORMATO DE CARTAS DE AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA

_____, _____, ____/____/____
(Ciudad), (Departamento) (Día, mes y año)

(Nombre y apellidos del Director o Gerente)

(Puesto Laboral)

(Empresa o Institución)

(Dirección principal de la empresa o institución)

Estimado Señor(a): _____ Reciba un cordial y atento saludo. Por medio de la presente deseamos solicitar su apoyo, dado que somos alumnos de UNITEC y nos encontramos desarrollando el Trabajo de Tesis previo a obtener nuestro título de maestría en _____

Hemos seleccionado como tema _____, por lo que estaríamos muy agradecidos de contar con el apoyo de la empresa que usted representa para poder desarrollar nuestra investigación. En particular, dicha solicitud se circunscribe a peticionar que se nos autorice a realizar: _____

_____,
_____, (encuestas, sondeos, etc). A la espera de su aprobación, me suscribo de Usted.

Atentamente,

Firma, nombre y apellidos

Firma, nombre y apellidos

No. de cuenta: _____

No. de cuenta: _____

Por este medio, _____
(empresa / institución), Autoriza la realización dentro de sus instalaciones el proyecto de investigación de Tesis de Postgrado antes mencionado.

(Nombre y sello del Director / Gerente)

Vo.Bo.

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA O INSTITUCIÓN

San Pedro Sula, Cortés, 02 de Octubre de 2017

Christian Alvarado
Gerente de Planta PCB

Empire Electronics Honduras
Km 6 Salida a La Lima, ZIP Calpules

Estimado Señor(a): Christian Alvarado

Reciba un cordial y atento saludo. Por medio de la presente deseamos solicitar su apoyo, dado que somos alumnos de UNITEC y nos encontramos desarrollando el Trabajo Final de Investigación previo a obtener nuestro título de maestría en *Dirección Empresarial con Orientación a Gestión Logística*.

Hemos seleccionado como tema para el desarrollo de la investigación el *Control Estadístico en Proceso de Colocación de componentes SMD según norma IPC-A-610 en Empire Electronics*, por lo que estaríamos muy agradecidos de contar con el apoyo de la empresa que usted representa para poder desarrollar nuestra investigación. En particular, dicha solicitud se circunscribe a petitionar que se nos autorice a realizar: *muestro de piezas vírgenes y procesadas en sus características dimensionales para luego graficar y publicar los resultados en nuestra investigación, así como establecer un modelo para la realización del proceso de control como parte de sus procedimientos*.

A la espera de su tan apreciada aprobación, me suscribo de Usted.

Atentamente,



Sergio Leonel Argüello Villatoro

21443114



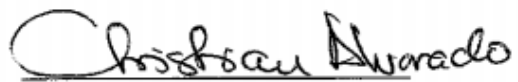
Víctor René Acosta Pineda

21443080

Por este medio, Empire Electronics Honduras

Autoriza la realización dentro de sus instalaciones el proyecto de investigación de Postgrado antes mencionado.

Christian Alvarado
Gerente de Planta PCB


Vo.Bo.