

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería
Dirección de Posgrado
Campus Mexicali

Proyecto de Ingeniería e Innovación

**Mejora al proceso de calibración en el área de Test
para la probadora FNX de la plataforma de prueba FAST**

para obtener el grado de

Maestro en Ingeniería e Innovación

Presenta

Edgar Alejandro Montaña Godínez

Director de proyecto: Dra. Dania Licea Verduzco
Co-director de proyecto: MC. Cristóbal Capiz Gómez
Asesor de la Industria: Mariano Ortiz Ramos

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

**Mejora al proceso de calibración en el área de Test
para la probadora FNX de la plataforma de prueba FAST
para obtener el grado de
Maestro en Ingeniería e Innovación**

Presenta

Edgar Alejandro Montaña Godínez

Director de proyecto: Dra. Dania Licea Verduzco
Co-director de proyecto: MC. Cristóbal Capiz Gómez
Asesor de la Industria: Mariano Ortiz Ramos

Comité evaluador:

MC. Cristóbal Capiz Gómez

Dr. Miguel A. Salinas Yáñez

Dr. Miguel A. Ponce Camacho

Mexicali, Baja California. Junio de 2018

Índice

Índice de Imágenes	i
Índice de Tablas	ii
Agradecimiento y Dedicatorias	iii
Carta Institucional	iv
Abreviaturas	v
Resumen	vii
Capítulo 1: Introducción	1
Antecedentes	1
Justificación	13
Planteamiento del Problema	13
Preguntas de Investigación	14
Objetivos	14
Hipótesis	15
Capítulo 2: Marco teórico/referencial	16
Capítulo 3: Metodología	19
Primera Fase	19
Segunda Fase	20
Tercera Fase	20
Fase Final	21
Plan de Trabajo	22
Recursos	24
Capítulo 4: Resultados	25
Resultados Primera Fase	25
Resultados Segunda Fase	29
Resultados Tercera Fase	33
Resultados Fase Final	38
Capítulo 5: Discusión, recomendaciones y conclusiones	40
Referencias	42

Índice de Imágenes

Figura 1. Que hace Skyworks. (Skyworks, 2017)	1
Figura 2. Skyworks y el Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés). Tomado de http://www.skyworksinc.com/products_IoT.aspx	2
Figura 3. Procesos principales de Skyworks Mexicali. (Skyworks, 2017)	2
Figura 4. Los diferentes procesos que se realizan en la mini compañía Front End. (Skyworks, 2017)	3
Figura 5. La mini compañía Back End se encarga de los procesos de SMT, moldeo, marcado y cortado. (Skyworks, 2017)	4
Figura 6. La mini compañía de pruebas es la que se encarga de probar, empaquetar y enviar al cliente el material ya procesado. (Skyworks, 2017)	5
Figura 7. El proceso completo realizado en Skyworks Mexicali. La mini compañía de pruebas es donde se enfoca el presente proyecto. (Skyworks, 2017)	5
Figura 8. El área de Test está conformada por 4 principales plataformas de prueba. (Skyworks)	6
Figura 9. Distribución de las probadoras en la plataforma de FAST (Skyworks)	7
Figura 10. El proceso de setup se encarga de preparar la manejadora, la probadora y el fixture (Skyworks, 2017)	8
Figura 11. Ejemplos de los elementos que forman parte de un setup. A la izquierda se encuentra una manejadora EPSON NS8000, al centro un ejemplo de un fixture y del lado derecho una probadora LTX-Credence (Albiz, 2018), (Multitest, 2018)	9
Figura 12. Kit de calibración de sistema de una probadora FNX. De izquierda a derecha se muestra un bloque de calibración tipo A, un Power Sensor con su punta de prueba, y un tablero de calibración tipo B.	10
Figura 13. Causas de Downtime en la plataforma de FAST	11
Figura 14. Proporción de los casos de LOM respecto a los casos de Setup en la plataforma de FAST	12
Figura 15. Diagrama que muestra las estaciones que se conectan a un equipo de cómputo, cada estación con una unidad de prueba, un cable de RF y un fixture de prueba. (Gregg, Takeya, & Syed, 2014)	17
Figura 16. Fallas de calibracion en setup en la probadora FNX	26

Figura 17. Instrucción de trabajo MX-WI-0120 "Manual de Operaciones y Mantenimiento de FAST"	27
Figura 18. Diagrama de flujo encontrado en la instrucción de trabajo MX-WI-8513. Detalla los pasos a seguir para la calibración de una probadora PTX.	28
Figura 19. Conector de RF flojo en un tablero de calibración A	29
Figura 20. Cable de RF dañado en tablero de calibración B el cual provoca diversos tipos de fallas a la hora de calibrar la probadora FNX	30
Figura 21. Cable de RF para Power Sensor dañado, ruptura del recubrimiento metálico.	30
Figura 22. Proporción de fallas de calibración de sistema durante un lapso de 2 semanas	32
Figura 23. Diagrama eléctrico del tablero de calibración automático	36
Figura 24. Tablero de calibración automático armado y listo para probar.	36
Figura 25. OEE después de implementar el tablero de calibración automático en un periodo de una semana.	38
Figura 26. Desglose de downtime por LOM y por Setup, después de la implementación del bloque de calibración automático	39

Índice de Tablas

Tabla 1. Tabla de desglose de actividades	23
---	----

Agradecimiento y Dedicatorias

Dedico este proyecto de aplicación a Dios y a mis padres José Francisco Montaña y Rosario Godínez, por haberme dado la vida y haber sido una influencia

positiva a lo largo de ella, además de ser un apoyo incondicional ante todos mis altos y bajos a lo largo de estos años.

Agradezco mucho a mis hermanos César y Óscar por estar conmigo siempre, en las buenas y en las malas, por toda la ayuda que me han brindado cuando la he requerido y por todos sus consejos y sobre todo por su confianza y su amistad.

También quiero agradecer a mis amigos y a mi pareja, por brindarme su confianza y ser parte importante de mi vida, por estar en todos esos momentos difíciles y aún más en los momentos de gran alegría.

Sinceramente,

Edgar Alejandro Montaña Godínez

Carta Institucional



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 de 2018

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

Por medio del presente hago constatar que el proyecto:

**“Mejora al proceso de calibración en el área de Test
para la probadora FNX de la plataforma de prueba FAST”**

El cual fue desarrollado por el empleado:

Edgar Alejandro Montaña Godínez

Con matrícula **033007**, 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

Abreviaturas

BGA (Ball Grid Array) Tipo de empaquetado para las nuevas tecnologías de montaje superficial, que permiten productos más pequeños a menor costo (Texas Instruments, 2004)

DC (Direct Current) Se le denomina corriente directa a las cargas en movimiento que fluyen en un mismo sentido dentro de un material conductor. (Hayt, 2007)

ESD (Electric Static Discharge) Fenómeno donde se presentan corrientes y voltajes altos que pueden dañar dispositivos sensibles a este efecto. (Semenov, Sarbishaei, & Sachdev, 2008)

FAST (Focus Application Specific Tester) Nombre de una de las plataformas de prueba que se encuentran en el area de test en Skyworks. (Skyworks, 2011)

GUTS (Generic Unified Testing Software) Nombre otorgado al ambiente de prueba de equipo automatizado desarrollado por Skyworks. Este software se encuentra en todas las probadoras de la plataforma de FAST, en otras palabras PTX, FNX, VCO y FIT (Software Integration, 2013)

HP (Hewlett Packard) Empresa de productos electrónicos con sede en Palo Alto, California. (Hewlett Packard, 2018)

LOM (Lack of Material) Terminio utilizado para expresar que no hay insumos por probar (circuitos integrados) en las diferentes plataformas de prueba eléctrica. (Skyworks, 2011)

OEE (Overall Equipment Effectiveness) Se encarga de evaluar cuando un equipo está haciendo un buen producto en comparación con la duración con la que teóricamente el equipo debería estar produciendo un buen producto. (Munro, Ramu, & Zrymiak, 2015)

RF (Radio-Frequency) Se le denomina al rango de frecuencias que son útiles para las transmisiones de radio. Este rango abarca desde los 3 kHz hasta los 300 GHz. (IEEE, 2006)

SMT (Surface Mount Technology) Tecnología actual en la industria de los semiconductores. Es una serie de técnicas que buscan soldar componentes especialmente manufacturados para esta técnica en tableros para su elaboración rápida en masa (Prasad, 1997)

Resumen

El siguiente proyecto, buscaba mejorar el proceso de calibración de sistema para la probadora FAST FNX. También busca la mejor manera de disminuir la cantidad de eventos de falla de calibración que se ha presentado durante los últimos meses del año 2017 y los primeros meses de 2018, primero identificando las principales causas que estén provocando dichos eventos y poder así proponer soluciones a los problemas encontrados. Con ello mejorar la métrica principal del equipo de mantenimiento, así como del piso de producción de la planta Skyworks Solutions de México, el OEE, al evitar en lo mayor posible los tiempos muertos y posibles conflictos provocados por este tipo de falla.

Capítulo 1: Introducción

Antecedentes

Skyworks Solutions de México es una empresa localizada en Mexicali Baja California establecida desde 2002. Ésta se dedica a la manufactura y prueba de dispositivos semiconductores que se destinan a diferentes industrias, entre las cuales destacan la industria aeroespacial y de defensa, industrias automotrices, dispositivos médicos, dispositivos móviles, energías inteligentes, redes, industrias de computación, domótica, para electrónicos de consumo, entre otras. Ejemplos de los productos que se fabrican en Skyworks se muestran en la Figura 1. De igual manera en la Figura 2 se presentan las diferentes industrias en las cuales se encuentran los productos Skyworks.

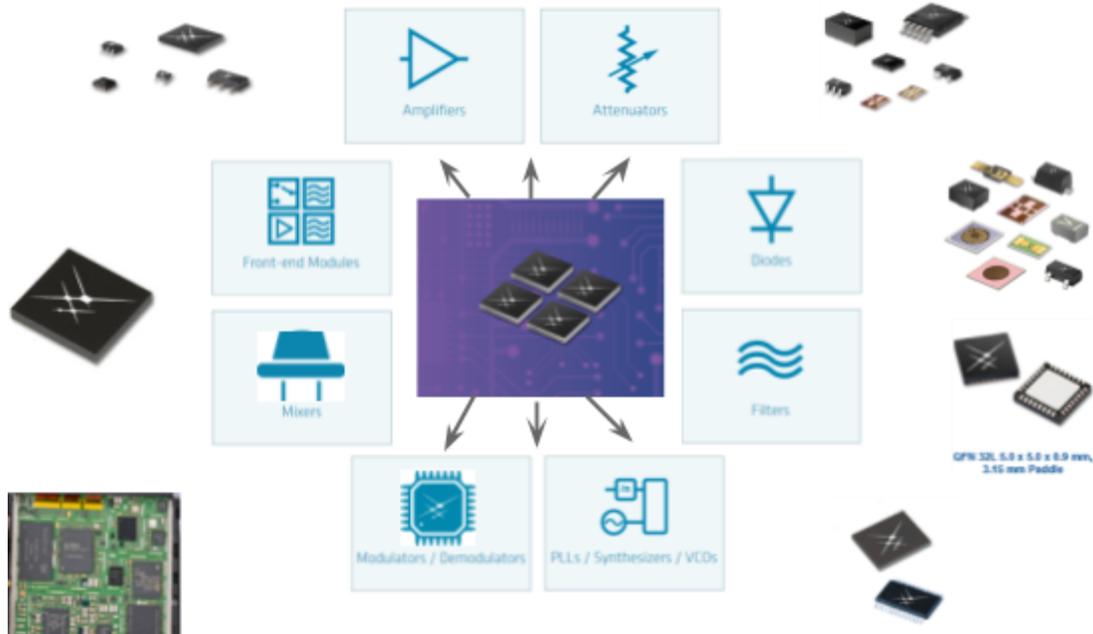


Figura 1. Que hace Skyworks. (Skyworks, 2017)



Figura 2. Skyworks y el Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés). Tomado de http://www.skyworksinc.com/products_IoT.aspx

Para lograr dar la mejor calidad en sus productos a sus clientes, Skyworks se preocupa por buscar la mejora de sus procesos y sus herramientas de trabajo.

El material que se manufactura en Skyworks pasa por 3 principales procesos, la mini compañía *Front End*, la mini compañía *Back End* y la mini compañía de Pruebas. Los primeros dos se encargan del proceso de ensamble del material, mientras que el último se encarga de probarlo para asegurar su correcto funcionamiento. Estos procesos se muestran en la Figura 3.

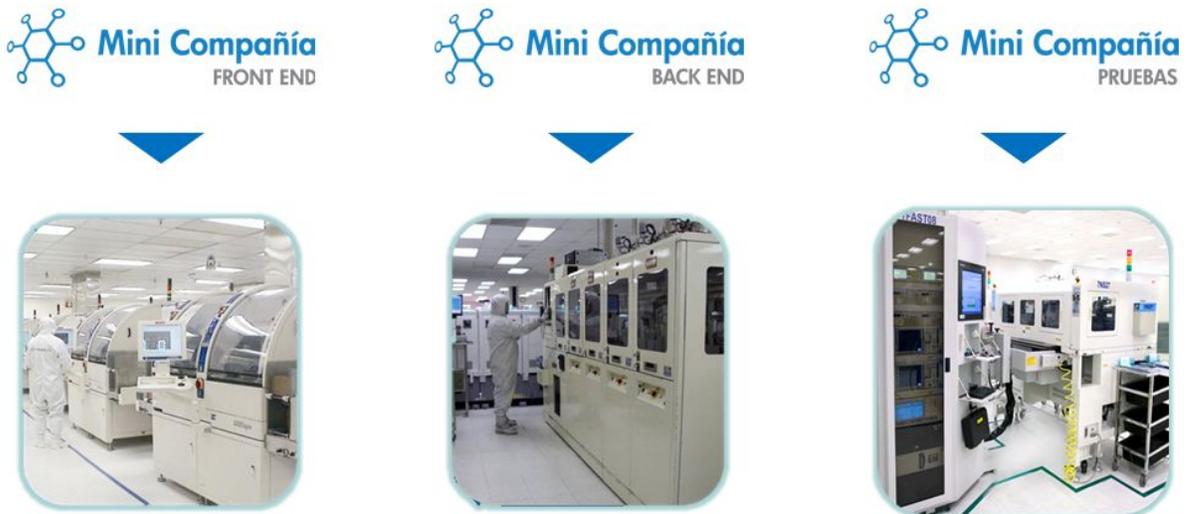


Figura 3. Procesos principales de Skyworks Mexicali. (Skyworks, 2017)

El proceso de ensamble empieza con la mini compañía *Front End*, la cual se encarga con todo lo relacionado con el “wafer”, el cual es el material semiconductor que se va a manejar e incluye los procesos de *Wafer Level*, *Wafer Level CSP*, *Die Attach*, *Wire Bond* y *BGA* (*Ball Grid Array* por sus siglas en inglés), los cuales se ilustran en la Figura 4.

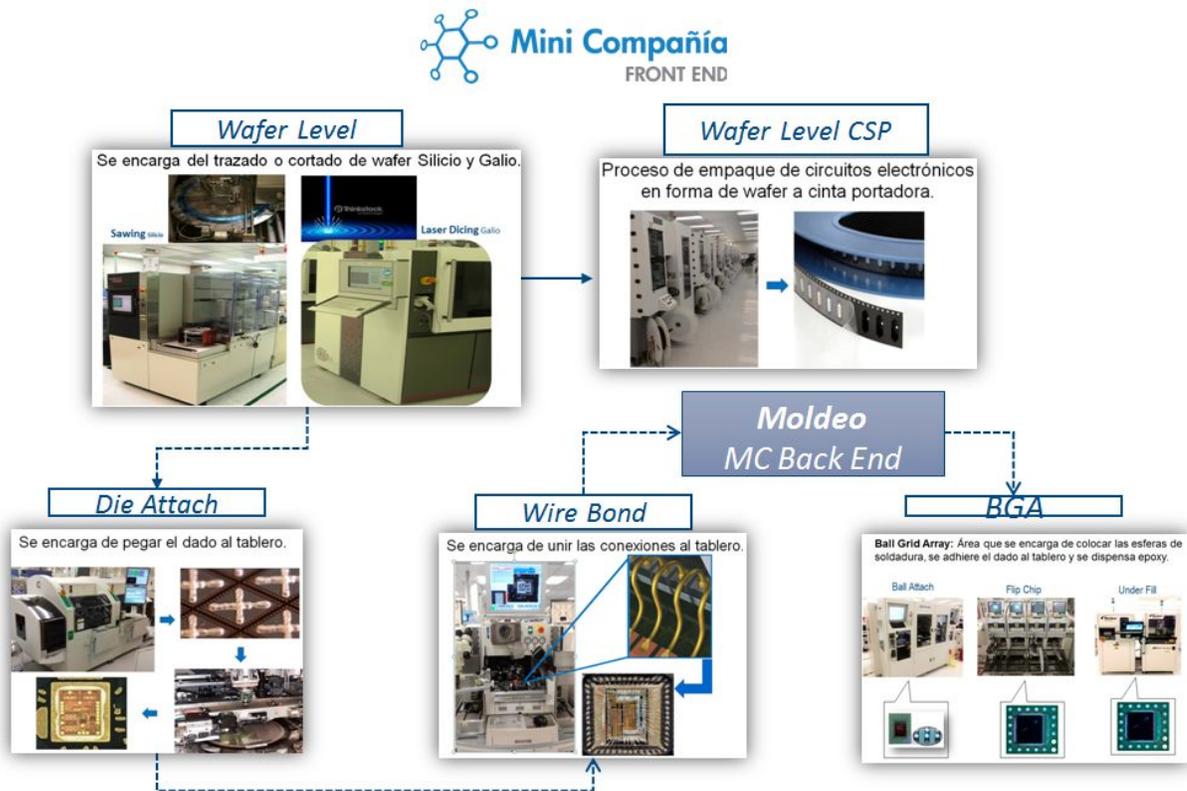


Figura 4. Los diferentes procesos que se realizan en la mini compañía Front End. (Skyworks, 2017)

Una vez procesado el material en *Front End*, los resultados se envían a la mini compañía de *Back End*, la cual incluye todo los procesos relacionados con la tecnología de montaje superficial (*Surface Mount Technology*, SMT por sus siglas en inglés) y con el encapsulado, marcado y cortado del material. Dicho proceso se ilustra en la Figura 5.

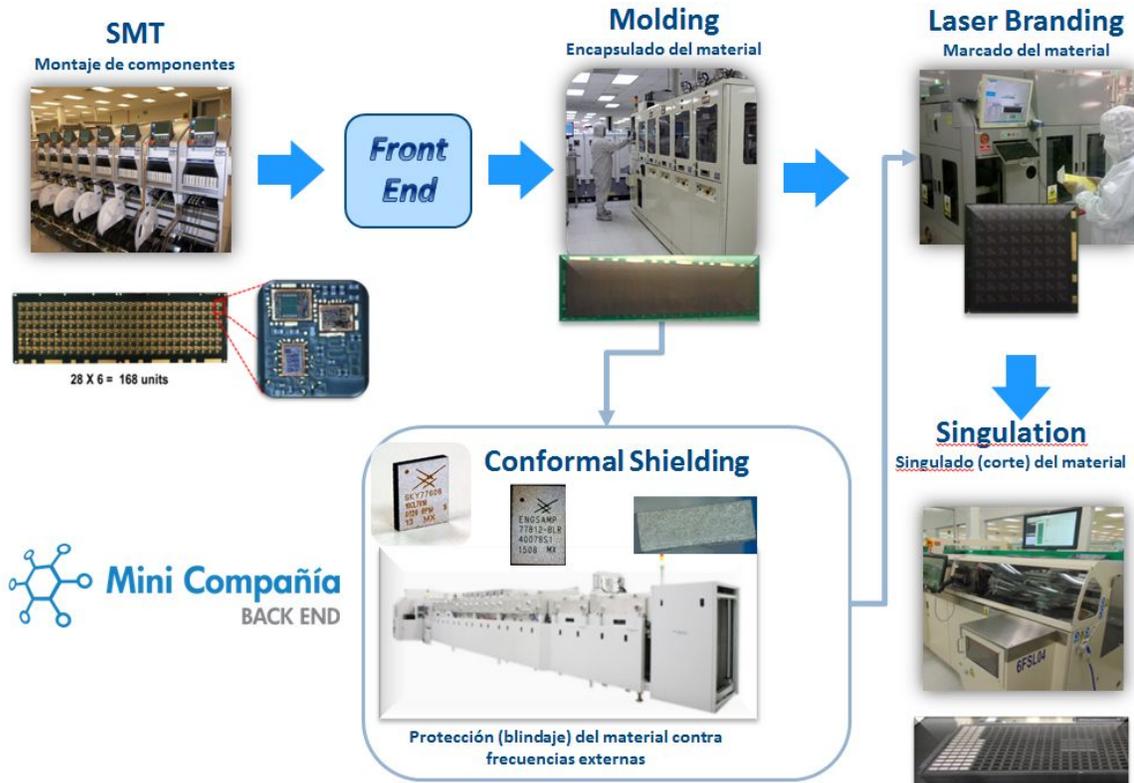


Figura 5. La mini compañía Back End se encarga de los procesos de SMT, moldeo, marcado y cortado. (Skyworks, 2017)

Por último, una vez que el material es cortado, éste se transmite a la mini compañía de pruebas, la cual se encarga de realizar la prueba eléctrica a las piezas (área de *Test*), seguido por el área de *Bake* para finalmente ser empaquetado en el área de *Tape & Reel*, para finalizar con el sellado al vacío y el envío al cliente. El proceso de la mini compañía de pruebas, en donde se enfoca este proyecto, se muestra en la Figura 6, mientras que el proceso completo se ilustra en la Figura 7.



Figura 6. La mini compañía de pruebas es la que se encarga de probar, empaquetar y enviar al cliente el material ya procesado. (Skyworks, 2017)

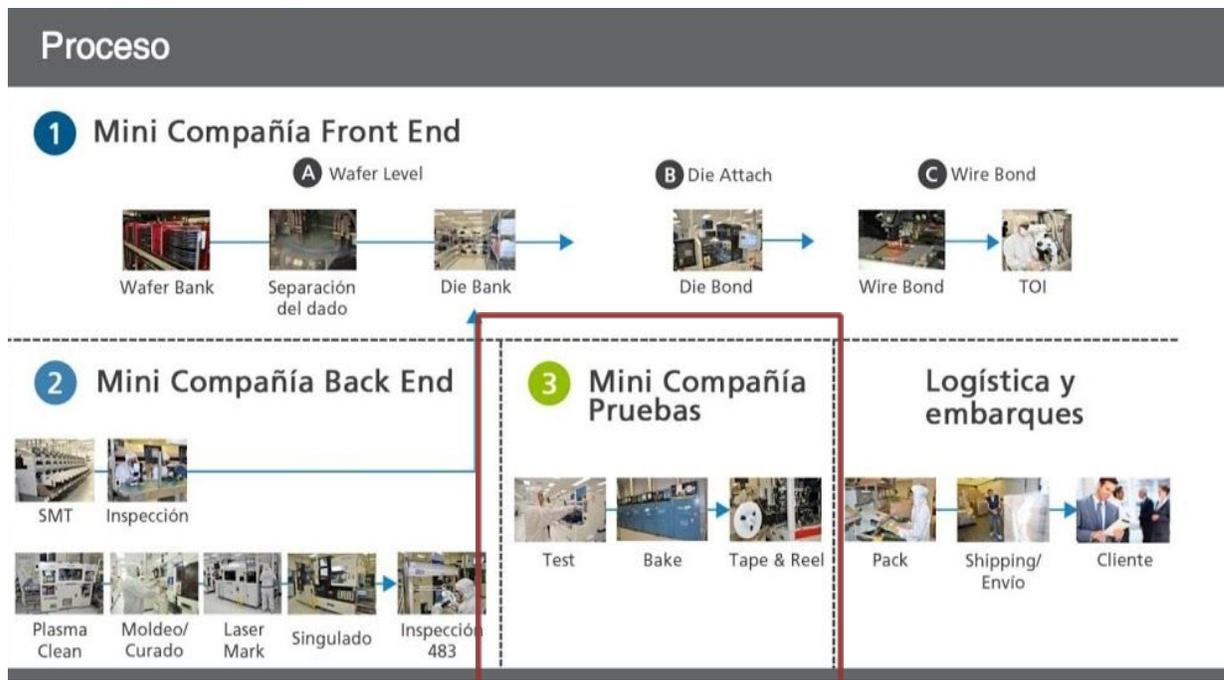


Figura 7. El proceso completo realizado en Skyworks Mexicali. La mini compañía de pruebas es donde se enfoca el presente proyecto. (Skyworks, 2017)

En el **área de Test** de la **mini compañía de pruebas**, se encarga de probar todas las características eléctricas del producto, tanto digitales (voltajes, corrientes) como analógicas, específicamente sus características en radiofrecuencia (*Radio-Frequency* o RF por sus siglas en inglés) las cuales involucran señales armónicas, potencias, ganancias, entre otras.

Test se divide en 4 principales plataformas de prueba mostradas en la Figura 8. Estas plataformas son *Credence*, *Dragon*, *HP*, y *FAST*. Esta última plataforma tiene a su vez a 4 probadoras diferentes, PTX, FNX, FIT y VCO. Este proyecto enfoca en la probadora FNX al representar el 80% de las probadoras del área de *FAST*. La distribución de las probadoras de la plataforma de *FAST* se muestra en la Figura 9.

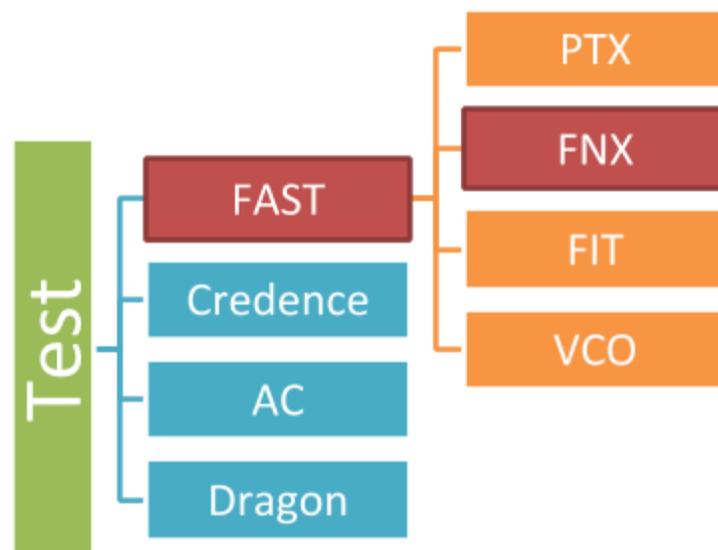


Figura 8. El área de Test está conformada por 4 principales plataformas de prueba. (Skyworks)

La plataforma de *FAST* se compone de aproximadamente de 125 probadoras FNX (cantidad actualizada a Mayo de 2018), las cuales se encargan, con ayuda de un programa de prueba, a realizar las mediciones correspondientes de DC y RF descritas anteriormente. Es necesario que estas mediciones cumplan con las especificaciones que espera el cliente de nuestros productos.

Distribución de Probadoras en FAST

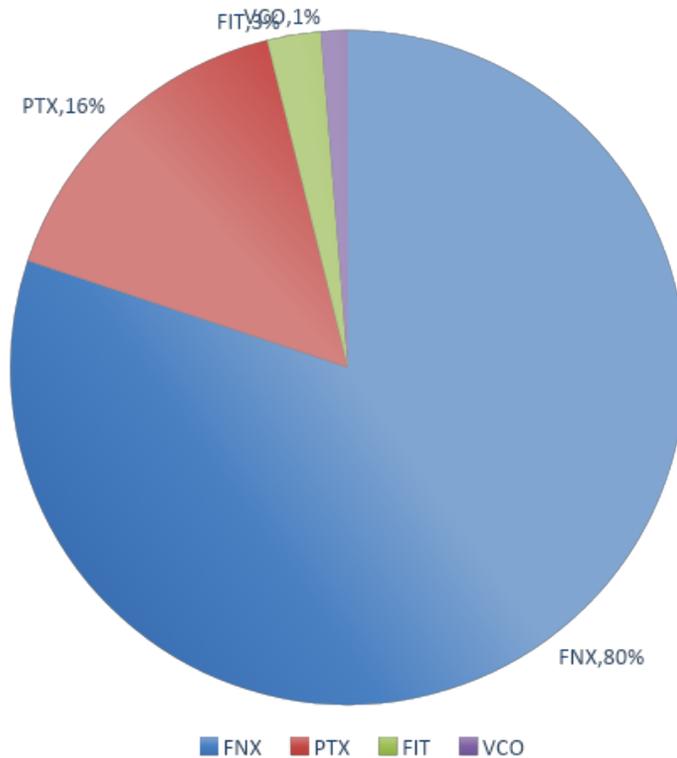


Figura 9. Distribución de las probadoras en la plataforma de FAST (Skyworks)

Para preparar cada probadora de acuerdo a cada uno de nuestros diferentes productos, es necesario juntar los elementos necesarios para elaborar un “*setup*”. El *setup* es el proceso en el cual se prepara la manejadora, la probadora y el fixture. En la Figura 10 se muestran los elementos que conforman un *setup*. (Skyworks, 2017)

La manejadora es el equipo que se encarga de mover el material y colocarlo en una charola especial contra las Descargas Eléctricas Estáticas (*Electric Static Discharge*, ESD por sus siglas en inglés).

La probadora es el estante el cual tiene todo el equipo de medición necesario para realizar las pruebas requeridas por los clientes.

El “fixture”, es un tablero intermedio (con componentes de corriente directa (*Direct Current* o DC en inglés) y de RF arreglados de tal manera que se aseguran del correcto funcionamiento del dispositivo para ser probado, el cual comunica al dispositivo semiconductor y a la probadora.

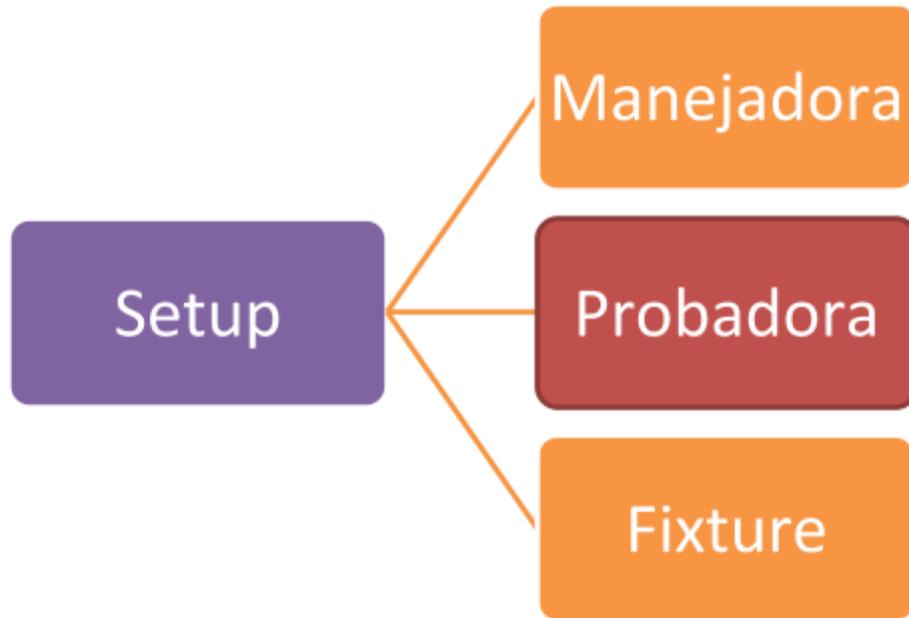


Figura 10. El proceso de setup se encarga de preparar la manejadora, la probadora y el fixture (Skyworks, 2017)

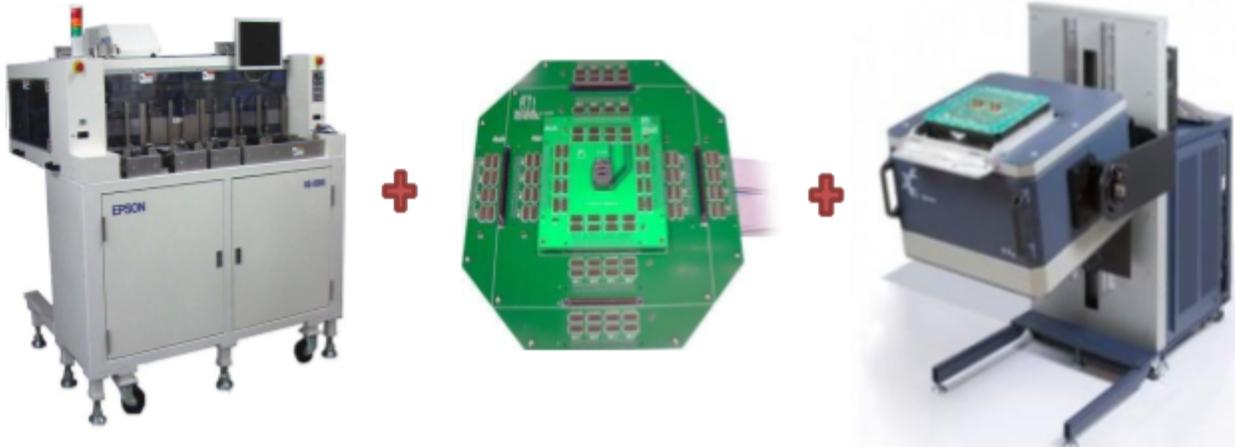


Figura 11. Ejemplos de los elementos que forman parte de un setup. A la izquierda se encuentra una manejadora EPSON NS8000, al centro un ejemplo de un fixture y del lado derecho una probadora LTX-Credence (Albiz, 2018), (Multitest, 2018)

En la Figura 11 se muestra un ejemplo de cada uno de los elementos enunciados en los párrafos anteriores. En la imagen se aprecia una probadora LTX-Credence, una manejadora EPSON NS8000 y un tablero de prueba que sirve de interface entre la probadora y la manejadora.

Antes de elaborar el ensamble de estos elementos, se requiere realizar una calibración de RF a la probadora. Esta calibración consiste en medir diferentes puntos (o puertos) de entrada y salida de RF para poder compensar las pérdidas que existen. Con esto, se logra aumentar la confiabilidad de las mediciones.

Para realizar la calibración de la probadora, Skyworks desarrolló dos tableros dedicados para ejecutar ésta tarea. La Figura 12 muestra dichos tableros, los cuales se usan para la calibración de probadoras PTX y probadoras FNX. Añadidos a estos tableros, se necesita un Power Sensor para realizar las mediciones de potencia en los diversos puertos de la probadora.

Dependiendo de la profundidad con la que se realice la calibración, esta puede tomar entre 20 minutos hasta 3 horas, por lo cual es necesario realizar una calibración efectiva desde el inicio, evitando así tiempos muertos en volver a realizar la calibración, resultando en una baja eficiencia en el OEE de la probadora, el cual afecta directamente al área de manufactura de FAST. (Skyworks).

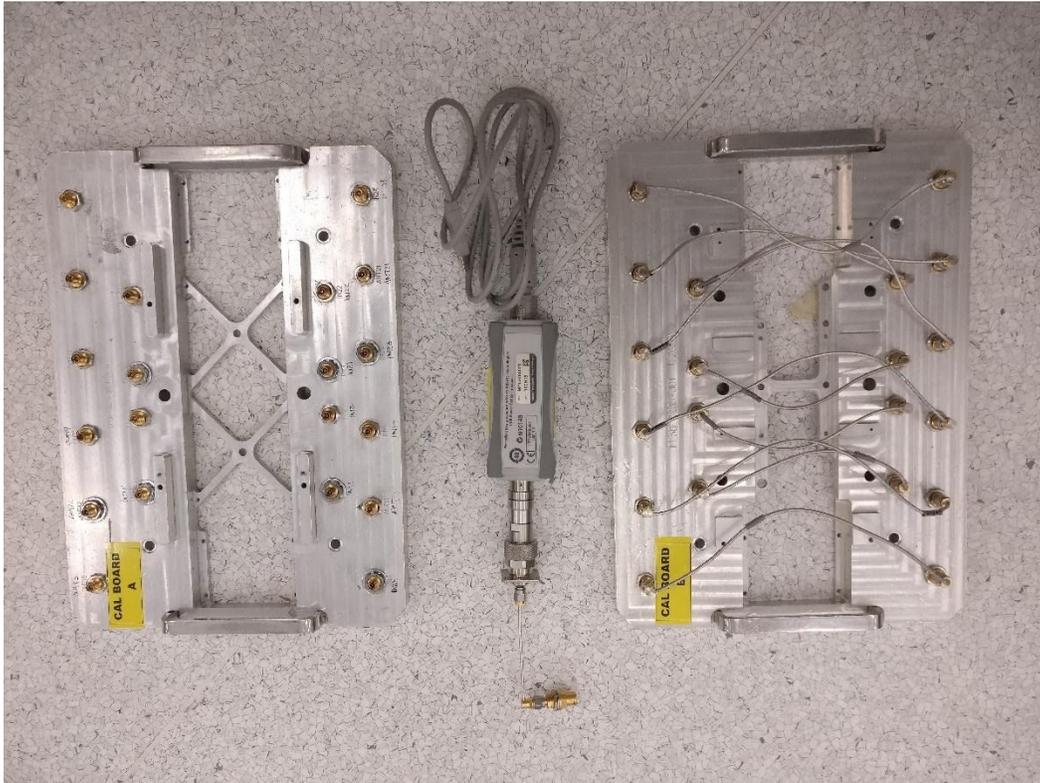


Figura 12. Kit de calibración de sistema de una probadora FNX. De izquierda a derecha se muestra un bloque de calibración tipo A, un Power Sensor con su punta de prueba, y un tablero de calibración tipo B.

El OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) o Efectividad Global del Equipo, es un métrico que se encarga de evaluar cuando un equipo está haciendo un producto bueno en comparación con la duración con la que teóricamente el equipo debería estar produciendo ese producto bueno (Munro, Ramu, & Zrymiak, 2015).

En nuestro caso particular, el tiempo en que la probadora está evaluando material bueno con respecto al tiempo en que la probadora se supone debe estar evaluando material bueno en un plazo de 24 horas.

Cuidar este métrico es muy importante puesto que así se asegura que los equipos con los que se está trabajando, estén funcionando adecuadamente en todo momento, produciendo una mayor cantidad de piezas por segundo, lo cual representa mayores ganancias para la compañía.

La actividad de calibración es una de las más tardadas de todos los procesos que se realizan en las probadoras, por lo que es muy importante asegurar que esta quede bien a la primera.

En la Figura 13 se aprecian los datos que se presentaban en la plataforma de FAST durante los meses de Enero a Marzo, en donde vemos que se tiene un OEE global de 67.9%, donde el resto se distribuye en 4 categorías principales. LOM (*Lack of Material*), Mantenimiento, Yield y Operacional.

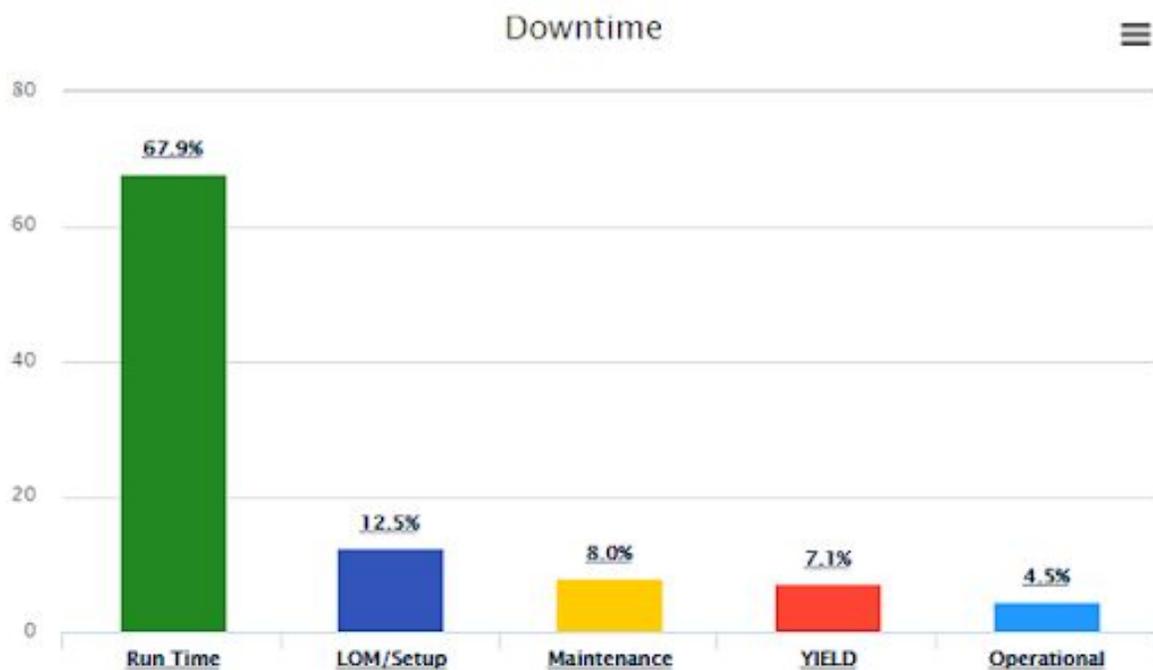


Figura 13. Causas de Downtime en la plataforma de FAST

La principal causa de bajo OEE con aproximadamente un 12.5% de “Downtime”, es la sección de LOM/Setup.

En la Figura 14 apreciamos en qué proporción se dividían los casos de LOM con respecto a los casos de setups. Hay que recordar que, en conjunto, estos representan el 12.5% presentado en el párrafo anterior.

Dado que la falta de material es algo que esta fuera de nuestro control, la sección de interés será revisar los casos de fallas en el setup que provocan un bajo OEE general.

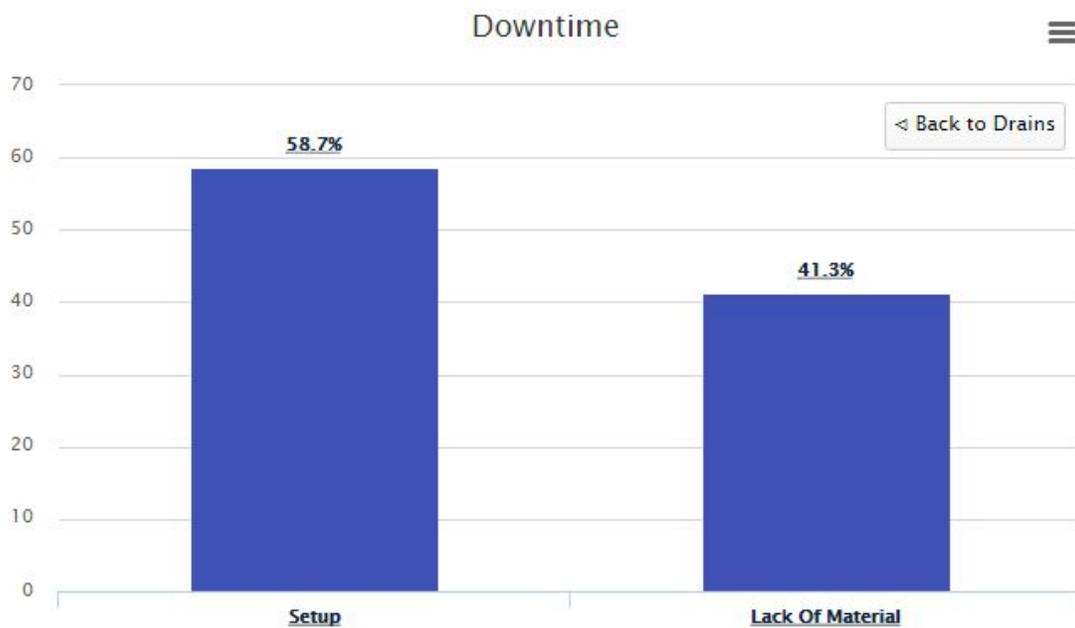


Figura 14. Proporción de los casos de LOM respecto a los casos de Setup en la plataforma de FAST

Justificación

Este proyecto de investigación buscó conocer a fondo sobre el proceso de calibración actual en la probadora FNX de la plataforma de FAST. El proyecto realizado, pretende mejorar las métricas de OEE que benefician a la empresa directamente en su capacidad productiva lo cual se traduce en una mayor cantidad de salidas de material probado bueno, el cual es el ingreso más fuerte para la compañía (mayor cantidad de piezas a vender, mayor cantidad de dinero a recibir).

Para lograrlo, es necesario realizar un análisis de la situación actual y proveer un método de trabajo efectivo o un prototipo tecnológico funcional, el cual ayude o evite los tiempos muertos por reparación o preparación de la probadora producidas por la calibración del equipo.

Planteamiento del Problema

El equipo de mantenimiento de FAST detectó que desde Enero de 2018 a Marzo de 2018, se tiene aproximadamente un 20% de problemas relacionados con la calibración de la probadora FNX a la hora de ejecutar un *setup*, lo cual provoca varias horas de re-trabajo para volver a ejecutar la calibración, provocando una baja en OEE en el área de producción. Se debe disminuir la mayor cantidad de errores a la hora de ejecutarla, lo cual permitiría terminar el *setup* en tiempo y forma y mejorar la métrica de OEE para el área de producción.

Preguntas de Investigación

Pregunta General

¿Cómo puede el equipo de mantenimiento e ingeniería de FAST, reducir la cantidad de eventos de falla por calibración de sistema en la probadora FNX en por lo menos un 80% de los casos?

Preguntas Específicas

- ¿Cuál es el procedimiento actual a seguir para la calibración de la probadora?
- ¿Qué controles o métricos se siguen para detectar el problema de calibración de la probadora?
- ¿Cuál es la causa raíz de esta cantidad de problemas en la calibración de la probadora?

Objetivos

Para poder responder a las diferentes preguntas de investigación planteadas anteriormente, se plantearon los siguientes objetivos con la finalidad de responderlas lo mejor posible. Primero empezaremos con el objetivo general seguido de los objetivos específicos.

Objetivo General

Proponer un prototipo o solución de mejora, el cual ayude al equipo de mantenimiento y de ingeniería de FAST a reducir la cantidad de eventos de falla por calibración de sistema en la probadora FNX en al menos un 80% de los casos.

Objetivos Especificos

1. Conocer las herramientas y procedimientos actuales que se utilizan para calibrar las probadoras FNX del área de FAST.
2. Identificar las métricas para evaluar la cantidad de fallas de calibración de sistema en el departamento de pruebas FAST
3. Determinar las causas que originan las fallas en la calibración de sistema en la plataforma FNX

Hipótesis

En esta sección se plantean las posibles causas, eventos que pueden llegar a influir a las fallas de la calibración de la probadora, tomando en cuenta los elementos que forman parte de ella.

- Si se reducen la cantidad de elementos necesarios para realizar la calibración del equipo, se reduce la cantidad de eventos de falla de calibración de sistema
- A la hora de realizar la calibración del equipo de prueba FNX, se utilizan tableros de calibración dañados o defectuosos.
- Las causas de las fallas en la calibración de sistema se originan por falta de experiencia y falta de atención por parte de los técnicos de *setup*.

Capítulo 2: Marco teórico/referencial

Hoy en día, muchos de los negocios o establecimientos que hacen uso de dispositivos de RF, requieren que dichos dispositivos se prueben con un grado de confiabilidad alto para asegurar que están funcionando de acuerdo a lo especificado en su diseño y poder proporcionarnos más y mejores productos que hacen uso de estos componentes, tales como celulares o *smartphones*, GPS, instrumentación médica, automóviles, antenas, entre otros.

En un mundo donde cubrir todos estos requerimientos de prueba es esencial, se da un alto enfoque tanto a la velocidad como a la precisión de las mediciones para lograr mejores resultados entre las estaciones de prueba sobre largos periodos de tiempo. Normalmente la velocidad y la precisión son metas que chocan entre sí y es usualmente crítico en mediciones de potencia, dado que, para asegurar la precisión de las mediciones, se suele sacrificar el tiempo de prueba, haciéndolo más lento de probar lo cual provoca que el tiempo de ciclo del producto sea más alto. (National Instruments, 2013)

Entre los trabajos realizados anteriormente, está una patente para calibrar rutas de pérdidas de RF por medio de un bloque de calibración para compensar las pérdidas que se puedan presentar por los *fixtures* y los cables de RF de dichos *fixtures* por medio de *offsets* y con ayuda de un sensor de potencia.

Dicho trabajo se ilustra en la Figura 15

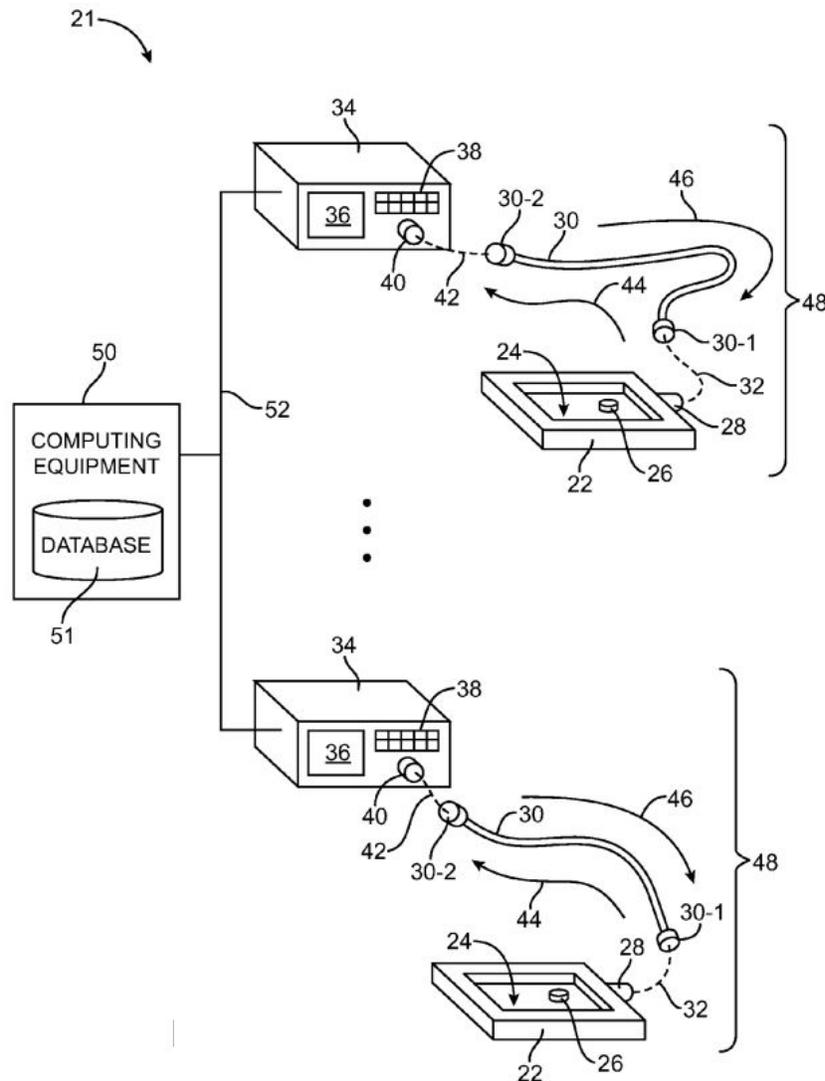


Figura 15. Diagrama que muestra las estaciones que se conectan a un equipo de cómputo, cada estación con una unidad de prueba, un cable de RF y un fixture de prueba. (Gregg, Takeya, & Syed, 2014)

Esta patente, mostrada en la Figura 15, funciona de manera muy similar a como funciona actualmente la calibración de la probadora FNX en la planta de Skyworks Mexicali. Por lo tanto, no aporta ninguna mejoría al problema que se presenta en la plataforma de prueba de FAST a la hora de realizar esta actividad en las probadoras FNX. (Gregg, Takeya, & Syed, 2014)

La calibración de RF ofrece una solución a estos requerimientos de velocidad y precisión tan chocantes entre sí al proveer de una manera de evitar la degradación de la precisión de las mediciones, compensando todos los elementos de RF tales como, cables, *switches* y otros elementos que se encuentran en las rutas entre los instrumentos de la probadora. La calibración vectorial o escalar, es la que usualmente se utiliza para caracterizar y corregir las pérdidas provocadas por estos elementos. (Keysight Technologies, 2017)

Existen diferentes técnicas y procedimientos propuestos por varios autores y por varias compañías dedicadas a instrumentos y componentes de RF para calibrar, aunque la mayoría concuerda en el uso de un generador de señales así como un analizador vectorial o analizador de espectros para realizar las mediciones de potencia correspondientes para realizar la calibración. (Rohde-Schwarz, 2010).

Dicho esto, ninguna de las soluciones encontradas o ninguna de las bibliografías revisadas, mencionan alguna manera de automatizar este proceso agilizando esta actividad o minimizando la mayor cantidad de errores que agrega el factor humano en esta actividad de calibración de probadoras, de ahí la importancia de este proyecto.

Capítulo 3: Metodología

En esta sección se describe la metodología que se siguió para el desarrollo del proyecto, la cual se planeó para elaborarse en 4 fases; La primera fue la *Recopilación de la Información*, la segunda, el *Análisis del Proceso*, la tercera fue la *Depuración de Información y propuestas de mejora* y se concluyó con una cuarta fase que fue la *Implementación de la mejora y resultados finales*.

Primera Fase

Recopilación de la Información

Esta fase busca recopilar la mayor cantidad de información que se tenga sobre las fallas de calibración de la probadora FNX para conocer así la cantidad de equipos donde sucede, la frecuencia de los eventos, cuantas personas están involucradas en el proceso.

Actividades a realizar:

- Ir con el gerente de mantenimiento de FAST y pedir el reporte de eventos de problemas encontrados por probadora en el periodo de Enero y Marzo de 2018.
- Recopilar información específica de la cantidad de eventos de falla por calibración y cuáles fueron las condiciones de la falla a partir del reporte entregado por el gerente de Mantenimiento
- Buscar toda la documentación que exista sobre los procedimientos actuales para realizar la calibración de sistema para la probadora FNX

Segunda Fase

Análisis del Proceso

En esta segunda fase, se comenzará a revisar minuciosamente como se realiza la calibración de sistema en la probadora FNX, con que equipos, en qué condiciones, comparándolo con el procedimiento que se encuentre en la fase anterior y determinar qué es lo que se está haciendo bien o que es lo que no se está realizando y por qué, para tener una mejor idea de lo que está sucediendo.

Actividades a realizar:

- Verificar las condiciones de los tableros de calibración de sistema
- Tomar tiempos de varias calibraciones de sistema
- Verificar la cantidad de eventos de falla durante la calibración
- Comparar el procedimiento ejecutado contra el procedimiento escrito

Tercera Fase

Depuración de Resultados y propuestas de mejora

Esta fase se concentrará en recopilar la información encontrada en la fase 2 y determinar los factores que impactan más a provocar errores en la calibración de la probadora, para poder empezar a proponer soluciones.

Actividades a realizar:

- Encontrar discrepancias entre el procedimiento de calibración ejecutado contra el procedimiento establecido
- Asociar las fallas de calibración de sistema encontradas con un problema en específico
- Proponer soluciones junto con el gerente de mantenimiento de FAST para atacar el problema encontrado

Fase Final

Implementación de la mejora y resultados finales

En la fase final se implementó la propuesta de solución marcada al final de la tercera fase y se recopilaron los resultados obtenidos. Una vez teniendo una muestra considerable de eventos, se procederá a determinar si hubo o no una mejoría.

Actividades a realizar:

- Implementar la propuesta de solución mencionada al final de la tercera fase
- Recopilar los resultados y dar conclusiones

Los resultados obtenidos se reflejaron en las métricas que lleva el equipo de mantenimiento, determinando así, la cantidad de eventos que se tenían cuando se detectó el problema y cuantos eventos se presentan después de implementada la mejora propuesta.

Plan de Trabajo

En la Tabla 1 se presenta el desglose de todas las actividades necesarias para realizar el proyecto, junto con los entregables esperados para cada una de las actividades, así como las fechas estimadas de entrega de las 4 fases descritas anteriormente.

	Actividad	Producto Entregable	Fecha para su realización
F a s e 1	Ir con el gerente de mantenimiento de FAST y pedir el reporte de eventos de problemas encontrados por probadora en el periodo de Enero y Marzo de 2018	Reporte de Eventos	5 Días
	Recopilar información específica de la cantidad de eventos de falla por calibración y cuáles fueron las condiciones de la falla a partir del reporte entregado por el gerente de Mantenimiento	Reporte de fallas por Eventos	5 Días
	Buscar toda la documentación que exista sobre los procedimientos actuales para realizar la calibración de sistema para la probadora FNX	Documentos de calibración de FNX	3 Días
F a s e 2	Verificar las condiciones de los tableros de calibración de sistema	Reporte de condiciones de los tableros	1 Semana
	Tomar tiempos de varias calibraciones de sistema	Reporte de tiempos de calibración	2 Semanas
	Verificar la cantidad de eventos de falla durante la calibración	Reporte de eventos por semana	2 Semanas
	Describir el procedimiento observado durante la ejecución del setup	Descripción del procedimiento actual de calibración de FNX	5 Días
F a s e 3	Encontrar discrepancias entre el procedimiento de calibración ejecutado contra el procedimiento establecido	Reporte de comparaciones encontradas entre calibración ejecutada y establecida	3 Días
	Asociar las fallas de calibración de sistema encontradas con un problema en específico	Reporte de asociación de conflictos	5 Días
	Proponer y elaborar un proyecto o solución de mejora junto con el gerente de mantenimiento de FAST para atacar el problema encontrado	Elaboración de proyecto o solución de mejora	1 Mes
F a s e 4	Implementar la propuesta de solución encontrada al final de la tercera fase	Implementación del proyecto o solución de mejora	1 Semana
	Recopilar los resultados y dar conclusiones	Conclusiones	3 Días

Tabla 1. Tabla de desglose de actividades

Recursos

Para poder comenzar a realizar pruebas con la calibración de sistema se requirieron de los siguientes recursos, los cuales se clasifican como recursos materiales, recurso humano, y presupuesto estimado.

Los siguientes recursos materiales fueron necesarios para poder comenzar con las labores de calibración de sistema sin ningún contratiempo de por medio.

Recursos materiales:

1. Probadora FNX
2. Tablero de Calibración A
3. Tablero de Calibración B
4. Sensor de Potencia (*Power Sensor*)
5. Tablero de Diagnostico para FNX

Para el recurso humano, se requirió del apoyo de todos los técnicos de *setup* que se encontraban en turno, así como del apoyo del gerente de mantenimiento para poder dar seguimiento de las actividades propuestas y de las propuestas de solución.

Para el presupuesto estimado, se consideró otorgar tiempo extra al personal requerido, así como también un presupuesto de 50,000 dólares para desarrollo de prototipos y conseguir los materiales que fueran requeridos a lo largo del proyecto.

Capítulo 4: Resultados

Resultados Primera Fase

Los siguientes resultados son los obtenidos de acuerdo al plan de trabajo mostrado en el capítulo 3 de este trabajo.

Para la primera fase, gracias al apoyo del gerente de mantenimiento de FAST, se obtuvo un reporte por parte de su equipo de soporte, en el cual se presentan todos los eventos de problemas encontrados durante la realización de *setups* en probadoras FNX entre los meses de Enero a Marzo.

La principal herramienta de medición se llevó a partir de una página web llamada FAST Hourly Performance (<http://mexprocestest01/Monitoring/FAST.php?page=0>), proporcionada también por el gerente de mantenimiento. En ella se revisaron las diferentes causas que provocan bajo OEE en el total de equipos que se tiene en producción.

Con esta información, se realizó un filtrado, en el cual se clasificaron los diferentes tipos problemas y solo se dejaron todos los que fuesen fallos por calibración de sistema. En este filtrado se definieron 2 clasificaciones diferentes de tipo de fallas: Por Instrumento y por tablero.

En la Figura 16 se muestra la proporción encontrada por este tipo de fallas, en donde un 64% de los casos se muestra que falla la calibración de sistema por causa de un instrumento de medición en la probadora, mientras que el 36% restante surge por tableros de calibración defectuosos.

Fallas de Calibracion en Setup

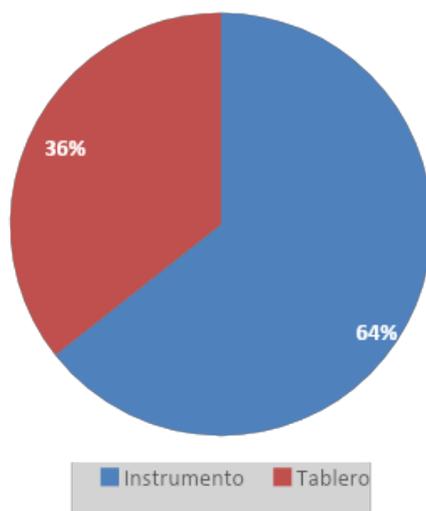


Figura 16. Fallas de calibracion en setup en la probadora FNX

Como parte del plan de trabajo, fue necesario buscar toda la documentación existente sobre las calibraciones de sistema y cuál es su procedimiento actual.

Se encontraron 2 documentos en total, los cuales describen partes del proceso de *setup*; la instrucción de trabajo **MX-WI-0120** con título "*Manual de FAST PA*" y la instrucción de trabajo **MX-WI-8513** "*Procedimiento para la elaboración de un set-up en FAST*".

La primera de ellas (**MX-WI-0120**) detalla el hardware y software requeridos para la realización de la calibración de sistema (bloque A, bloque B, *power sensor* y el software propietario de Skyworks, "G.U.T.S"). Un extracto de este documento se muestra en la Figura 17.

La segunda instrucción de trabajo (**MX-WI-8513**) muestra un diagrama de flujo, la cual se ilustra en la Figura 18, en este diagrama, se describe la serie de pasos a seguir, y en caso de existir una calibración valida previa se omiten estos pasos.

SKYWORKS SOLUTIONS

TÍTULO: Manual de Operación y Mantenimiento de FAST	NÚMERO DE DOCUMENTO: MX-WI-0120	REVISIÓN: 5
		PÁGINA: 1 de 102

Contenido

NOTA: Si se imprime este manual es necesario llevarlo a Control de Documentos para que le pongan el sello de COPIA

1.- PROPÓSITO:.....	4
2.- ALCANCE:.....	4
3.- MEDIDAS DE SEGURIDAD Y EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL:	4
4.- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO:	7
4.1.- MAINFRAME FF2.....	9
4.2.- MAINFRAME FF3.....	13
4.3.- FF3 CABEZA DE PRUEBA	16
4.4.- INSTRUMENTOS.....	17
5.- PROCEDIMIENTO DE ENCENDIDO:.....	18
5.1.- FAST CORE	18
5.2.- FAST GUTS	18
6.- OPERACIÓN:.....	19
6.1.- CREAR RECETAS DE PRUEBA Y CORRELACION EN GUTS	19
6.2.- CARGAR TEST PLAN EN SISTEMAS GUTS.....	22
6.3.- FAST CORE.....	24
6.3.1.- Cargar Test Plan en CORE.....	24
6.3.1.1.- Límites de producción 820.....	25
6.3.1.2.- Límites de QA 870.....	26
6.4.- PROBANDO UN LOTE EN GUTS Y CORE.....	27
6.5.- ELABORACION DE SETUPS	28
6.5.1.- SETUP EXTERNO.....	28
6.5.2.- SETUP EN SISTEMAS GUTS	33
6.5.2.1.- Remover fixture anterior en manejadora NS	33
6.5.2.2.- Calibración de sistema.....	35
6.5.2.3.- Calibración de ALC en GUTS	41
6.5.3.- SETUPS EN SISTEMAS CORE	45
6.5.3.1.- Calibración de sistema en CORE con NS.....	47
6.5.3.2.- Calibración de sistema en CORE con ISMECA o SRM.....	53
6.5.3.2.- Calibración de ALC en CORE.....	55

Este es un documento impreso y no está controlado
El usuario debe verificar que la revisión es la correcta antes de usarlo

Figura 17. Instrucción de trabajo MX-WI-0120 "Manual de Operaciones y Mantenimiento de FAST"

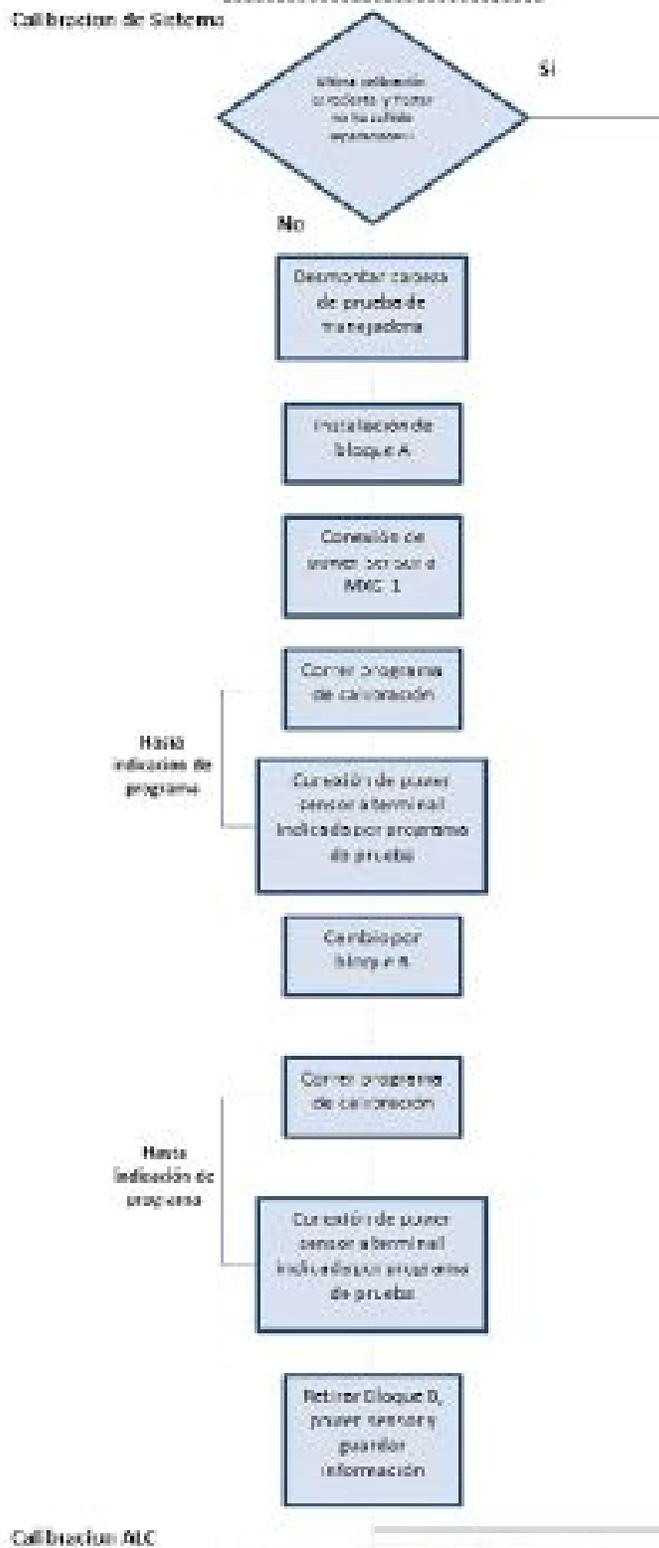


Figura 18. Diagrama de flujo encontrado en la instrucción de trabajo MX-WI-8513. Detalla los pasos a seguir para la calibración de una probadora PTX.

Resultados Segunda Fase

Para la segunda fase, se verificaron las condiciones de todos los tableros actuales junto con todos los *power sensors* y las puntas que se utilizan para la calibración.

Se encontraron un total de 3 bloques A y 5 bloques B. En varios de estos tableros, se encontraron algunos puertos dañados, cables en mal estado (en tableros de calibración B y puntas de *power sensor*), conectores flojos, los cuales comprometen la correcta implementación de la calibración del equipo, lo cual provoca compensaciones erróneas lo que a su vez se ve reflejado en problemas en procesos posteriores del *setup*, explícitamente la correlación de la probadora, en la Figura 19, se observa un conector flojo en un tablero de calibración A.

La Figura 20 se muestra un cable dañado en el bloque de calibración B, mientras que en la Figura 21 se presenta un cable de *Power Sensor* en mal estado, ambos dañados por un mal manejo o uso brusco del equipo.

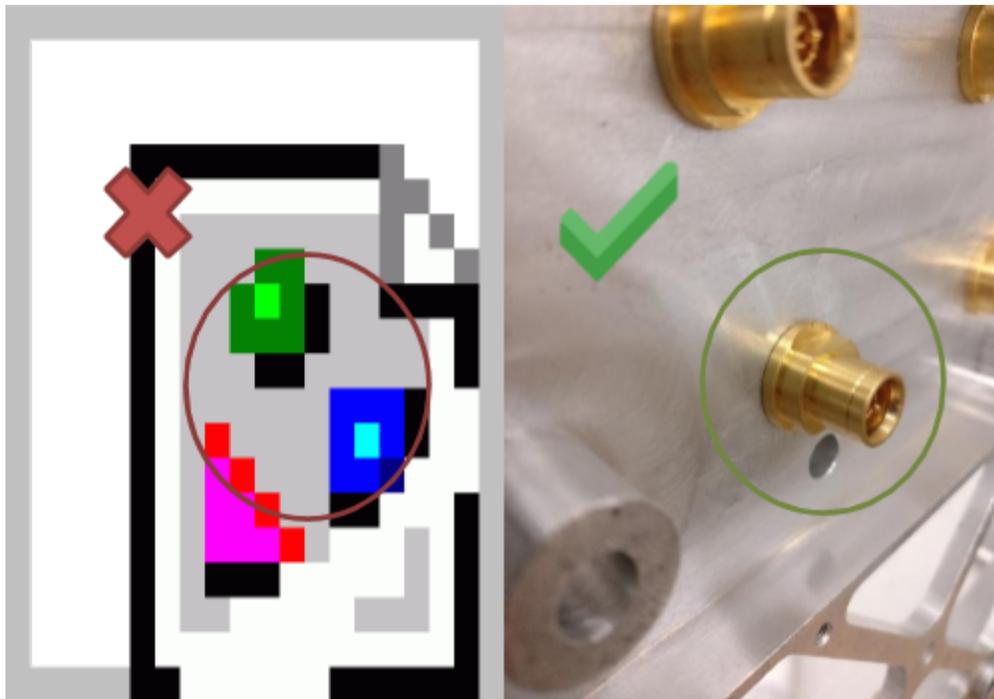


Figura 19. Conector de RF flojo en un tablero de calibración A

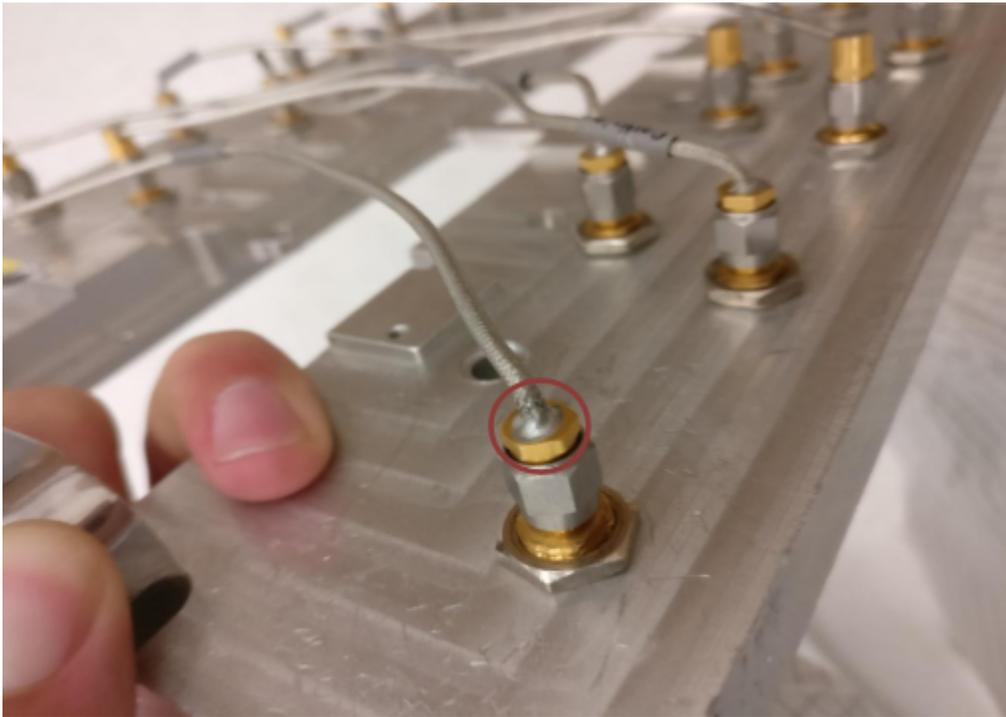


Figura 20. Cable de RF dañado en tablero de calibración B el cual provoca diversos tipos de fallas a la hora de calibrar la probadora FNX



Figura 21. Cable de RF para Power Sensor dañado, ruptura del recubrimiento metálico.

Durante dos semanas se tomó el dato de 30 calibraciones de sistema por número de parte y 5 calibraciones completas. En ello se encontró que, para una calibración completa se toma alrededor de 3 horas para completar la calibración, mientras que, por número de parte, esta cantidad era bastante variable (En algunos casos la calibración duraba aproximadamente 15 minutos, en otros tantos, la calibración llegó a durar aproximadamente 45 minutos), esta variación depende completamente de la complejidad del producto a probar.

En estas mismas dos semanas se estuvo en al menos 13 fallas de calibración de sistema, las cuales 8 fueron por fallas en instrumentos y los 3 restantes por fallas con los tableros de calibración y 2 de ellos por el sensor de potencia que se usó para calibrar.

Con ayuda de la Figura 22 podemos observar la proporción de estas fallas de calibración de sistema observadas en estas dos semanas, nuevamente organizándolas por nuestros 2 tipos de falla, Instrumentos y Tableros, pero ahora añadiendo una tercera, el Sensor (El cual entra en la falla por tableros de calibración).

Curiosamente podemos apreciar que con esta pequeña muestra se mantiene una proporción muy similar a la proporción notada en la Figura 16.

Fallas de Calibración (2 Semanas)

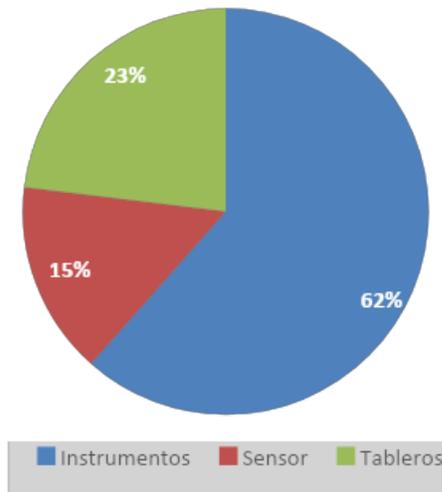


Figura 22. Proporción de fallas de calibración de sistema durante un lapso de 2 semanas

Con respecto al procedimiento actual que se sigue en la realización de la calibración, se formuló la siguiente lista de pasos, los cuales, siguen actualmente los técnicos al durante un *setup* en una probadora FNX:

1. Buscar los tableros de calibración A, B y el *Power Sensor*.
2. Retirar el *setup* anterior del equipo a calibrar (*Fixture + Handler Kit* y en algunos casos se cambia de Manejadora)
3. Se genera receta de *setup* con ayuda del programa *GenTestProperties*
4. Se elige la opción de *Setup_NumeroDeParte* y se selecciona en modo "*Debugger*"
5. Se ejecuta el programa y se siguen las instrucciones a continuación
 - 5.1. Se coloca el tablero de calibración A
 - 5.1.1. Se coloca la punta del *Power Sensor* en el puerto que se señale
 - 5.1.2. Al terminar con los puertos indicados se pide que se coloque un puente entre dos puertos para las mediciones de *Return Loss*
 - 5.2. Se coloca el tablero de calibración B

6. Se verifica el estado de la calibración con la aplicación “*Syscal_Analyzer*”

Resultados Tercera Fase

Para la tercera fase, se encontró una discrepancia importante la cual llegó a afectar en la actividad de correlación de la probadora en diferentes números de parte, la cual es el no usar el bloque de calibración A, lo que provocó el volver a calibrar sistema, esta vez correctamente, solucionando así el problema.

También, se observaron varios malos hábitos más que se requieren eliminar durante la ejecución de la calibración, entre ellas retirar el tablero de calibración B de los cables de Radiofrecuencia en lugar de las manijas diseñadas para esta tarea.

Las fallas de calibración, como se mostró en las fases anteriores podemos clasificarlas en dos principales problemas. Fallas de calibración por culpa de algún instrumento o elemento de Radiofrecuencia, y fallas de calibración por culpa de tableros de calibración dañados.

Con respecto a las observaciones realizadas se asume que los tableros de calibración dañados se deben al mal manejo que hay sobre ellos. Como se menciona en párrafos anteriores, los técnicos de *setup* suelen jalar los cables de radiofrecuencia de los tableros, dañándolos. En el caso del conector del *Power Sensor*, no se le da la importancia suficiente, lo que provoca que se descuide o no se tenga en cuenta el estado actual del cable, provocando varias fallas de medición en números de parte que tienen altos rangos de frecuencia.

En el caso de las fallas por instrumentos se asume que sea una falla de fábrica, de algún componente interno, su vida útil, o simplemente que tiene que entrar a su programa correspondiente de calibración. En estos casos no queda más remedio que mandar a reparar el equipo o llevarlo a realizar su mantenimiento adecuado.

Después de todo lo observado se proponen las siguientes ideas, las cuales, en conjunto pueden ayudar bastante a reducir los conflictos usuales durante la calibración de sistema, tanto en la búsqueda del hardware como en su manejo (en los casos donde aplica) o incluso mejorar la situación en general:

1. Tener un lugar o departamento asignado donde se lleve un control de donde están los tableros de calibración y el *Power Sensor*.
2. Hacer un solo maletín y así armar un kit formal de calibración (Tablero A, B y *Power Sensor*) para no tener que manejar 2 maletines.
3. Incentivar la detección de defectos en los equipos de calibración para evitar tener Hardware defectuoso con el cual realizar la calibración.
4. Tener programas de mantenimiento para los kits de calibración en un tiempo definido y llevar un registro de tales mantenimientos.
5. Implementar soluciones que existan en otras plataformas y hacer uso de ellas en FNX.

Para la idea propuesta número 5, se tiene un tablero de calibración automático para la plataforma FIT, la cual es una fusión de los tableros de calibración A y B con ayuda de *switches* de estado sólido para manejar un solo tablero, el cual se encuentra protegido por un chasis metálico para no dañar los componentes del tablero, y cuenta con un puerto externo para conectar directamente el sensor de potencia y no tener conflictos con cables defectuosos.

Este tablero funciona de forma automática, con lo cual se asegura una transición suave de la operación sin tener tiempos muertos o tener la oportunidad de fallas por parte del técnico debido a distracciones. Su operación está controlada con ayuda de un programa de prueba; un nuevo programa de calibración que se encarga de manejar todo el hardware del tablero junto con un archivo de compensaciones que se obtiene a partir de mediciones de un *Network Analyzer*, las cuales están adaptadas a cada tablero.

La opción a implementar fue la opción 5, dado a que presenta muy buenos resultados en la probadora FIT.

En la Figura 23 se muestra el diagrama eléctrico del tablero de calibración automático que se utiliza en los equipos FIT. Este diagrama se da a la tarea de realizar la función de ambos tableros de calibración A y B por medio de un control de *switches* de estado sólido (los rectángulos de color azul claro).

Es necesario seguir un procedimiento minucioso para su elaboración, puesto que los componentes de radiofrecuencia son muy sensibles a los ajustes mecánicos y a otros factores. Una vez colocados todos los componentes físicos y alambrarlos correctamente, se tiene que realizar unas mediciones de *Return Loss* por medio de un *Network Analyzer*. Dichas mediciones se guardan en un archivo de calibración propio para el tablero, el cual el Software GUTS se encargará de interpretar e implementar.

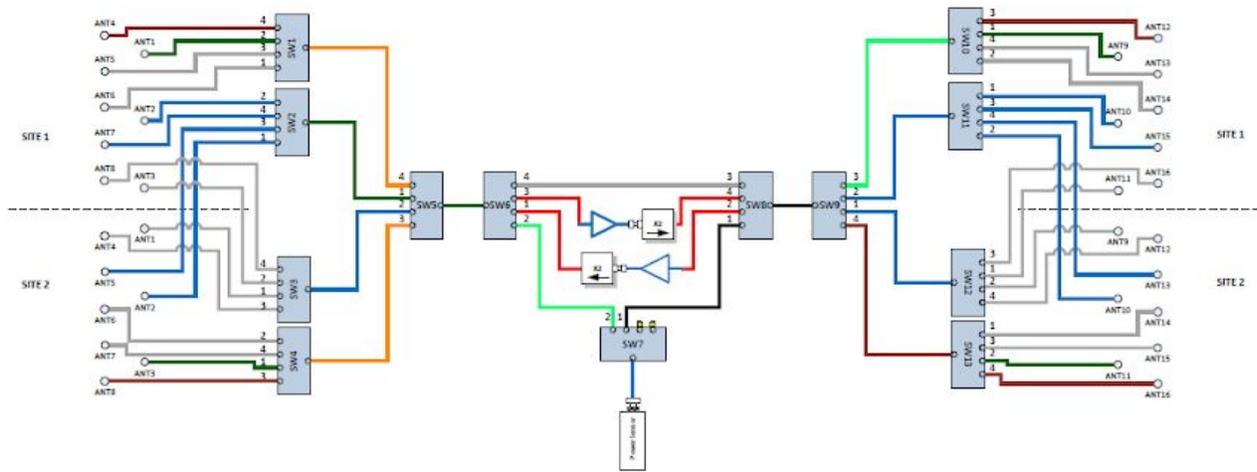


Figura 23. Diagrama eléctrico del tablero de calibración automático



Figura 24. Tablero de calibración automático armado y listo para probar.

Figura 24. Tablero de calibración automático armado y listo para probar.

En la Figura 24, se muestra una foto del tablero de calibración completamente armado siguiendo el diagrama eléctrico de la Figura 23. Para hacerlo compatible con la probadora FNX se tuvo que hacer un rediseño en la sección de control del tablero para hacerlo compatible con ambas plataformas (FIT y FNX), también el programa que se encarga de controlar el tablero sufrió varias modificaciones para detectar el tipo de probadora que se va a calibrar y realizar las configuraciones necesarias para ella.

Por cuestiones de privacidad con la empresa Skyworks, muchos detalles del proceso no pueden ser compartidos o son omitidos a propósito en esta publicación.

Resultados Fase Final

Durante la fase final, una vez implementados los cambios en el tablero mencionados en párrafos anteriores, dada la cantidad de limitada de tableros de calibración (solo se cuenta con un prototipo funcional) se procedió a probar durante dos semana en una cantidad controlada de *setups* (5 por día durante 10 días) para observar su funcionamiento y recibir retroalimentación por parte de los técnicos de *setup*.

La respuesta por parte de los técnicos fue favorable y se recibieron muchos buenos comentarios respecto al trabajo realizado. Con respecto al OEE del área de FAST se tuvieron los siguientes resultados

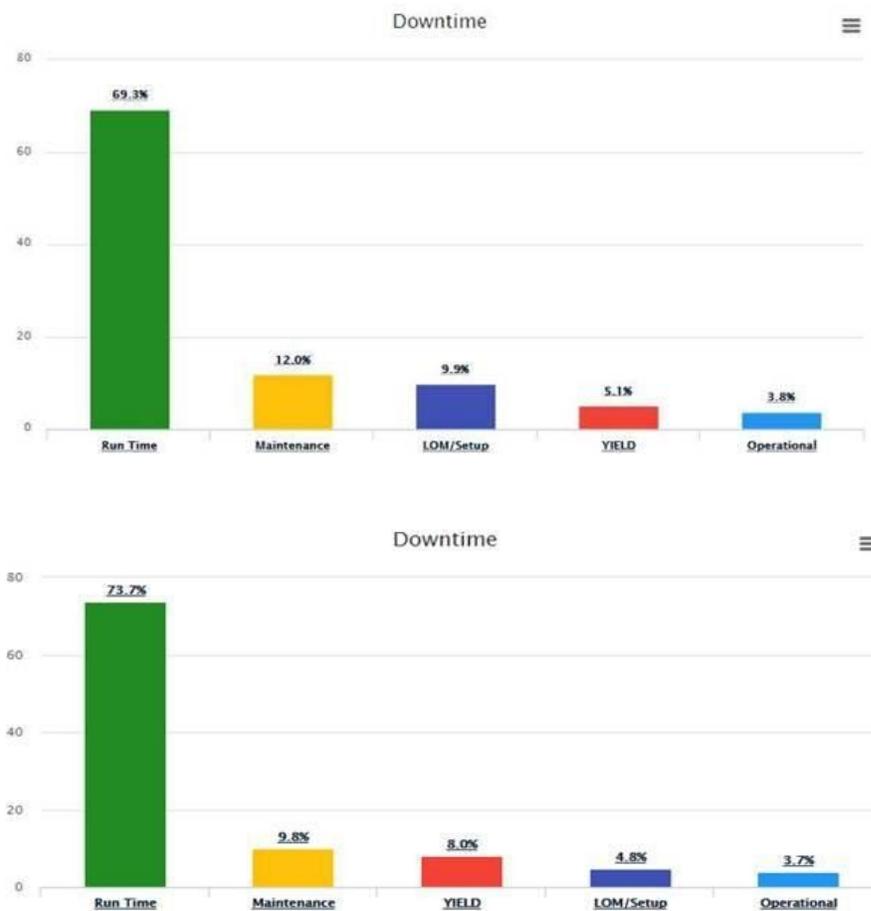


Figura 25. OEE después de implementar el tablero de calibración automático en un periodo de una semana.

En estas primeras graficas que se encuentran en la Figura 25, podemos observar que, durante estos días, el *drain* por LOM/*Setup* disminuyo en aproximadamente un 3 a 8% con respecto a los datos iniciales. Y haciendo un desglose de las proporciones de *Lack of Material* y de *Setup* mostradas en la Figura 26, encontramos que de un *drain* de 58.7 a 60% inicial constante, logramos bajar esta cantidad a un aproximado de 33 a 35%.

No solo eso, si no que el OEE general en el área de FAST presento una mejoría del 70 hasta el 73%, lo que representa un aumento del 1 al 5% con respecto a los datos iniciales.

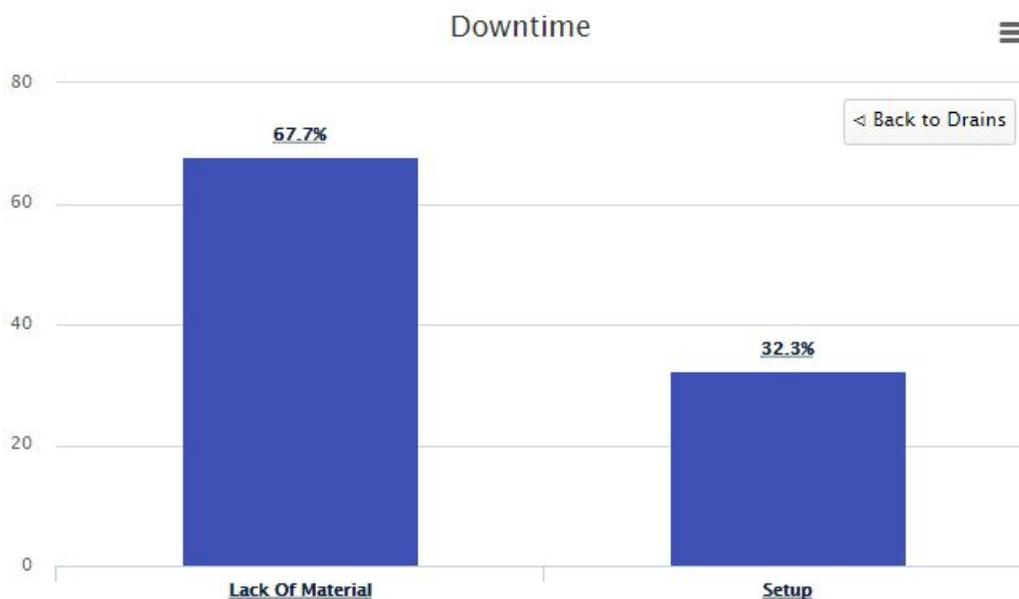


Figura 26. Desglose de downtime por LOM y por Setup, después de la implementación del bloque de calibración automático

Lo cual nos indica que hubo una mejoría en la actividad de realizaciones de *setup*, asunto que se puede verificar con los reportes del equipo de soporte de mantenimiento, quienes fueron los que nos proporcionaron los datos iniciales, quienes solo reportaron 2 eventos de re calibración de sistema, pero provocados por falla de instrumentos, no por fallas de tableros como había estado sucediendo en un 35% de los casos.

Capítulo 5: Discusión, recomendaciones y conclusiones

A lo largo del proyecto se encontraron varias áreas de oportunidad que hay que atacar para seguir mejorando en nuestro proceso de calibración durante los *setups*. Uno de ellos es actualizar toda nuestra documentación para hacerla vigente a las actuales probadoras, agregar o retirar los pasos que sean necesarios y entrenar al personal para que siga los procedimientos sin alterarlos de alguna manera.

En caso de requerir alguna alteración al procedimiento deberá ser necesario darle seguimiento con el equipo de Ingeniería de FAST para validar que el cambio sea correcto y que no vaya a causar algún futuro conflicto.

También se encontró que muchos de los problemas de calibración que se encuentran en el área no solo es debido a daños en el equipo de calibración si no daños en los instrumentos que tiene la probadora en sí, lo cual representa un problema grave, ya que no se pueden evitar este tipo de conflictos. Quizás sea necesario un programa de calibración más riguroso al actual para tratar de disminuir lo mejor posible esta cantidad de eventos.

En mientras se consigue la aprobación del nuevo tablero de calibración al área de FAST pueden seguirse las recomendaciones propuestas en el capítulo de resultados para asegurar un mejor estado de nuestros actuales kits de calibración.

Hay que oficializar un solo maletín el cual contenga el kit de calibración necesario (Tablero A, B y *Power Sensor*) como se realiza con el grupo de Ingeniería de FAST. Una vez armado, hay que asignar un lugar o a un departamento el cual lleve un control de estos nuevos kits, los cuales tendrán un programa de mantenimiento, en el cual se asegure el perfecto estado de los tableros y el sensor y no se vea comprometida la probadora por tableros dañados.

En caso de que este programa de mantenimiento no sea suficiente, incentivar a los técnicos de setup a tener una política de 0 defectos en su equipo de calibración, en

donde se recompense al técnico que encuentre algún tipo de problema o conflicto con su kit.

Como comentarios finales, hay mucho trabajo por hacer, dado que el 80% esperado de reducción no fue completamente posible de realizar dado al alto porcentaje de fallas provocadas por instrumentos dañados en las probadoras.

Este proyecto fue capaz de mejorar en aproximadamente un 35% de los casos de fallas de calibración de sistema por fallas de tableros, el cual tuvo un impacto positivo en las métricas de OEE del área de FAST (mostradas entre 1 al 5% de mejoría).

Hay que continuar trabajando para seguir mejorando cada vez más este proceso y tener cada vez menos re-trabajos de calibración de sistema hasta llegar al punto de que una calibración tenga una duración de por lo menos 6 meses sin tener que volverla a realizar, sin comprometer la integridad de la probadora FNX.

Referencias

- Albiz. (Abril de 2018). *NS8000*. Obtenido de <https://th.all.biz/handler-ns-series-g34260>
- Fluke Calibration. (s.f.). *Calibración de radiofrecuencia*. Recuperado el 26 de Febrero de 2018, de <https://la.flukecal.com/products/rf-calibration>
- Gregg, J., Takeya, T., & Syed, A. (2 de Diciembre de 2014). *Patente n° US 8903672 B2*. United States of America. Recuperado el 26 de Febrero de 2018, de Google Scholar:
<https://patentimages.storage.googleapis.com/86/61/47/75cef76a07362e/US8903672.pdf>
- Hayt, W. (2007). *Engineering Circuit Analysis*. McGraw Hill.
- Hewlett Packard. (2018). *HP*. Obtenido de <http://www8.hp.com/mx/es/home.html>
- IEEE. (19 de Abril de 2006). *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*. Obtenido de <http://emfguide.itu.int/pdfs/C95.1-2005.pdf>
- Keysight Technologies. (1 de Diciembre de 2017). *Calibrating Signal Paths in RF/Microwave Test Signals*. Recuperado el 28 de Febrero de 2018, de <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5989-3323EN.pdf>
- Multitest. (Abril de 2018). *LTX-Credence*. Obtenido de Multitest.com:
<http://multitest.com/news-events/archive/ltx-credence-launches-x-series-pax-ac-tester-advancing-next-generation-low-cost-rf-test/>
- Munro, R. A., Ramu, G., & Zrymiak, D. J. (2015). *The Certified Six Sigma Green Belt Handbook* (2nd ed.). (M. T. Meinholz, & P. D. O'Mara, Edits.) Milwaukee, Wisconsin, United States of America: ASQ Quality Press. Recuperado el Febrero de 2018
- National Instruments. (21 de Febrero de 2013). *Improving RF System Accuracy With Methodical Calibration Techniques*. Recuperado el 26 de Febrero de 2018, de <http://www.ni.com/tutorial/9864/en/>
- Prasad, R. P. (1997). *Surface Mount Technology Principles and Practice*. Springer.
- Rohde-Schwarz. (Octubre de 2010). *Determining the Reference Path Loss*. Recuperado el 28 de February de 2018, de https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manual_s/gb_1/d/dst200_1/DST200_Reference_Path_Loss_Measurement.pdf

- Semenov, O., Sarbishaei, H., & Sachdev, M. (2008). *ESD Protection Device and Circuit Design for Advanced CMOS Technologies*. Springer.
- Skyworks. (18 de Junio de 2011). *Manual de Referencia de FAST*. Obtenido de <http://skybaja/Portals/0/Depto.%20de%20Test/Manual%20de%20Referencia%20de%20FAST.pdf>
- Skyworks. (9 de Septiembre de 2017). *Material de inducción, procesos de manufactura y protocolo de vestimenta*. Obtenido de Skylink: <http://skyapps02/qsi/sys-mx/qs4reldc.nsf/alldocsurlview/mxf-2400?opendocument>
- Skyworks. (s.f.). *About Skyworks*. Recuperado el 28 de Febrero de 2018, de Skyworksinc.com: <http://www.skyworksinc.com/About.aspx>
- Skyworks. (s.f.). *Internet of Things*. Recuperado el 26 de Febrero de 2018, de Skyworks: http://www.skyworksinc.com/products_loT.aspx
- Software Integration. (2013). *Skyworks Solutions' Automatic Test Equipment Environment with Embedded Ch*. Retrieved from Software Integration: <https://www.softintegration.com/products/sdk/embedch/skyworks/>
- Teppati, V., Ferrero, A., & Sayed, M. (2013). *Modern RF and Microwave Measurement Techniques*. United States of America: Cambridge University Press.
- Texas Instruments. (Mayo de 2004). *AN-1126 BGA (Ball Grid Array)*. Obtenido de <http://www.ti.com/lit/an/snoa021c/snoa021c.pdf>