

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería  
Dirección de Posgrado  
Campus Mexicali

Proyecto de Ingeniería e Innovación

**Acciones para reducir las asistencias en setups de materiales BGA.**

para obtener el grado de

**Maestro en Ingeniería e Innovación**

Presenta

**Pablo Rodríguez Santoscoy**

Director de proyecto: Dra. Dania Licea Verduzco

Co-director de proyecto: MC. Cristóbal Capiz Gómez

Asesor Industria: MBA. Zelman Hernandez

Mexicali, Baja California. Junio de 2018

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería  
Dirección de Posgrado  
Campus Mexicali

Proyecto de Ingeniería e Innovación

**Acciones para reducir las asistencias en setups de materiales BGA.**

para obtener el grado de

**Maestro en Ingeniería e Innovación**

Presenta

**Pablo Rodríguez Santoscoy**

Director de proyecto: Dra. Dania Licea Verduzco

Co-director de proyecto: MC. Cristóbal Capiz Gómez

Asesor Industria: MBA. Zelman Hernandez

Mexicali, Baja California. Junio de 2018

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería  
Dirección de Posgrado  
Campus Mexicali

Proyecto de Ingeniería e Innovación

**Nombre del proyecto**

para obtener el grado de

**Maestro en Ingeniería e Innovación**

Presenta

**Nombre del alumno**

Director de proyecto: Dra. Dania Licea Verduzco

Co-director de proyecto: MC. Cristóbal Capiz Gómez

Asesor Industria: MBA. Zelman Hernandez

Comité evaluador:

---

MC. Cristóbal Capiz Gómez

---

Dr. Miguel A. Salinas Yáñez

---

Dr. Miguel A. Ponce Camacho

Mexicali, Baja California. Junio 2018

## Agradecimientos

Quisiera agradecer a mi familia que siempre me apoyo sobre todo en los momentos más difíciles de esta etapa, dándome su confianza y respaldo, así como consejos que me ayudaron a cumplir este objetivo, además de alentarme a continuar con esta maestría.

A mis compañeros de trabajo con los que convivo todos los días y que hacen más ameno los proyectos en los que estamos trabajando, además un especial agradecimiento a la compañía donde trabajo, Skyworks Solutions de México, ya que sin su apoyo económico y profesional no hubiera sido posible cumplir con este objetivo.

También quisiera agradecer a la Dr. Dania Licea por su ayuda en la elaboración de este documento, dándome sus puntos de vista basados en su amplia experiencia. Por último, al MBA. Zelman Hernandez por apoyarme en el proyecto proporcionando todos los recursos requeridos y por sus comentarios y sugerencias.



SKYWORKS SOLUTIONS DE MEXICO S. DE R.L. DE C.V.  
CALZADA GOMEZ MORIN 1690 COL. RIVERA  
MEXICALI B.C  
TEL. (686)564-2100

Mexicali B.C. Junio del 2018

Estimados miembros del Colegio de ingeniería, Dirección de Posgrado y Campus  
Mexicali:

Por medio del presente hago constatar que el proyecto:

**“Acciones para reducir las asistencias en setups de materiales BGA”**

El cual fue desarrollado por el empleado:

**Pablo Rodriguez Santoscoy**

Matricula: **M033023**

Que cursa la maestría de **Ingeniería e Innovación**, fue implementado de manera satisfactoria en Skyworks Solutions de México dentro del departamento de pruebas, logrando resultados relevantes para la empresa.

ATENTAMENTE

---

**MBA. Zelman Hernandez Castro**

DIRECTOR DE INGENIERIA DE PRUEBAS

## Tabla de contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes	4
1.2. Planteamiento del problema	6
1.3. Justificación	7
1.4. Preguntas de investigación	7
1.5. Objetivos	7
1.6. Planteamiento de Hipótesis	8
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>9</b>
2.1. Definición de OEE	9
2.2. Fundamentos de radiofrecuencia	11
2.3. Fixture	13
2.3.1. Conexiones de DC	13
2.3.2. Cables de RF	14
2.3.3. Tablero de circuito impreso	14
2.4. Sockets	16
2.5. Bin1	17
2.6. BGA (Ball Grid Array)	17
2.7. Ruido Electromagnético	17
<b>3. Metodología</b>	<b>18</b>
3.1. Analizar	18
3.2. Mejorar	18
3.3. Controlar	18
3.4. Plan de Trabajo	19
3.5. Recursos Requeridos	19
<b>4. Resultados</b>	<b>20</b>
4.1. Analizar	20
4.2. Mejorar	21
4.3. Controlar	28
<b>5. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>29</b>
<b>6. Referencias</b>	<b>31</b>

## Tabla de figuras

<b>Figura 1:</b> Planta Skyworks Solution de Mexico	1
<b>Figura 2:</b> Proceso de fabricación	2
<b>Figura 3:</b> Causas de bajo OEE	4
<b>Figura 4:</b> Forma física de piezas ensambladas	5
<b>Figura 5:</b> Ejemplo de un material BGA	6
<b>Figura 6:</b> Componentes del OEE	9
<b>Figura 7:</b> Ejemplo de señal oscilante vs señal continua	11
<b>Figura 8:</b> Espectro de radio frecuencias	12
<b>Figura 9:</b> Conexiones de DC	13
<b>Figura 10:</b> Cables de RF	14
<b>Figura 11:</b> Ejemplo de una sección de PCB	15
<b>Figura 12:</b> PCB ensamblado	15
<b>Figura 13:</b> Contactador	16
<b>Figura 14:</b> Promedio de asistencias por mes	20
<b>Figura 15:</b> Pareto de problemas encontrados	22
<b>Figura 16:</b> Modificación de socket	23
<b>Figura 17:</b> Cable de DC blindado	24
<b>Figura 18:</b> Placa para conector de DC	24
<b>Figura 20:</b> Blindaje para conector de RF	25
<b>Figura 21:</b> Empaque para conector de RF	26
<b>Figura 22:</b> Promedio de asistencias al mes	26
<b>Figura 23:</b> Grafica de pérdidas y ganancias	28

## Tabla de tablas

<b>Tabla 1:</b> Cantidad de asistencias por máquina y tiempo muerto al mes	6
<b>Tabla 2:</b> Plan de trabajo	19
<b>Tabla 3:</b> Promedio de duración y asistencias	21
<b>Tabla 4:</b> Actividades para realizar	23
<b>Tabla 5:</b> Tabla descriptiva de eventos	27

## Abreviaturas.

- OEE Overall Effectiveness Equipment.
  - RF Radio Frequency.
  - BGA Ball Grid Array.
  - DC Direct Current
  - DUT Device Under Test
  - DMAIC Define, Measure, Analyze, Improve, Control
- 5G Quinta generación en radiocomunicaciones
- .



## Resumen

El proyecto que aquí se presenta fue realizado para obtener el título de Maestro en Ingeniería e Innovación. El problema que aquí se planteo fue que se había mucho tiempo muerto cuando se probaban materiales BGA. De esta manera el proyecto tuvo como objetivo general disminuir el tiempo muerto en los **setups** de materiales BGA en la plataforma de *dragon* en la empresa Skyworks Solutions de México. Actualmente existen muchos desperdicios o procesos no controlados que hacen que este producto no tenga el rendimiento esperado. En particular el proyecto se enfocó en 2 factores, *fixture* y *socket*.

Se plantearon 3 objetivos específicos que ayudaron a lograr el objetivo general. Para alcanzar esto se utilizó la metodología DMAIC, primero se definió la problemática y se midió para conocer que tanto estaba perjudicando. Una vez que se obtuvo esto se tomó una muestra de eventos de asistencias para cuantificar y clasificar todos los factores que hacen que el *fixture* y *socket* no tengan el rendimiento que se espera.

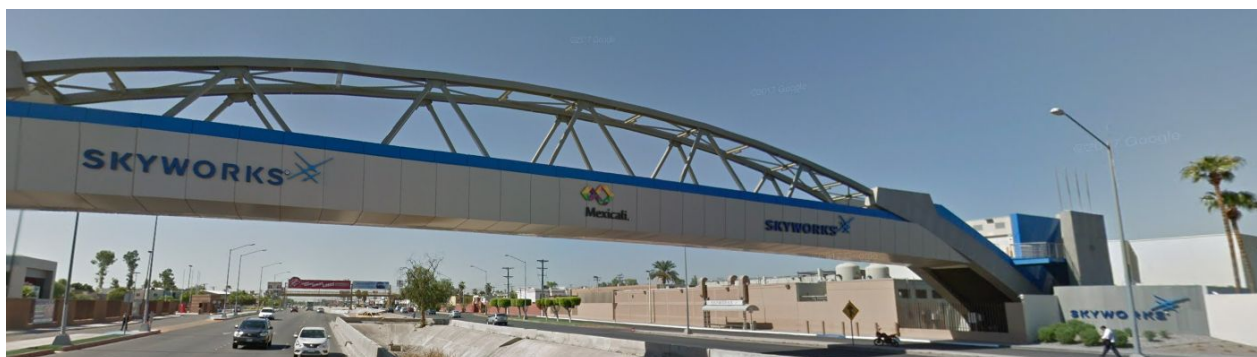
Una vez realizado esto se pudo diseñar una lista de modificaciones que lograron subir el rendimiento del *fixture* y *socket*, estos resultados quedaron plasmados en imágenes, en tablas comparativas y gráficos. Para estos últimos se utilizó un gráfico de Pareto y un gráfico de pérdidas y ganancias, con el que se determinó si la hipótesis planteada se cumplió. Estos datos se extrajeron de la página local de la empresa, y se puede consultar desde cualquier computadora de la empresa.

Se requirió del personal del laboratorio de pruebas y del personal técnico de mantenimiento de la plataforma de *dragon*. Los primeros para tomar la muestra de las asistencias y es estas fueran descritas, y del personal de mantenimiento para registrar en la base de datos la cantidad de eventos que atienden, así como la duración en cada uno de ellos.

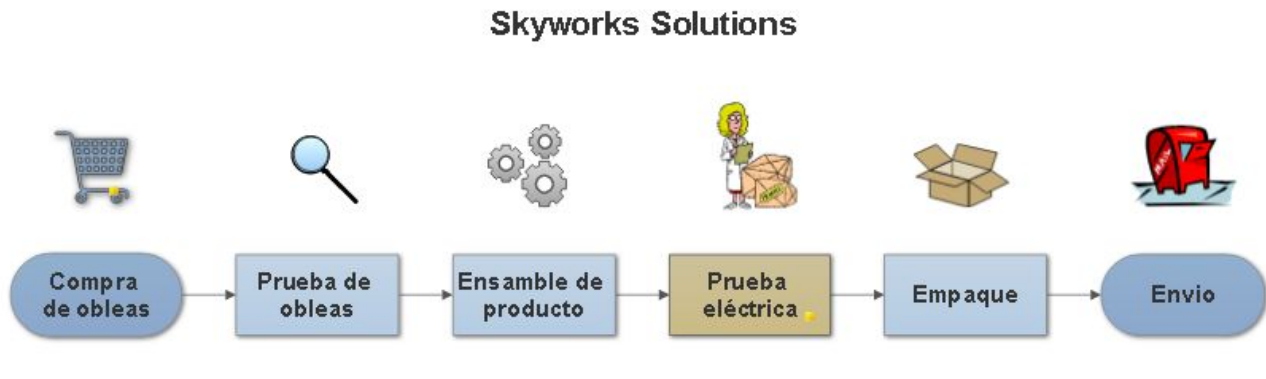
## 1. Introducción

Skyworks Solutions es una empresa estadounidense que tiene plantas en América y Asia. Actualmente la planta que se encuentra en México es la que más produce a nivel mundial teniendo más de 5 mil empleados en su nómina. Esta compañía está haciendo posible la revolución de las redes inalámbricas y ahora con la introducción de las redes celulares 5G se enfrenta a grandes retos para mantener la estabilidad que ha tenido hasta el momento. Para lograr esto se tiene que realizar una gran inversión en nueva maquinaria que cumpla con las características de este mercado emergente.

Los semiconductores análogos que fabrica altamente innovadores están conectando a personas, lugares y cosas que abarcan una serie de aplicaciones nuevas e inimaginables dentro de la industria automotriz, banda ancha, infraestructura celular, hogar conectado, industrial, médico, militar, teléfonos inteligentes, tabletas y mercados portátiles. Skyworks Mexicali debido a la alta demanda de producción desde finales del 2015 tuvo que abrir otra planta, una frente a otra, ensamble y pruebas (Figura 1), las cuales están unidas por un puente donde se transportan personas y material. Al producto terminado se le realizan 2 tipos de inspecciones, una es visual y la otra es eléctrica, para después enviársela al cliente.



A continuación, se muestra un diagrama (Figura 2) que presenta la manera en que se realiza el flujo del material y los distintos departamentos que conforman los procesos en Skyworks Solutions en Mexicali:



La materia prima se conoce como obleas y se adquiere de distintos proveedores, la cual antes de ser utilizada se le realiza una prueba eléctrica para garantizar su desempeño. Una vez realizado esto comienza el proceso de ensamble, que se realiza dentro de un cuarto limpio para evitar que partículas ajenas al proceso perjudiquen el ensamble del producto y por lo tanto a la calidad de este. En la siguiente etapa, que es la prueba eléctrica es en la que se enfoca el proyecto, por lo que se dará una mayor explicación de su funcionamiento.

El área de pruebas se enfoca en evaluar 2 características del producto terminado, uno es el **aspecto visual**, donde se revisan que las condiciones físicas y el grabado de las piezas, y el otro es la **prueba eléctrica**, en el cual se necesitan una serie de instrumentos eléctricos para poder realizarla.

Dentro del área de pruebas, la prueba eléctrica es la actividad más crítica por lo que se tiene que realizar con extremo cuidado para garantizar la conformidad del producto y que el cliente no reciba piezas en mal estado.

La prueba eléctrica consiste en verificar que todas las especificaciones que requiere el cliente en cuanto a desempeño del producto se cumplan. Existen una gran variedad de parámetros de corriente directa y de radiofrecuencia que deben evaluarse en cada producto. En estas condiciones el más ligero cambio provoca grandes variaciones en las lecturas, por lo que se deben de extremar los cuidados en este tipo de pruebas.

Para realizar esto se tienen una serie de instrumentos que son analizadores de redes, osciloscopios, multímetros, fuentes de energía, interruptores, analizadores de espectros, etcétera, que en conjunto y con la ayuda de un programa de prueba envían y reciben las señales eléctricas para excitar al producto, a todo este sistema se le llama probadora o *tester*.

Todas estas señales mencionadas se dirigen hacia una interface llamada *fixture*, la cual contiene tableros electrónicos, cables de RF, cables de DC y un elemento muy importante llamado *socket* o contactor. Este se instala dentro del *fixture* y es el que interactúa directamente con el dispositivo bajo prueba (DUT).

El manejo del producto se lleva a cabo por un equipo llamado manejadora, encargada de llevar el material sin probar hasta la estación donde se probará dentro del *fixture* donde después segrega el material probado bueno del malo. Al material que obtuvo buen desempeño se le llama Bin1 y se encuentra listo para pasar a la siguiente operación que es la de empaque.

Al área de empaque se le llama *tape and reel*, ahí el material se coloca en rollos y se etiqueta para después ser enviado al cliente correspondiente por el departamento de embarques.

### 1.1. Antecedentes

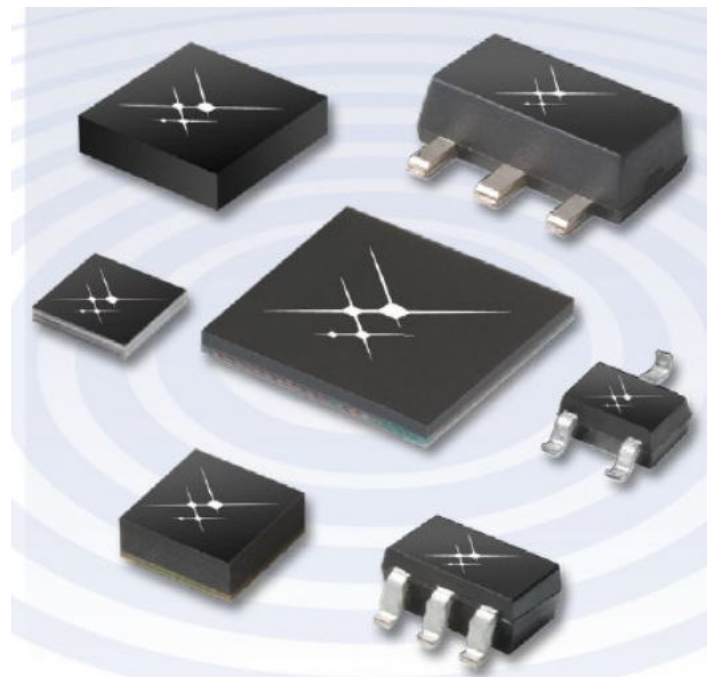
Skyworks Solutions Mexicali cuenta con varias métricas que miden su productividad para así saber cómo se encuentran posicionados en el mercado de semiconductores, además de conocer el estado en general de la empresa.

Todo proyecto dentro de la empresa debe alinearse a la misión, visión y proyectos de la compañía, esto sería que las actividades a realizar beneficien a alguna métrica para así hacer tangible el beneficio que se obtendrá. Este proyecto en particular es parte de uno de nivel corporativo que tiene como finalidad subir la eficiencia global del equipo (OEE por sus siglas en inglés *Overall Effectiveness Equipment*) hasta un 10% lo que les ahorraría dinero y recursos. Existen muchas fugas en el proceso que contribuyen a que el OEE no sea el deseado, estas fugas son repartidas entre varios departamentos responsables, como producción, mantenimiento e ingeniería. La Figura 3 muestra los diferentes factores que se encuentran involucrados.



En lo que se refiere a la configuración o *setup* hay 6 elementos, de los cuales este proyecto se enfoca en *fixture* y contactor o *socket*. En el área de pruebas existen 2 plataformas que representan el 80% de la producción total, estas se conocen como la plataforma de Dragon y de FAST. Este proyecto se enfocó a la plataforma *dragon* ya que es la más utilizada por los productos nuevos.

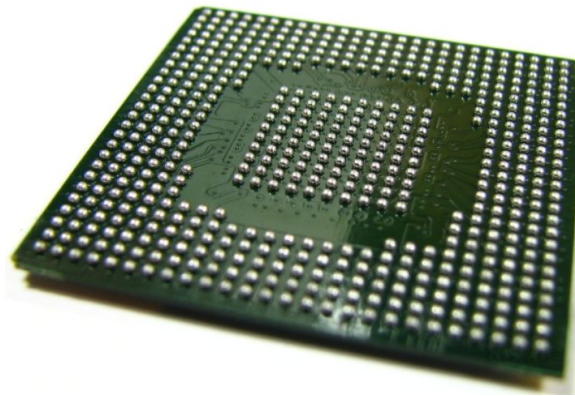
Hoy en día se ensamblan más 100 productos distintos, algunos ejemplos pueden verse en la Figura 4, los cuales requieren características especiales de todo el sistema para que puedan ser probados, como se comentó en un principio la introducción de la tecnología 5G en las comunicaciones inalámbricas conlleva nuevos procesos y métodos tanto de ensamble como de prueba.



Por su complejidad en el diseño y en la sensibilidad en su ensamble existe un producto en especial llamado BGA, a dicho producto se le debe de realizar la prueba eléctrica de manera distinta a lo normal para no llegar al dañarlo tanto física como eléctricamente.

## 1.2. Planteamiento del problema

En la Figura 5 se muestra como es a grandes rasgos un producto BGA, y se puede observar como sus *leads* (puntos de señales) no son planos, sino que son bolas que dificultan el proceso de prueba cuando la manejadora debe colocarla en el *socket*.



Cuando el requerimiento del cliente dice que se necesita probar estos *BGA* el solo hecho de cambiar el *setup* o configuración de sistema a *BGA* requiere de más cuidado. Eso hace que para mantener el buen rendimiento de la máquina se requiera de las asistencias de mantenimiento para reparar tanto *fixture* como *socket*. El promedio de asistencias por máquina al mes fue de **92**, que representa **730 hrs** en los meses de octubre a diciembre de 2017. La Tabla 1 muestra cuantas asistencias de mantenimiento hubo en cada máquina y el total de tiempo muerto que esto género en el rango de esos 3 meses.

Mes	Asistencias	Maquinas	Tiempo muerto
Octubre	91	71	858 hrs
Noviembre	81	60	658 hrs
Diciembre	103	49	680 hrs

### 1.3. Justificación

El implementar acciones de mejora en *fixture* y *socket* para bajar el número de asistencias, logrará disminuir el tiempo muerto en los *setups BGA*.

Una vez bajando este periodo de tiempo, no habrá la necesidad de comprar más máquinas para compensar ese tiempo perdido.

### 1.4. Preguntas de investigación

De acuerdo a la problemática presentada, se dio origen al planteamiento de la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo mejorar el rendimiento del *fixture* y el *socket* para disminuir el tiempo muerto en los *setups BGA*?

Esto lleva a realizar los siguientes cuestionamientos:

- ¿Cuáles son los principales componentes del *fixture* y *socket* que afectan su rendimiento?
- ¿Qué modificaciones deben realizarse en *fixture* y *socket*?
- ¿Cómo garantizar la implantación de las acciones en todos los *fixtures* y *sockets*?

### 1.5. Objetivos

Para poder responder la pregunta general y darle viabilidad se estableció el siguiente objetivo:

- Implementar acciones en *fixture* y *socket* que ayuden a su rendimiento y que disminuyan el tiempo muerto.



Este objetivo se descompuso en **objetivos específicos** que se presentan a continuación:

- Identificar cuáles son los principales componentes del *fixture* y *socket* que afecten el rendimiento en los *setups* BGA.
- Enlistar la serie de modificación para realizar en *fixture* y *socket*.
- Establecer la manera en que se garantizaran que todas las acciones se realizaran todos los *fixtures* y *sockets*.

### 1.6. Planteamiento de Hipótesis

Con los hallazgos que causan las deficiencias en el *fixture* y *socket* se diseñaran acciones de mejora.

Estas acciones de mejora llevándolas a cabo contribuirán a bajar las asistencias por máquina y por lo tanto el tiempo muerto un 30%.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Definición de OEE

En las empresas internacionales se van adoptando formas o estrategias que las hagan cada vez más competitivas con respecto a sus competidores, lo cual hace que estas estrategias que vayan globalizando hasta hacerlas un estándar y metodología, esto mismo paso con el llamado OEE (*Overall Effectiveness Equipment*) o Efectividad Global del Equipo que es un método para medir el rendimiento productivo que se enfoca en la disponibilidad del equipo, la eficiencia y la calidad mediante la integración de datos, (Belohlavek, 2006), tal como se muestra en la Figura 6.



El OEE mide el rendimiento total al relacionar la disponibilidad de un proceso respecto a su productividad y calidad de lo que se realiza, atiende todas las pérdidas provocadas por el equipo incluyendo, que no se encuentre disponible cuando se necesita debido a paros o perdidas de configuración y/o ajuste, que no se utilice de la manera más óptima debido a una velocidad reducida, o que el trabajo que realice sea de primera calidad por motivo de defectos o re-trabajos (Peterka, 2018).

Como se comentó, el OEE se calcula del producto de tres factores, la disponibilidad, la productividad y la calidad:

$$OEE = \%Disponibilidad * \%Productividad * \%Calidad$$

Los resultados que arroja esta formulas pueden ser de una maquina en específico, un área en particular o toda una empresa completa, cuando sea cualquiera de los últimos 2 casos se toma como si el comportamiento fuera como un todo, es decir, aunque sean muchos equipos los que se están midiendo en el momento de realizar el cálculo el resultado de este es como si fuera uno solo, y se compara con respecto al tiempo para ver si hay tendencia negativa o positiva.

Esta herramienta ayuda a tomar decisiones que vayan en mejora de algún proceso, evalúa nuevas oportunidades y puede comparar operaciones contras otras similares o de la competencia para conocer donde se encuentra situado. Ayuda a analizar causas raíces donde en su mayoría o todos los departamentos deben estar involucrados para que las acciones de mejora se hagan de manera sistemática.

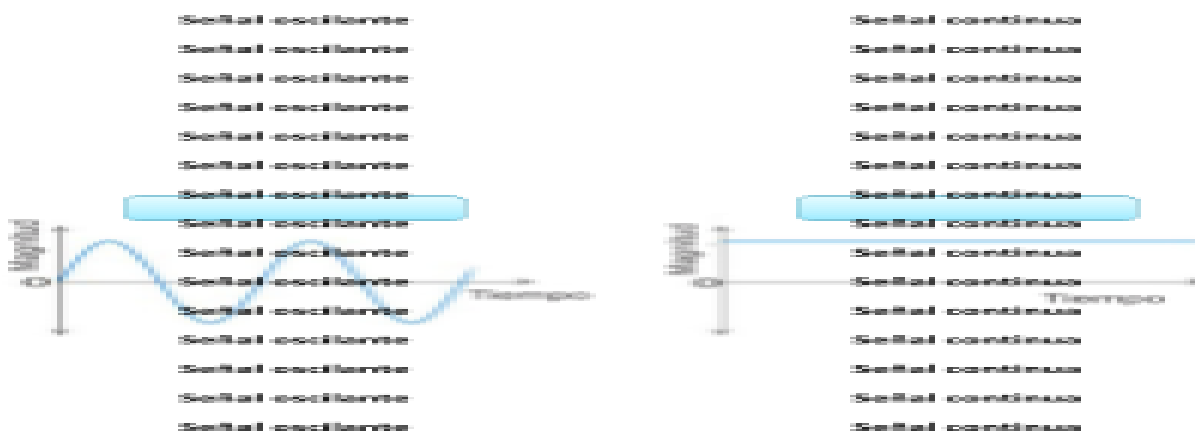
Es importante mencionar que el OEE es forzosamente la combinación de los 3 factores mencionados anteriormente, normalmente se piensa que la efectividad es lo mismo que la productividad, pero no es así, se puede tener una productividad muy alta teniendo un OEE bajo, como puede ser disminuyendo el personal, estoy haría que la mano de obra fuera alta pero que hubiera muchos paros en los equipos por la falta de atención a estos, por el contrario, subiendo la mano de obra los equipos estaría trabajando constantemente pero la productividad del personal no sería tan buena.

Es importante encontrar un buen balance en todos los estos aspectos, a fin de cuentas, una empresa debe ser redituable y midiendo el OEE es la mejor manera de saber si lo está siendo (Peterka, 2018).

## 2.2. Fundamentos de radiofrecuencia

En los tiempos en los que vivimos debemos estar acostumbrados a escuchar el término radiofrecuencia ya que sin esto todas las comunicaciones inalámbricas simplemente no funcionarían, y conforme va pasando el tiempo cada vez se hacen más indispensables, cuando inicialmente en los años 70's empezó la era de la comunicación inalámbrica, los dispositivos que se utilizaban eran muy robustos y la comunicación se hacía a corta distancia, pero hoy en día las señales de comunicación salen del planeta para llegar hacia otros destinos de manera prácticamente instantánea (Pozar, 2012).

En electrónica existe lo que es una señal continua donde su magnitud se mantiene constante en el tiempo y una señal que oscila, que significa que su magnitud varía en el tiempo (Figura 7), una de las principales diferencias entre ambas es que una señal continua no es capaz de viajar a través del aire, forzosamente requiere un medio conductor por el cual trasladarse, en cambio, si una señal oscila lo suficiente con un nivel de potencia determinado se puede hacer que esta viaje a través del aire.



Entre mayor frecuencia oscilen las ondas magnéticas mayor será la distancia que viajen y menor nivel de potencia se necesitara, en la figura 8 se puede observar cual es el espectro de las ondas magnéticas y a cuáles les llamamos radiofrecuencia, a pesar de que este espectro es muy amplio, solo se le dará un enfoque a las que son utilizadas en las comunicaciones inalámbricas:



En un sistema de comunicaciones se puede transmitir información en forma de señales que ocupan un ancho limitado del espectro, ya sea por naturaleza de la señal o por un filtrado previo a la transmisión, (Perez, De La Calle Garcia, Riera Salis, & Garcia Munis, 2003), el objetivo primordial de un sistema de comunicaciones es el de reproducir en el punto de recepción, la señal original lo más fielmente posible, como también es importante minimizar la banda ocupada, esto que más usuarios puedan comunicarse en el mismo rango de frecuencia.

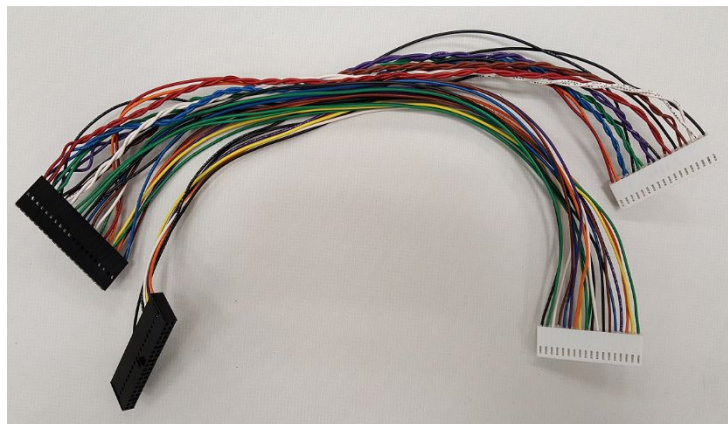
## 2.3. Fixture

Un *fixture* se compone en general de 3 elementos primordiales, las conexiones de DC, las conexiones de RF y los tableros de circuito impreso, a continuación, se detallarán como y cuál es la función de estos recursos.

### 2.3.1. Conexiones de DC

Estos tienen como labor las de comunicar las señales de corriente continua que envía probadora hacia el DUT, estas señales son básicamente de polarización y se realiza por medio de cables conectados de un punto de la probadora hacia los tableros de circuito impreso (PCB). A pesar de ser la conexión más sencilla es importante realizarla de manera correcta ya que el no hacerlo podría dañar las piezas que se están probando, o peor aún dañar la probadora.

La Figura 9 muestra un ejemplo de estas conexiones, cada número de parte a probar lleva un ensamble diferente debido a que no todas las piezas cuentan con las mismas especificaciones solicitadas por el cliente.



### 2.3.2. Cables de RF

Similar a las conexiones de DC, los cables de RF son los encargados de transportar los impulsos eléctricos en términos de radiofrecuencia hacia el dispositivo bajo prueba, su fabricación se realiza de manera especial por lo comentado anteriormente que es muy difícil trabajar con radiofrecuencia.

Son de alta durabilidad, excepcional, además de que la aislación del ruido de microondas cable se puede observar en la Fig

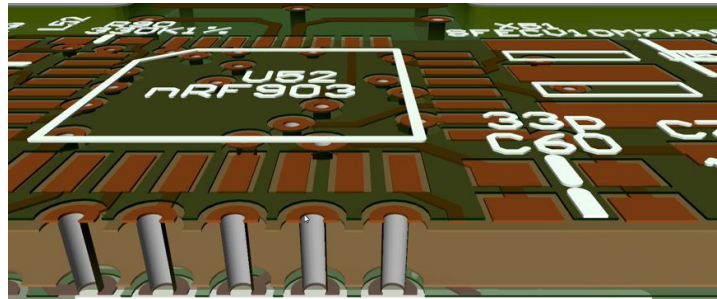


### 2.3.3. Tablero de circuito impreso

Son placas denominadas PCB por su término en inglés *printed circuit board*, el cual cuenta con pistas conductoras diseñadas para realizar conexiones específicas, y con componentes como resistencias, capacitores, inductores, entre otros, estas pistas llamadas líneas de transmisión están caracterizadas para transmitir la mayor potencia, existen varios tipos de tableros que se pueden utilizar dependiendo de las necesidades que se tengan.

Cuando la señal de radio frecuencia viaja por las líneas de transmisión del PCB se tienen que considerar varios aspectos para que la señal no se atenué, para lograr esto se utiliza una herramienta llamada carta de Smith, es muy utilizada para resolver problemas en la línea de transmisión, su función es desarrollar una buena intuición acerca de la impedancia-acoplamiento que existe entre 2 o más componentes los cuales son excitados por señales de RF (Pozar, 2012).

Cuando se establecen que componentes se deberán instalar en el PCB, se tienen que considerar el comportamiento a altas frecuencias de las pistas, por debajo del PCB se traza un plano de tierra que ayuda a prevenir excesos campos parásitos y reduce las pérdidas por radiación (Ludwig & Bretchko, 2000), la figura 11 es un ejemplo de una sección de un PCB.



Un buen diseñador de tableros puede ahorrarse muchos costos simplificando el uso de componentes activos para transmitir la máxima potencia, esto es utilizando componentes pasivos como son resistencias, capacitores e inductores cambiando su posición y valor (Ludwig & Bretchko, 2000), como se ve en la figura 12.

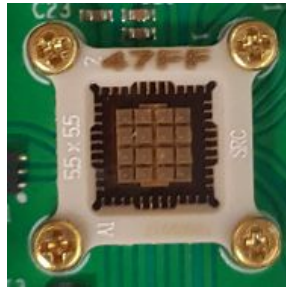


## 2.4. Sockets

También llamado contactor, es un dispositivo que se utiliza como interface entre el PCB del *fixture* y la pieza a probar, con esto no se tiene la necesidad de soldar la pieza al *fixture*, existen de diferentes tamaños y formas dependiendo totalmente de las características físicas del dispositivo bajo prueba. El contacto eléctrico del DUT con el socket se realiza ejerciendo una fuerza controlada lo que hace que unos pins



conductores sean el enlace entre socket y la pieza (Mansfield Patent No. 4508405, 1982), en la figura 13 se observa un tipo de socket.



El hecho de que la tecnología va avanzando, los sockets cada vez se vuelven más difíciles de fabricar por lo que los hace más costosos, deben de poder soportar mayores frecuencias, temperaturas más altas, mayores potencias, con pins cada vez más reducidos (Tokio Patent No. 9083120, 2012).

Al mismo tiempo, los contactores para los materiales BGA son especiales debido a la forma de la pieza a probar, al ser todavía una tecnología no dominada presentan muchas variaciones y aun no se encuentran estandarizados.

## 2.5. Bin1

Una vez que la probadora verifica las mediciones que arroja una pieza probada la categoriza asignándole un **bin**. La cantidad de bins que hay es dependiendo de cada material, pero el llamado **Bin1** es exclusivamente para las piezas que están dentro de especificaciones, todos los demás bin son asignados dependiendo del modo de falla que tengan.

## 2.6. BGA (Ball Grid Array)

Es una manera de ensamblar las piezas, en donde en lugar de que las zonas de contacto eléctrico sean totalmente planas se le colocan “bolas” de soldadura. Estas bolas permiten colocar puntos de señales en el centro de la pieza sin que haya cortos circuitos entre ellas.

Este desarrollo es uno de los más avanzados en el montaje de dispositivos, las bolas son de nickel y oro (Badri, Aziz, Ong, Alcain, & Retnasamy, 2017), para mayor referencia ver Figura 5.

## 2.7. Ruido Electromagnético

En todo sistema de radiofrecuencia se tiene algo denominado Ruido, el cual es toda señal no deseada que se encuentra que se encuentra por encima de la que estamos utilizando. Por lo que es importante distinguir que parte de la señal que estamos utilizando en algún sistemas se compone de ruido y cuál es la útil (Miyara & Lahoz, 2003).

## 3. Metodología

Se utiliza la metodología DMAIC en este proyecto. En el planteamiento del problema se definió y se midió la problemática, por lo que se continua con **Analizar, Mejorar y Controlar**. El propósito de esta metodología es tener un proceso controlado

y estable, todo parte desde el planteamiento de una hipótesis, la realización de experimentos y su evaluación (Ocampo & Pavon, 2012).

### **3.1. Analizar**

Una vez que tenemos los datos recolectados de la medición se seguirá con analizarlos y determinar si existe un patrón en los eventos o si son casos aleatorios, y se procederá a estructurar un plan de mejoras potenciales, donde entran las hipótesis anteriormente mencionadas para definir los factores que son críticos para el desempeño final del proceso.

Las herramientas que se utilizarán para que ayuden con el análisis serán: Gráfico de pérdidas y ganancias y una lista de acciones

### **3.2. Mejorar**

En esta etapa se registrarán todas las acciones correspondientes para mejorar el rendimiento de *fixtures* y *sockets* correspondientes a los materiales BGA. Aquí la evidencia son imágenes del antes y después de las actividades.

### **3.3. Controlar**

Todos los cambios realizados deben quedar grabados en algún lugar para garantizar que tenga continuidad, esta es la función de esta etapa. Trata de responder la siguiente pregunta, ¿Cómo garantizar que no se vuelva a repetir el proceso anterior?

### **3.4. Plan de Trabajo**

A continuación, se hace una lista de todas las actividades a realizar en el proyecto, cuáles serán sus entregables y una breve descripción de cada una de ellas para su comprensión.

Tabla 2: Plan de trabajo

Actividad	Entregables	Descripción
Junta con los departamento involucrados	Minuta	Se revisaron cuáles son los problemas que se están presentando para trabajar todos enfocados en el mismo objetivo
Determinar los principales problemas	Gráfico de Pareto	Se catalogaron los principales problemas del fixture y socket
Determinar las asistencias por maquina	Grafica de eventos	Se cuantificaron los eventos de asistencias que se presentan por maquina por mes
Lista acciones	Resumen de actividades	Se enumeran todas las actividades para mejorar el rendimiento del fixture y socket
Evidencia de mejoría	Graficas	Se presentan los datos donde se demuestra la mejora que hay con las actividades realizadas

### 3.5. Recursos Requeridos

Se necesitó del conocimiento y de la experiencia del personal del laboratorio de hardware de pruebas para revisar sus métricas, y del soporte del personal de mantenimiento del área de *dragon* para la realización de los *setups* de los materiales BGA, también se solicitarán permisos para el acceso a las bases de datos de estos 2 departamentos.

## 4. Resultados

En este capítulo se revisan los resultados obtenidos por la ejecución del proyecto, así como las evidencias que se generaron. Consta de 3 etapas, que son: Analizar, Mejorar y Controlar.

#### 4.1. Analizar

Se revisaron los datos que genera el departamento de mantenimiento sobre la cantidad de asistencias que tienen los *setups* BGA de octubre, noviembre y diciembre de 2017 para tomarlos como referencia y cuantificar cuanto es lo que se está perdiendo en estas asistencias.

El resultado de este análisis se puede observar en la Figura 14, donde las barras naranjas muestran cuantas maquinas hubo durante esos meses trabajando con materiales BGA, las barras amarillas muestran en promedio cuantas asistencias tuvo cada máquina durante el periodo de octubre a diciembre. Por último, la línea roja muestra las horas que se perdieron durante la realización de esas asistencias, la cual proviene de la multiplicación de la cantidad de máquinas, del promedio de asistencias y del tiempo que dura cada evento.

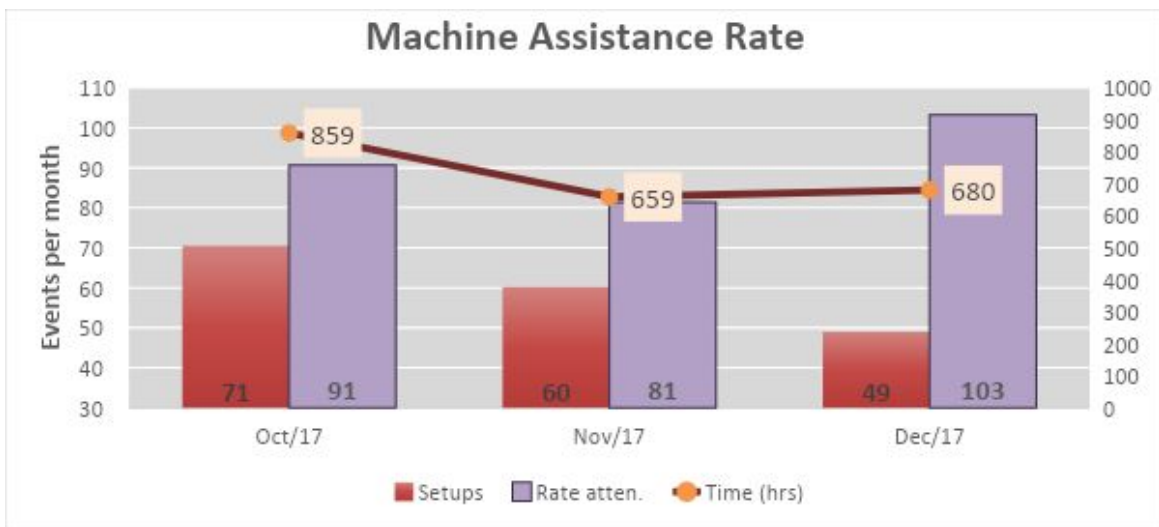


Figura 14: Promedio de asistencias por mes

Fuente: Elaboración propia

El hallazgo que se obtuvo fue que en promedio se tiene que dar asistencia a una maquina en 92 ocasiones al mes para lograr mantener un rendimiento óptimo. Esto es aproximadamente 3 veces diarias donde el *fixture* o el socket se encuentra presentando fallas.

Todos estos eventos en donde al *fixture* y/o al *socket* se le da mantenimiento duran aproximadamente el mismo tiempo, como se mira en la Tabla 3, alrededor de **8 minutos**.

También describe que cada máquina recibe 92 asistencias durante cada mes, entre octubre y diciembre.

Tabla 3: Promedio de duración y asistencias

Baseline	Avg. Duration (secs)
	484
	Rate attendance
	92

## 4.2. Mejorar

Para esta etapa, donde se identifican los componentes que afectan el rendimiento de *fixture* y *socket*. Se requirió que durante un periodo de 30 días el personal del laboratorio de pruebas registrara de manera detallada cual fue la causa raíz que provocara que una máquina requiriera de asistencia en la plataforma de *dragon*. Durante esos días se registró una muestra de **91 eventos** ocurridos en distintas maquinas.

Se observó que en todas ocasiones hubo algún reemplazo de componente, esto ayuda a que el rendimiento sea mejor, pero no significa que dicho componente se encuentre dañado. Por algún motivo se está filtrando el **ruido electromagnético** dentro del sistema.

Para poder hacer más visible las causas y más sencillo su análisis, con la información recabada se clasificaron dichos eventos por tipo de componente que se

reemplaza. La Figura 15 es el resultado del análisis, donde se ve con un gráfico de Pareto todos componentes del *fixture* y *socket* que provocan el tiempo muerto.

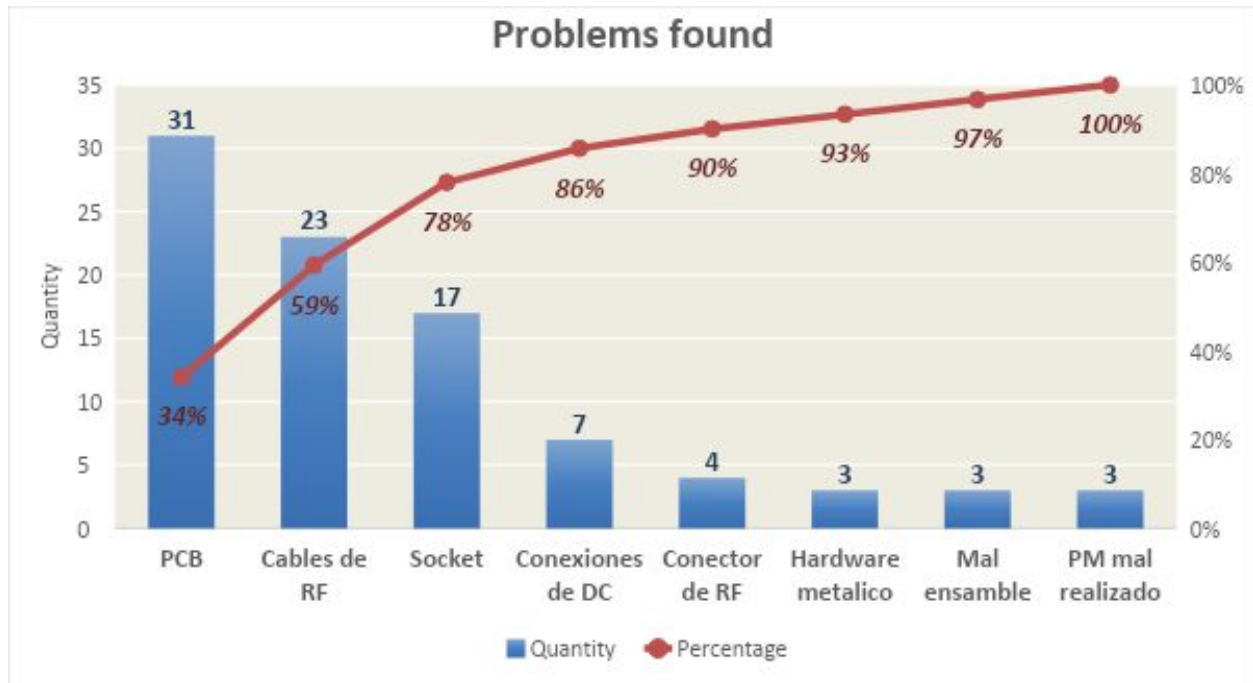


Figura 15: Pareto de problemas encontrados

Fuente: Elaboración propia

El objetivo de este Pareto es atacar las causas que provocan mínimo el 80% de los problemas, los cuales son 5 componentes, el PCB (31 eventos), cables de RF (23), socket (17), conexiones de DC (7) y conector de RF (4). Con esto se solucionan el 90% de los problemas presentados en el área de *dragon*, como lo indica la línea naranja en la gráfica, la cual representa el porcentaje acumulado de cada componente.

La Tabla 4 enlista la serie de modificaciones a realizar que ayudan al rendimiento del *fixture* y *socket*, y por consiguiente a hacer que las máquinas trabajen de buena manera por un periodo más largo de tiempo. En total son 5 acciones que involucran a los principales contribuidores de los problemas.

Tabla 4: Actividades para realizar

Actividad	Problema	Descripción
Cavidad en socket	Socket	Hacer un orificio en la parte central del socket para evitar una deformación por el uso.
Conexión de DC blindada	Conexión de DC	Colocar una cubierta aterrizada al conector de DC con el fin de evitar el ruido electromagnético, además de proteger a los componentes cercanos.
Blindaje para socket	Socket & PCB	Diseñar y fabricar una cubierta para eliminar el ruido en el área del socket.
Blindaje para conector de RF	Cable de RF	Colocar un protector contra el ruido que disminuya el reemplazo de cables de RF
Empaque para conector	Conector de RF & PCB	Instalar un empaque entre el conector de RF y el cable para que no se filtre el ruido.

A continuación, se describen detalladamente con imágenes todas las evidencias de las mejoras que se han hecho, con el fin de que estas se reproduzcan en todas las *fixtures* y *sockets*.

### 1. Cavidad en socket:

Se realizó un orificio rectangular en el centro del socket para evitar que este se dañe al ser aplastado por una pieza. En la Figura 16 se muestra como cambio el socket de ser plano en la parte central a tener un escalón para su protección. Esta modificación se realizó a todos los sockets de materiales BGA, y se mejoró su tiempo de vida útil.



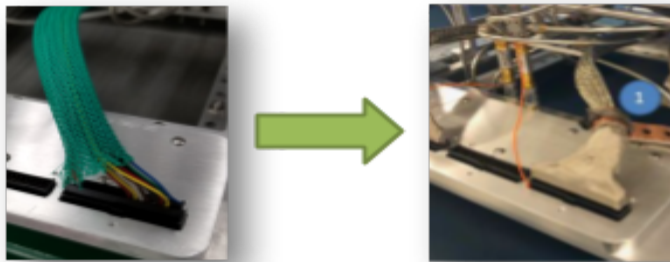


## 2. Cone

*Figura SEQ Ilustración \\* ARABIC 16: Modificación de socket*

*Fuente: Elaboración propia*

Para evitar que se filtre el ruido electromagnético se le coloco una cubierta conductora al cable de DC, la cual se encuentra conectada a tierra, como se observa en la Figura 17. Esto hace que las señales enviadas por la tester hacia la pieza lleguen más limpias.



*Figura SEQ Ilustración \\* ARABIC 17: Cable de DC blindado*

*Fuente: Elaboración propia*

Además, también se le coloco una placa para blindar el conector de DC como se ve en la Figura 18. Estas 2 acciones en conjunto evitan al ruido electromagnético en las conexiones de DC.

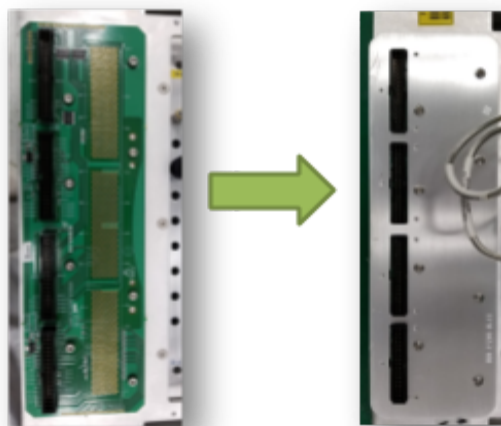


Figura 18: Placa para conector de DC

Fuente: Elaboración propia

### 3. Blindaje para socket:

El blindaje en el socket cumple con 2 importantes funciones, la primera es blindar al socket del ruido electromagnético que provenga del exterior. La segunda función es proteger a los componentes de alrededor de algún daño que pueda ser causado por un desarmador al momento de querer cambiar el socket. Las 2 funciones mencionadas se ven en la Figura 19, con el antes y el después.



Figura 19: Blindaje en socket

Fuente: Elaboración propia

### 4. Blindaje para conector de RF:

Al conector de RF que ensambla con la *tester* se le agrego otro protector para blindarlo del ruido. En la Figura 20 se puede percatar como se encontraba anteriormente donde no se encontraba nada alrededor. Y ahora como hay un blindaje protector.

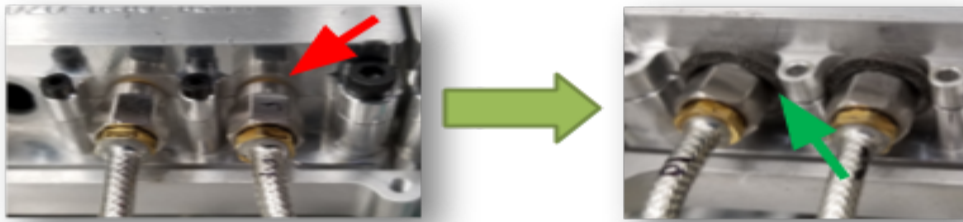


*Figura SEQ Ilustración \\* ARABIC 20: Blindaje para conector de RF*

*Fuente: Elaboración propia*

## 5. Empaque para conector de RF:

Siguiendo con la iniciativa de blindar al *fixture* del ruido, se le instalo un empaque a cada conector de RF que se encuentra en el PCB. La figura 21 muestra el antes y el después de dicha instalación.



Tomando como parámetro los meses de octubre a diciembre de 2017, se logró que las asistencias a las maquinas bajaran considerablemente en lo que va del presente año. La Figura 22 representa la disminución de eventos que hubo a partir del enero de 2018, que fue cuando se implementaron las acciones.

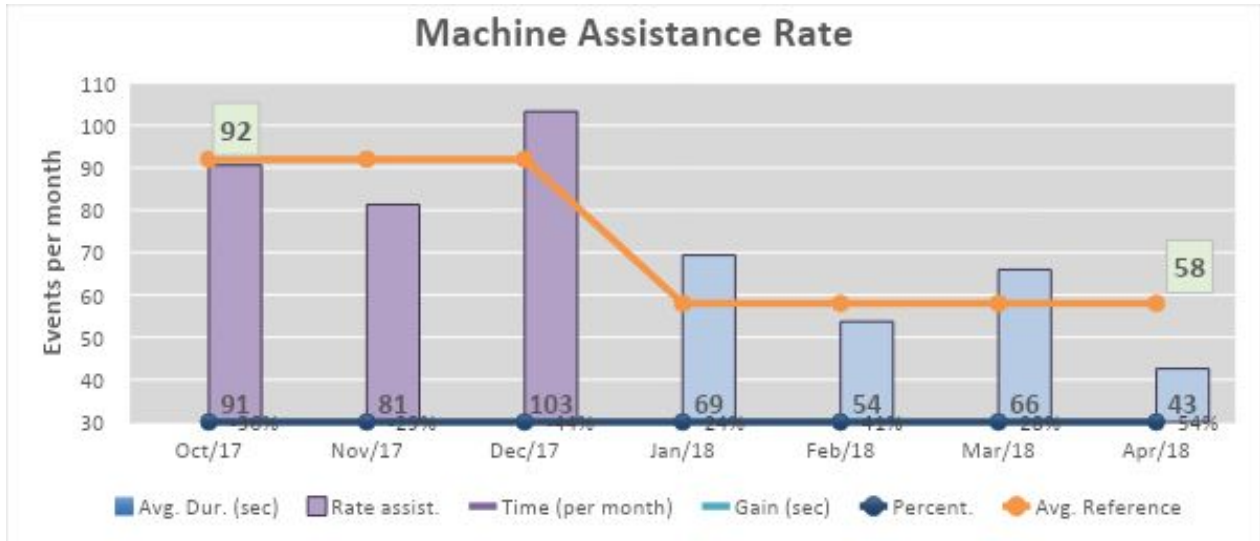


Figura 22: Promedio de asistencias al mes

Fuente: Elaboración propia

El promedio de asistencias en los meses de octubre a noviembre fue de 92, mientras que lo que va de 2018 que es de **enero a abril es de 58**. Partiendo de esto, y de que el promedio de tiempo perdido por asistencia se mantuvo en **8 minutos**, se generó la Tabla 5, la cual indica lo siguiente:

- La cantidad de *setups* que hubo en cada mes en el periodo de octubre de 2017 a abril de 2018.
- El promedio de asistencias por máquina que hubo en cada mes en el mismo periodo de tiempo
- Las horas totales que se perdieron en toda el área de *dragon* asistiendo a todos los *setups* con bajo rendimiento por problemas de bajo desempeño con *fixture* y *socket*.
- La ganancia en horas totales que se obtuvo después de realizar el proyecto, esto es en los meses de enero a abril, tomando como referencia los últimos 3 meses del año 2017.
- La pérdida que se tuvo antes de la ejecución del proyecto, que son los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2017, al no tener el rendimiento en *fixture* y *socket* que se tiene en promedio actualmente, tomando como referencia los primeros 4 meses del presente año.

- El dato de la pérdida y ganancia representado de forma porcentual al mes, utilizando como referencia el promedio de asistencias antes del proyecto y después del mismo.

Tabla 5: Tabla descriptiva de eventos

Month	Setups	Rate assist.	Time (hrs)	Gain (hrs)	Percent.
Oct/17	71	91	859	(321)	-36%
Nov/17	60	81	659	(274)	-29%
Dec/17	49	103	680	(223)	-44%
Jan/18	51	69	478	154	24%
Feb/18	35	54	253	179	41%
Mar/18	33	66	294	115	28%
Apr/18	19	43	106	122	54%

Los datos de la tabla anterior están representados en forma gráfica en la Figura 23, se visualiza de manera más sencilla lo que se obtuvo con este proyecto. Se logró en los primeros cuatro meses del año **ahorrar 570 horas** en total.



Figura 23: Grafica de pérdidas y ganancias

### 4.3. Controlar

En esta etapa se asegurará que las acciones implementadas se realicen en todo los *fixtures* actuales y los que se ensamblen en el futuro. Para lograr esto, todas estas modificaciones fueron agregadas a los **documentos de fabricación y ensamble** del *fixture* y *socket*, así cuando se necesite de un ensamble desde el inicio de este se tomarán en cuenta las acciones realizadas.

También se les notifico a todo el personal involucrado en este proceso todos estos cambios, con esto todos sabrán de la manera de cómo están trabajando los *setups* BGA.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

Lo que motivo a realizar este proyecto fue la gran cantidad de tiempo muerto que existe en los *setups* de materiales BGA lo cual es generado por la gran cantidad de asistencias a las maquinas por parte de mantenimiento. El objetivo general fue disminuir ese tiempo muerto haciendo las modificaciones adecuadas al *fixture* y *socket*. Todas las mejoras obtenidas fueron comprobadas con los datos que se fueron generando, plasmándolos en tablas y gráficas.

En el capítulo 1 se planteó la hipótesis basada en la problemática que se tenía, tal hipótesis mencionaba que una vez realizadas las modificaciones correspondientes al *fixture* y *socket* se lograría disminuir un 30% el tiempo muerto en materiales BGA. Esto se cumplió exitosamente y hasta superó las expectativas, como se puede observar en la Figura 23. Ahí se demuestra que, en promedio en los meses de enero a abril de 2018, se logró disminuir un 37% el tiempo muerto con respecto a los meses de octubre a diciembre de 2017

Todos esos datos fueron sacados de una base de datos que se actualiza en tiempo real todos los días, donde cualquier empleado puede tener acceso y así corroborar los datos obtenidos. Dicha base de datos se alimenta de cada personal de mantenimiento que llega a asistir a una máquina, registrando la duración que tiene cada evento de asistencia.

En el capítulo 3 se describe la metodología a utilizar, donde una vez planteada la problemática se analizaron los factores que contribuyen al bajo rendimiento en *fixture* y *socket*. Además, como la parte importante del capítulo se enlistan la serie de modificaciones que ayudaron al rendimiento de *fixture* y *socket*. Por último, se indica de qué manera se garantizó que todas las modificaciones realizadas sean llevadas a cabo de manera constante.

En el siguiente capítulo se describen los resultados obtenidos que responden a las a 3 las preguntas específicas realizadas. El objetivo número 1 se responde con el Pareto de la Figura 15, el cual para obtenerlo se solicitó a un grupo de técnicos del laboratorio de pruebas que describieran de manera detallada cada evento que asistían durante un periodo de 30 días. Con base en eso se logró clasificar los componentes que más influyen al bajo rendimiento de *fixture* y *socket*.

El segundo objetivo específico se cumple con las modificaciones que se realizaron en *fixture* y *socket*, donde primeramente se enlistaron las modificaciones para posteriormente ejecutarlas. Cada modificación se muestra con una imagen que describe como era anteriormente y como es en la actualidad.

El tercer y último objetivo específico se cumple mediante la documentación de cada *fixture* y *socket*. Así se asegurará que a partir de este proyecto cualquier *fixture* o *socket* se fabrique y ensamble con las modificaciones establecidas. Los datos que corroboraran que este proyecto fue exitoso se muestra al final de los resultados, y denota como se alinean a los requerimientos de la empresa.

Como lecciones aprendidas, se descubrió que en particular el ruido electromagnético perjudica de gran manera la prueba eléctrica, más de lo que se tenía diagnosticado. Esto ayudará a proyectos futuros en distintas plataformas a darle más importancia a este factor y que no sea una sorpresa en los datos recabados.

Por último, este proyecto no pudo haber terminado de manera satisfactoria si no se hubiera recabado la información que se plasmó en el marco teórico, esta sirvió para tener los conocimientos necesarios para comprender de mejor manera los datos obtenidos en la etapa de análisis.

## 6. Referencias

- Alitalo, P. (2009). *Microwave Transmission-Line networks for backward-wave and reduction of scattering*. Espoo: TKK Radio Science and Engineering Publications.
- Badri, S., Aziz, M., Ong, N., Alcaín, J., & Retnasamy, V. (September de 2017). *AIP Conferences Proceedings*. Obtenido de AIP Conferences Proceedings web site: <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5002485>
- Belohlavek, P. (2006). *OEE: Overall Equipment Effectiveness*. Buenos Aires: Blue Eagle Group.
- Carr, J. (2001). *Practical Antenna Handbook*. Blacklick: McGraw-Hill.
- Chiba, S., Okuda, N., Uozumi, T., & Takai, D. (2012). *Tokio Patente n° 9083120*.
- Damon, N., Rydwansky, F., & Mass, Q. (1982). *Mansfield Patente n° 4508405*.
- Ludwig, R., & Bretchko, P. (2000). *RF Circuit Design*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Miyara, F., & Lahoz, L. (2003). *Introducción al análisis frecuencia y al ruido eléctrico*. Rosario: Universidad Nacional de Rosario.
- Munro, R., Ramu, G., & Zrymiak, D. (2015). *The certified six sigma green belt*. Milwaukee: American Society for Quality.



- Ocampo, J., & Pavon, A. (2012). *Integrando la metodologia DMAIC de seis sigma con la simulacion de eventos discretos en flexsim*. Panama: Tenth Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology.
- Oostendorp, N., Demaagd, K. A., & Smith, R. (2015). *Francia Patente n° WO2017127042A1*.
- Perez, M. S., De La Calle Garcia, J., Riera Salis, J. M., & Garcia Munis, F. (2003). *Electronica de comunicaciones*. Madrid: Pearson Educacion.
- Peterka, P. (2018). *Six Sigma*. Obtenido de Six Sigma en Español: <https://www.sixsigmaespanol.com/resources/dmaic-leadership/>
- Poshala , P., KK, R., & Gupta, R. (2014). *Signal Chin Noise Figure Analysis*. Dallas: Texas Instrument.
- Pozar, D. M. (2012). *Microwave Engineering*. Amherst: John Wiley & Sons, Inc.
- Suhner, H. (October de 2017). <https://literature.hubersuhner.com/Marketsegments/Industrial/TMGuideEN/?page=10>. Obtenido de Huber Suhner: <https://literature.hubersuhner.com/Marketsegments/Industrial/TMGuideEN/?page=10>