

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



“Reducción de Espesor de Aleación de níquel NiPdAu para PCB”

TESIS

Que para obtener el grado de:

Doctor en Ingeniería

Presenta:

Pedro Alberto Escarcega Zepeda

Director de Tesis

Dr. Benjamín Valdez Salas

Co-Director de Tesis

Dr. Nicola Radnev Nedev

Mexicali, Baja California

Abril de 2019

Dedicatoria

A Dios.

Por dame las fuerzas y serenidad en convertir este sueño de culminar mis estudios de doctorado.

A mis padres, **Pedro Escárcega y Modesta Zepeda** † (in memoriam 2010)

Gracias es una bendición el contar con su apoyo en el transcurso de mi desarrollo profesional siendo una forma de devolver, agradecer todo lo que han hecho por mí, Madre este logró es muy en especial, por el soporte de tu enseñanza es dedicado a ti, que desde donde estés te encuentres orgullosa de mí.

A mi familia.

A mi esposa, compañera y amiga, **Yanet Villarreal**, que con amor, simpatía y entendimiento logra mantener la unión sin importar los obstáculos que con lleva ser esposa de un ingeniero, hemos trabajado juntos laboral y familiarmente en este logró que es de toda la familia, dando ejemplo a nuestras hijas: **Mia Yanet y Mia Sofía** de la importancia de seguir sus sueños, estudios y el buen equipo que formamos en la vida, donde ellas representan una bendición y orgullo de sus padres.

Por el soporte y apoyo incondicional con su motivación e infinito amor demostrado que estamos juntos en cada una de las etapas de nuestra vida gracias.

Agradecimientos

El presente trabajo de tesis doctoral es resultado de un periodo de investigación donde el esfuerzo y dedicación la cual no hubiese sido posible sin la cooperación de todas y cada una de las personas que a continuación citaré:

Primeramente, muy especial a mi director de tesis **Dr. Benjamín Valdez salas**, por su calidad humana y conocimientos que han sido el soporte definitivo de esta etapa profesional, a mi co-director **Dr. Nicola Radnev Nedev** , por la confianza y el apoyo solidario brindado en el desarrollo de este proyecto, por ser muy pacientes y al mismo tiempo enérgicos. Que sin su apoyo esto no hubiese sido posible. Al **Dr. Mario Alberto Curiel Álvarez** por sus recomendaciones y tiempo. Al Ing. **Seth Greiner** por el apoyo dentro de la industria de semiconductores para la realización de las validaciones.

Mi agradecimiento a todos los involucrados en el programa de doctorado Finalmente y muy en especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la UABC mi alma mater.

Sinceramente,
Gracias

Contenido

Capítulo 1	Introducción	8
1.1	Estructura ENEPIG Ni (níquel) /Pd (paladio) /Au (oro)	8
1.2	Proceso Electrolítico (Electroless).....	17
1.3	Proceso Inmersión.	17
Capítulo 2	Procesos básicos para la preparación de las	
	Superficies ENEPIG Ni (níquel) / Pd (paladio) /Au	
	(oro).....	19
2.1	Proceso de limpieza.....	19
2.2	Soft Etch (Ataque Suave).....	19
2.3	Pre-dip. (Pre- immersion).....	20
2.4	Proceso electrolítico (Electroless), de níquel.....	22
2.5	Proceso electrolítico (Electroless), de paladio.	27
2.6	Inmersión de Oro por immersion.	28
2.7	Lavado (Rinsing).....	29
2.8	Secado (Drying).....	29
capítulo 3	Ventajas de la superficie ENEPIG (Ni (níquel) /Pd	
	(paladio)/Au (oro)	30
3.1	MTO (Metal turnover) tiempo de vida de los químicos	30
3.2	Características ENEPIG.....	31

Capítulo 4 Desarrollo Experimental en el Proceso de la Reducción del Espesor de Níquel en el tablero PCB35

4.1 Pruebas de Confiabilidad	35
4.2 Pruebas de Alambrado.	37
4.3 Pruebas de adherencia de Bola de Alambre	38
4.4 Inspección Visual de la apariencia de la superficie física del material.	40
4.5 Análisis de Superficie SEM/ EDX	42
4.6 Análisis XPS (Espectroscopia Foto electrónica de Rayos X).....	45
4.7 Respuesta de la señal de frecuencia basada en el espesor de níquel.	46
4.8 Mediciones de Espesor de Níquel en 3 lotes diferentes	50
4.9 Medición de espesor de Níquel en Piezas de una Misma tira.	52
4.10 Medición de Espesor de níquel en piezas de 3 diferentes lotes.	53
4.11 Medición de Espesor de níquel de tiras de un mismo Panel	54
4.12 Medición de Espesor de Níquel de tiras de diferentes lotes	55
4.13 Medición de Espesor de Níquel de Panel a Panel mismo Lote.....	56
4.14. Medición de Espesor de Níquel de panel a panel de diferentes lotes..	57
4.15 Medición de Espesor de Níquel de lote a lote.	58
4.16. Pruebas de Confiabilidad	59

Capítulo 5 Correlación Proveedor vs Cliente.....61

5.1 Equipo utilizado para Mediciones de Espesores en los tableros PCB	61
5.2 Mediciones de correlación.....	63
5.3 Pruebas de Alambrado.	64
5.4 Fabricación de muestras.	66
5.5 Elaboración del FMEA	67
5.6 Pruebas de certificación en producción.....	69

5.7 Reporte de Calificación de ThinNi Kinsus PCB	70
5.7.1 Información general	70
5.7.2. Documentos de Referencia dentro de la empresa.....	70
5.7.3 Documentos de apoyo	71
5.7.4 Descripción del producto y de la Información - SKY77704-15.....	71
5.7.5 Información del Bill de material	71
5.7.6 Información de Ensamble y tamaño del circuito	72
5.7.7 Requerimientos para la pruebas de confiabilidad	72
5.7.8 Pruebas de confiabilidad Board Level Reliability(BLR	73
Conclusiones	74
Conceptos	77
Actividades Extras	81

Resumen

En la actualidad hablar de mejora continua es también involucrar la reducción de costo de la materia prima sin sacrificar la calidad del producto o rendimiento, este proyecto de investigación se basa, como el principal objetivo en la obtención reducción de costo de un producto ya establecido como materia prima llamado PCB (Printed Circuit Board) basado principalmente en obtener la reducción del espesor de Níquel de una superficie de Tablero (Printed Circuit Board) ya existente denominada tecnología ENEPIG (Electroless Nickel Electroless Palladium Immersion Gold) el cual básicamente está compuesto de inicio de una capa como base de cobre terminando con una combinación (níquel) / Pd (paladio) /Au (oro), la cual es utilizada en la producción de semiconductores, el espesor actual de la capa de níquel en el material a utilizar en esta investigación como materia prima tiene una especificación actual de 2.5 a 7.5 micrones en el cual se busca reducirlo a valores que nos puedan proporcionar una reducción en costo al 2% y manteniendo un producto que dé resultados de confiabilidad al mismo nivel del actual material o mejor.

Los PCB (Printed Circuit Board) son con mucho al día de hoy el método más común de montaje moderno en los circuitos electrónicos, manteniendo una estructura tipo sándwich de una o más capas aislantes y una o más capas de cobre las cuales manejan las señales y tierras del circuito. El diseño de los PCB's puede ser tan exigente como el mismo diseño de un circuito impreso, en la actualidad hablar de PCB (Printed Circuit Board) es constar de múltiples capas que pueden llegar a tener en conjunto hasta 8 en un mismo PCB. Tradicionalmente a estos PCB (Printed Circuit Board) se les montan los componentes (capacitores, resistores, bobinas) en los procesos de SMT (del inglés surface-mount technology, tecnología de montaje superficial o en superficie,)

Dadas las demandas de requerimientos de reducción de costos que se han presentado y son de aspecto fundamental para una empresa y se han visto incrementando en los últimos años, convirtiéndose en una constante actividad para ingenieros que buscan una mejora e innovación de los procesos con el principal

objetivo de la reducción de costos y mejor uso del producto que permita que la empresa tenga mejor rendimiento.

Basado en esto se trabajó con el proveedor del material ,visitando su fábrica y conociendo a detalle su proceso de fabricación de los PCB lo cual permite tener una visión más clara sobre las variables que se controlan y porque, ya que al fabricar las primeras muestras con un espesor de níquel ya reducido fue posible conocer más a detalle la fabricación del material en la planta del proveedor de los tableros ubicado en Taiwán ,el cual durante el periodo de esta investigación fue posible visitarlo tres veces .

Las muestras fabricadas fueron validadas mediante mediciones de espesores utilizados equipos de XRF y hacer pruebas de adherencia con alambre de oro de 20 micrones utilizando equipo especial para alambrado de circuitos integrados donde no se presentaron fallas

Capítulo 1

Introducción

1.1 Estructura ENEPIG Ni (níquel) /Pd (paladio) /Au (oro).

Las superficies de los Tableros PCB (Printed Circuit Board), pueden subdividirse en metálico y acabados orgánicos. El material con el que damos inicio a esta investigación, es mediante la utilización de la superficie con las combinaciones metálicas que parte de una superficie de cobre terminando con una combinación Ni (níquel) / Pd (paladio) /Au (oro) en ese orden llamada tecnología ENEPIG, esta combinación de metales es ya utilizada en la mayoría de los productos en la Industria de los semiconductores.

Productos con la combinación de superficie Ni(níquel) y Au(oro) ENAG fueron cambiados a la tecnología Ni(níquel)/ Pd (paladio) /Au (oro) ENEPIG donde en ambos ya el espesor de níquel está establecido en los valores de 2.5 a 7.5 micrones referencia documento IPC4646, y es sobre esta capa de metal de níquel es donde será el enfoque principalmente en reducir su espesor.

Este tipo de superficie en los tableros PCB manejada como ENEPIG es conocido como la superficie universal ya que tienen una versatilidad de aplicaciones en la industria, hoy en día se puede realizar el proceso de alambrado y/o conexión utilizando alambres de oro, aluminio y cobre-paladio este último utiliza el paladio sobre el cobre como protección de la oxidación Las tablas 1 y 2 muestran las características principales de la estructura del alambre de oro y cobre utilizados en la empresa.

Al hablar de los alambres estos requieren cierto cuidados, manipulación y almacenamiento, para evitar daños al retirar carretes de contenedores de transporte. Los carretes que contienen el alambre deben de estar almacenados en una posición horizontal. El entorno de almacenamiento

debe estar libre de hidrocarburos, en un área seca, libre de polvo y mantenidas a una temperatura entre 20 a 26 °C (68 a 78,8 °F) y humedad relativa del 32 al 65%.

El alambre debe ser utilizado en una primera entrada, primera salida del sistema de control de material (FIFO) y no almacena más de cuatro meses. No coloque los dedos en el alambre, esta práctica no sólo introduce contaminantes, puede perjudicar alambre.

El tablero PCB ENPIG tienen como base una superficie cobre sobre ella es agregada capa de níquel como protección que hace la interfaz la cual es agregada mediante proceso electrolítico, a la cual le sigue una capa de paladio agregada de la misma forma con el proceso electrolítico, y al último cuanta con una capa de oro que es mediante proceso llamado inmersión de oro, estos son los procesos principales, lo que se obtiene una superficie confiable para el proceso de alambrado y/o conexión .

Primary Material	99.9% Gold	99.99% Gold	99.999% Gold	99.999% Gold	99.999% Gold	99.999% Gold	99.9% Gold	99.9% Gold	99.9% Gold	99.9% Gold
Diameter (um)	25.00 ± 1.25	25.00 ± 1.25	30.00 ± 1.25	25.00 ± 1.25	30.00 ± 1.25	0.00150 ± 0.00003 in	25.00 ± 1.25	20.00 ± 1.25	25.00 ± 1.25	20.00 ± 1.25
% Elongation	3.0 to 7.0	2.0 to 6.0	2.0 to 7.0	2.0 to 7.0	2.0 to 7.0	2.0 to 7.0	2.0 to 7.0	2.0 to 7.0	2.0 to 7.0	2.0 to 7.0
Tensile Strength / Break Load (grams) ¹	9 to 15	10 to 15	14 min.	9 to 14	14 min.	23 to 33	8 min.	4 to 8	8 min.	4 to 8
Stress Relieved	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Iron (Fe)	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm
Copper (Cu)	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 300 ppm	≤ 300 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm
Magnesium (Mg)	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm
Lead (Pb)	N/A	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Silver (Ag)	≤ 10 ppm	≤ 30 ppm	≤ 30 ppm	≤ 10 ppm	≤ 10 ppm	≤ 10 ppm	≤ 10 ppm	≤ 10 ppm	≤ 10 ppm	≤ 20 ppm
Beryllium (Be)	≤ 2 ppm	≤ 10 ppm	≤ 10 ppm	≤ 2 ppm	≤ 2 ppm	≤ 12 ppm	≤ 2 ppm	≤ 2 ppm	≤ 2 ppm	≤ 2 ppm
Calcium (Ca)	≤ 100 ppm	≤ 30 ppm	≤ 30 ppm	≤ 90 ppm	≤ 90 ppm	≤ 90 ppm	≤ 30 ppm	≤ 30 ppm	≤ 30 ppm	≤ 40 ppm
Palladium (Pd)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	≤ 300 ppm	≤ 300 ppm	≤ 300 ppm	100 +/- 5 ppm
Platinum (Pt)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	≤ 300 ppm	≤ 300 ppm	≤ 300 ppm	≤ 300 ppm
Silicon (Si)									< 5 ppm	< 5 ppm
Other	≤ 200 ppm	≤ 100 ppm	≤ 100 ppm	≤ 100 ppm	≤ 100 ppm	≤ 100 ppm	≤ 1000 ppm	≤ 1000 ppm	≤ 1000 ppm	≤ 1000 ppm

Tabla 1: Características de alambre de Oro

Primary Material	99.99% Copper	99.99% Copper
Diameter (um)	20.00 +/- 1.00	37.50 +/- 1.00
% Elongation	11 to 17	10 to 20
Wire Hardness (core) ¹	95 to 105 HV0.01/5s	95 to 105 HV0.01/5s
Break Load (grams)	4 to 10	15 to 35
Grain size (um) ¹	2 to 4	2 to 4
Palladium (Pd) Coating (wt %)	1.3 to 2.9	1.3 to 2.9
Silver (Ag) in Pd	≤ 20 ppm	≤ 20 ppm
Iron (Fe) in Pd	≤ 15 ppm	≤ 15 ppm
Nickel (Ni) in Pd	≤ 10 ppm	≤ 10 ppm
Manganese (Mn) in Pd	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm
Silver (Ag) in Cu	≤ 12 ppm	≤ 12 ppm
Iron (Fe) in Cu	≤ 5 ppm	≤ 5 ppm
Nickel (Ni) in Cu	≤ 2 ppm	≤ 2 ppm
Manganese (Mn) in Cu	≤ 3 ppm	≤ 3 ppm
Other in Cu	≤ 100 ppm	≤ 100 ppm
Shelf Life (months) (sealed)	6	6
Floor Life (days) (unsealed)	28	28
Shielding Gas ¹	N ₂ or N ₂ H ₂	2 or N ₂ H ₂

Tabla 2: Características de alambre de Cobre.

Al hablar de superficies en los tableros PCB , también está relacionado en el tamaño en cuanto al espacio que se ocupa, tomando en cuenta las características de espesor de cada capa de material usado, estos nos da como resultado un impacto directo en la utilización de espacio en el circuito a ensamblar, debido que al no ocupar o no tener más material relacionado a espesores de cada material utilizado en la fabricación de tableros, esto hace que los espacios sean un punto importante en la etapa de diseño de los tableros PCB .

La figura 1, muestra un ejemplo de lo que significa espacios en las capas de los tableros PCB , al momento de tener un material con mayor espesor, esto es al tener más metales en las superficies que están relacionados con espesores hace que tengas menos espacio disponible para diseño, es ahí donde entra el enfoque de esta investigación, con el objetivo de reducir el valor del espesor de níquel utilizando la tecnología tablero PCB a un valor que no se ponga en riesgo la emigración del cobre a la terminación de la superficie y así evitar el proceso de oxidación que dañaría la superficie y poner en riesgo la confiabilidad del producto.

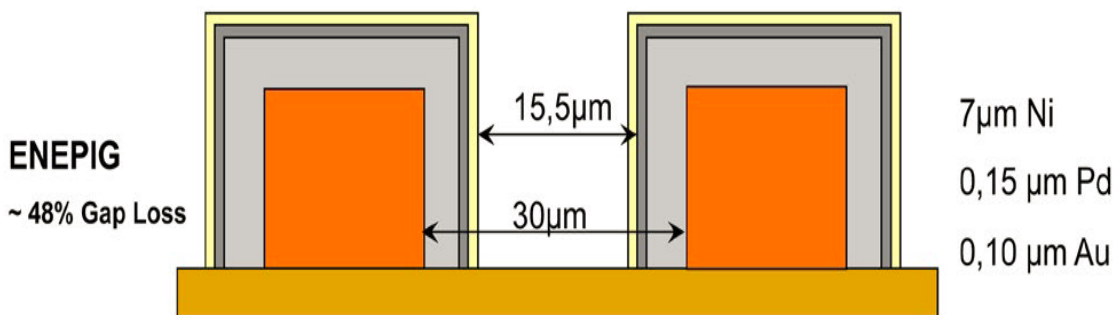


Figura 1: Mostrando un espesor de níquel de 7 micrones en un tablero PCB ENEPIG.

Que efecto tendría la reducción de espesor del níquel relacionado a espacio en el tablero, ejemplo en la figura 2, tenemos un valor de 1 micrón, en la capa de espesor del metal de níquel, nos dará más espacio en el diseño del material que permita que se pueda agregarle más elementos y eso dé como resultado hacer más delgados los tableros.

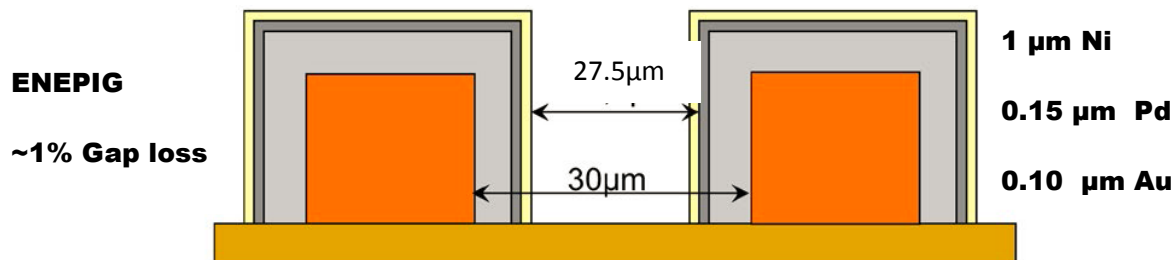


Figura 2: Mostrando un espesor de níquel de 1 micrón en un tablero PCB ENEPIG

Con la continua demanda de sistemas electrónicos y subsistemas con más funcionalidades, mayor rendimiento, a un menor tamaño al menor costo, el sistema en paquete de módulos (SIP System in Packages) han crecido rápidamente en los últimos años como una solución alternativa al sistema en chip (SoC: System on chips).

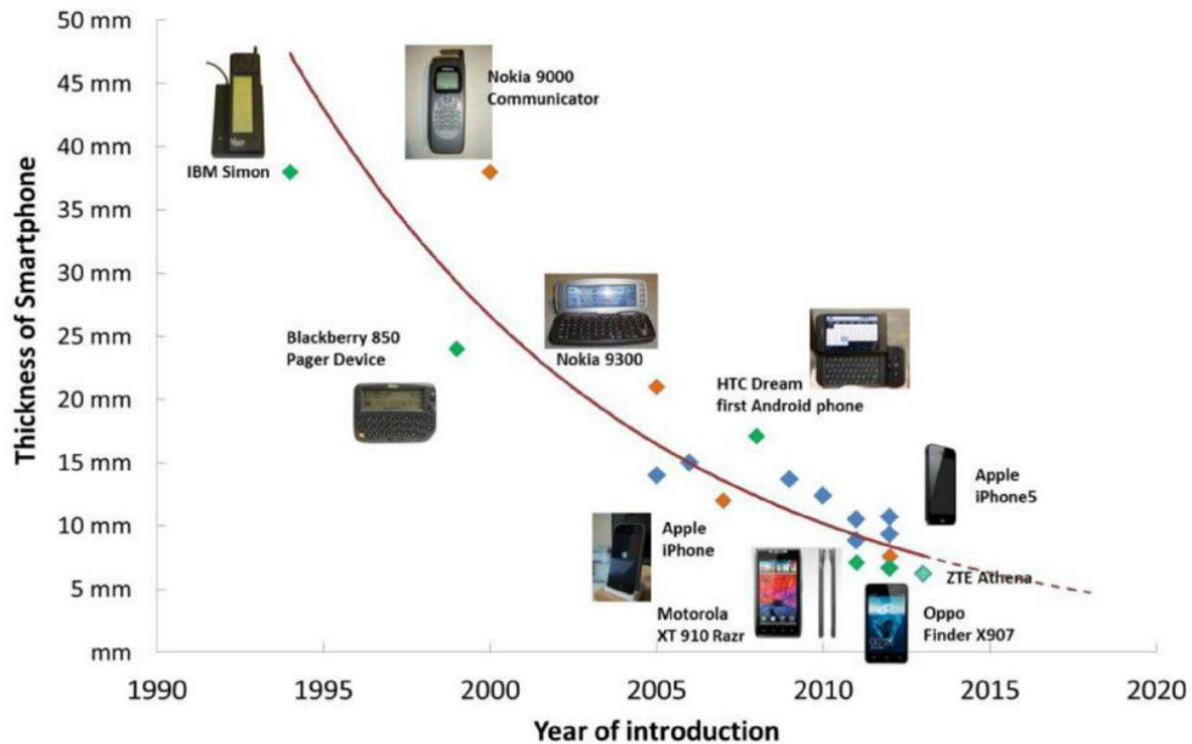
Como plataforma de tecnología los SIP permiten un alto grado de flexibilidad en la arquitectura paquete, particularmente para aplicaciones de radio frecuencia (RF). Al combinar ambas RF-SIP son una tecnología que su enfoque y uso principal es la comunicación inalámbrica y acceso a los datos, lo que permite la integración de los circuitos integrados digitales (CI), Al reducir el espesor de la capa de níquel se puede pensar a la par que podemos dar más áreas disponibles en la etapa de diseño en el mismo espacio tal como se muestra en la Figura 3.



Figura 3: a) Estructura tablero PCB ENEPIG, b) Estructura tablero PCB ENEPIG Con una capa de níquel reducido como objetivo de esta investigación.

Debido a ello se consideró pensar en la reducción de espesor de la capa níquel en los tableros, llevando también a la reducción del espesor total del tablero, ya que siempre se observa que la siguiente generación de tecnología exigirá indudablemente tableros más delgados para reducir el espesor final del producto nuevo, lo que ha sido el mayor de los retos en el diseño y fabricación de tableros PCB , en la Figura 4, se muestra la tendencia en la reducción de tamaño usando de ejemplo los teléfono inteligentes (Smartphone), como han cambiado de dimensiones desde el primer teléfono

manejado como Inteligente por IBM (International Business Machines), llamado Simón donde su espesor era de 40 mm, donde hoy en día el espesor de los teléfonos se ha reducido en un factor de 6X (600% de reducción = 6 veces de su tamaño inicial), donde hoy en día existen teléfonos entre los 7 mm , para poder lograr esto un punto importante es la reducción de espesor de los tableros PCB que se convierte en la necesidad principal. Por ello en la competencia en costos se busca que sean utilizados material o materiales alternos con menor espesor o que ocupen menos espacio, Figura 5.



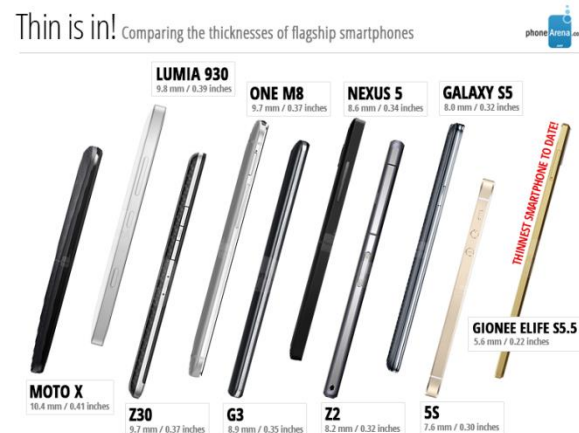
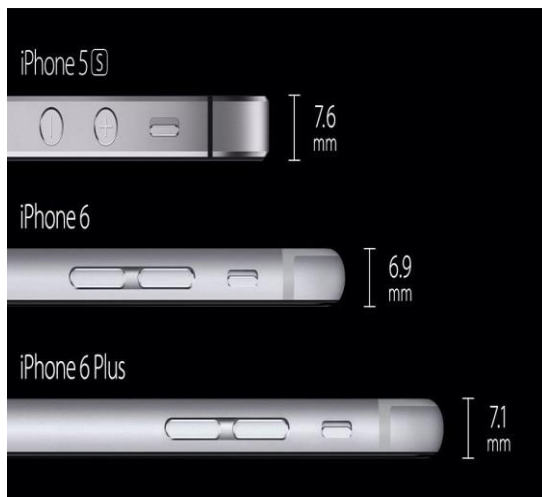


Figura 4: Tendencias de la reducción de espesores de teléfonos inteligentes (Smartphones) siendo el más delgado de 5.6mm

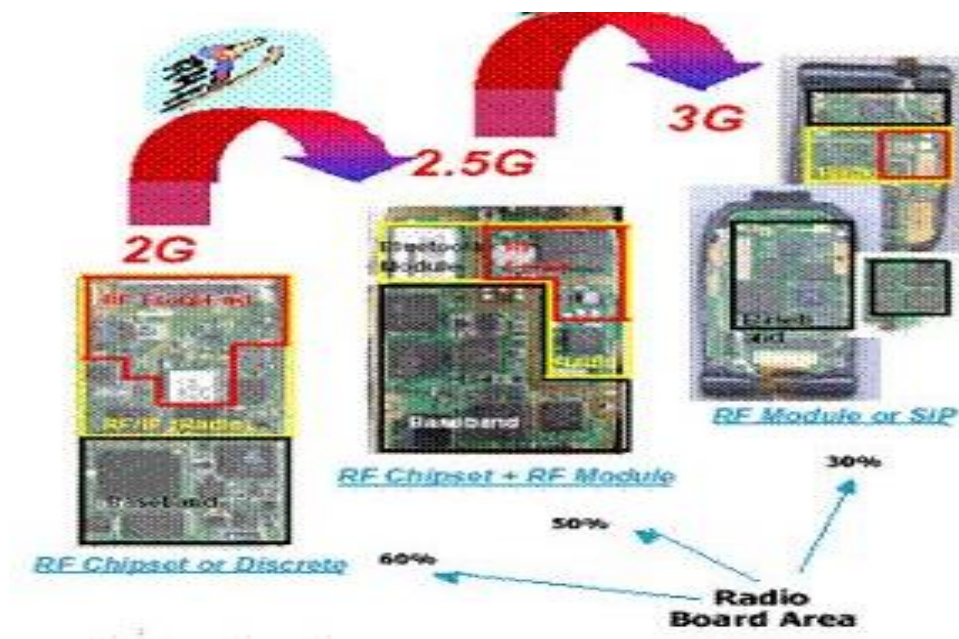


Figura 5: Muestra tendencia de reducción de espacio.

Hoy en día es muy común que en las actividades laborales y/o personales se dé el uso de los teléfonos inteligentes y las tabletas como apoyo, lo que está llevando al uso de más datos que requieren capacidades de alta frecuencia y debido a las necesidades actuales y los cambios rápidos de la tecnología continuara expandiéndose, respecto a lo que ya se sabe en las propiedades del níquel usándose con un espesor base sobre una capa de cobre en el tablero PCB esta capa se vuelve critica en altas frecuencias, el níquel tiende a tener una pérdida de la propagación de la señal.

Cuando hablamos de espesores de níquel en los valores a los 7 micrones, está comprobado que la señal pasara sobre el material, pero definitivamente el níquel no es mejor conductor que el cobre y al pasar la señal de frecuencia esta es disminuida, y es ahí donde el espesor del níquel es una parte importante en una superficie de tablero con las capas de Ni (níquel) /Pd (paladio) /Au (oro) ENEPIG.

Donde se da inició la actual investigación en la obtención de un tablero con una superficie: Ni (níquel) / Pd (paladio) /Au (oro) ENEPIG con una capa de níquel reducido- ThinNi, si vemos que el comportamiento de frecuencias del níquel va relacionado con su espesor. Para mayor referencia pagina 17, Punto 3.9, High Frequency Signal Loss en el documento: Specification for Electroless Nickel / Electroless Palladium / Immersion Gold IPC-4556.

La estructura ENEPIG es formada por 3 procesos secuenciales: Ni(níquel) electrolítico, Pd(paladio) electrolítico y la inmersión de Au(oro).

1.2 Proceso Electrolítico (Electroless)

Es el proceso químico que promueve la unión sostenida de un metal sobre otro en este caso, para el tablero PCB que usamos empieza con un base de cobre, que mediante una reacción química sin la aplicación de un potencial eléctrico externo, permiten que exista una liberación de electrones que inmediatamente reducen los iones metálicos cargados positivamente, que hace que se haga la deposición en el tablero PCB para efectos de la investigación es en la capa Ni (níquel) pero este mismo proceso es usado para la capa de Pd (paladio), ya que el tablero PCB es tecnología Superficies ENEPIG Ni (níquel) / Pd (paladio) /Au (oro), que es la superficie utilizada, este tipo de reacción se describe como auto catalítica, la parte critica es que al ya estar cubierta toda la superficie por el metal que se quiere adherir, el proceso de deposición continuara y seguirá aumentando la presencia de iones hasta ser retirado del químico, todo depende de ciertos factores críticos: temperatura del baño en donde se encuentra el químico, la solución de PH (Medida de acidez o alcalinidad de una disolución), y el espesor del material es normalmente controlado por el tiempo en el tanque del químico.

1.3 Proceso Inmersión.

Este proceso químico utiliza una reacción de desplazamiento químico para depositar una capa de un metal sobre una superficie de metal base. En esta reacción el metal de base (cobre), da la liberación de los electrones que reducen la carga de los iones positivos de la segunda capa de metal (níquel), presente en solución.

Impulsado por la diferencia de potencial electroquímico, los iones metálicos presentes en la solución (por ejemplo, iones de oro en proceso ENEPIG se depositan sobre la superficie del tablero PCB, desplazando al mismo tiempo iones de la superficie de metal en la solución.

Este tipo de reacción se describe como "auto-limitante", porque una vez que el metal de base se cubre con una capa continua del material que se encuentra depositado, ya no existe una fuente de electrones y la reacción cesa.

Capítulo 2

Procesos básicos para la preparación de las Superficies ENEPIG Ni (níquel) / Pd (paladio) /Au (oro).

La fabricación de un PCB con esta superficie empieza con una base de cobre, la cual debe de tener un control de estar limpia, no debe de haber ningún residuo orgánico en la superficie es esa la razón que el proceso inicial es limpieza como se muestra en los siguientes puntos.

2.1 Proceso de limpieza.

El propósito de este proceso es que la superficie de cobre que es la base principal de los Tableros PCB, sea preparada para agregársele una capa de metal, para ello debe de quedar libre de cualquier oxidación o contaminantes lo cual permitirá que la superficie este en las condiciones óptimas de ser uniformemente para el siguiente proceso Soft Etch (proceso de gravado o ataque suave), esto es que no debe de ver ninguna huella sobre la superficie.

2.2 Soft Etch (Ataque suave).

En este proceso se produce que la superficie sea uniforme lo cual cambia la estructura del cobre en la superficie basado en la eliminación de una parte de la capa para la preparación de la adherencia de la siguiente capa, Figura 6, con ellos se logra obtener una mejor adherencia del níquel que es la primer capa al agregarse a la superficie de cobre, después de este proceso al ser un oxidante fuerte debe ser completamente enjuagada, si no se realiza el enjuague todos los pequeños residuos pueden llegar a que

contaminen la superficie y no se tenga una buena adherencia de las capas de níquel o paladio.

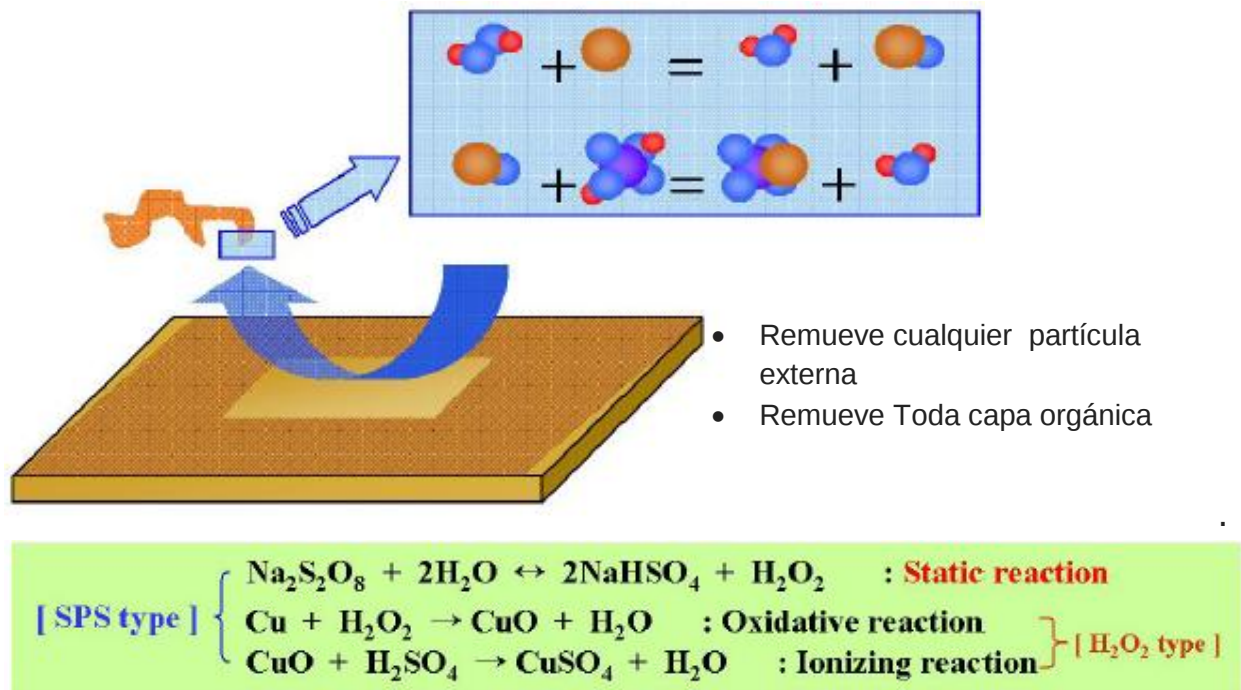


Figura 6: Proceso de Micro/soft Etch (preparación de la superficie).

2.3 Pre-dip (Pre inmersión).

Este proceso mostrado en la Figura 7, es para eliminar cualquier rastro de oxidantes que se pudo quedar atrapado en los pequeños espacios, se establecen las bases en la superficie en la que el níquel y el paladio serán depositados, la base de este químico es ácido sulfúrico H_2SO_4 pero también está compuesto de una parte de paladio junto con el ácido en donde los iones del paladio en solución serán mezclados en la superficie de metal del cobre, esta es una reacción de inmersión y se basa en la transferencia de electrones.

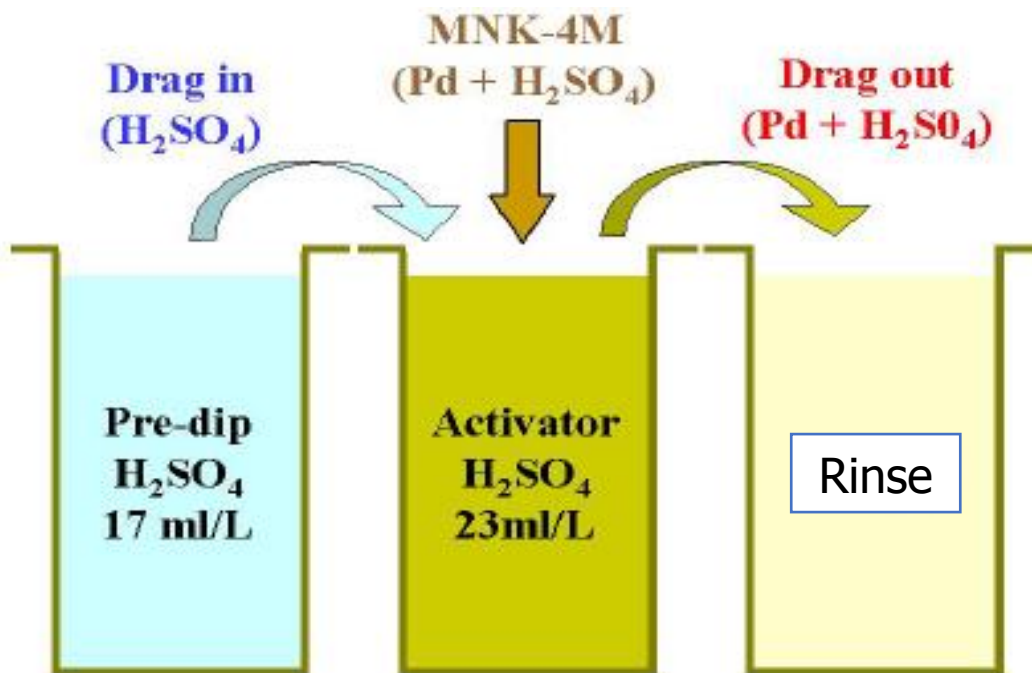


Figura 7. procesos para eliminar cualquier rastro de oxidantes que se pudo quedar atrapado en los pequeños espacios

Cualquier residuo que quede en la superficie del sustrato Cu, interferirá con la transferencia de electrones y podría evitar que el Pd de inmersión en el cobre. En esas condiciones la carga parcial en la plataforma adyacente no permitirá que el de inmersión de deposición del ion Pd (paladio), donde eventualmente dará lugar a que no se pueda realizar la adherencia de la capa de níquel lo cual genera un problema en la superficie.

2.4 Proceso electrolítico (Electroless), de níquel.

El propósito de este proceso Figura 8, es que sea depositada la cantidad requerida de níquel sobre la superficie, este es mediante la introducción del tablero en un tanque donde se encuentra el químico de níquel y este empezara a generar la reacción para que el espesor de níquel sea el adecuado para cubrir el cobre con un revestimiento sustancialmente libre de poros, para crear una barrera de difusión y de esta forma evitar la migración de cobre a la superficie, con ello se obtienen una superficie soldable, dependiendo de la aplicación que se le quiera dar.

La materia en el tanque manejado como el químico de níquel tiene una tasa relativamente alta de deposición y sus componentes químicos activos deben mantenerse en equilibrio sobre una base continua, mediante la adición de componentes de reposición apropiadas. Este proceso electrolítico de níquel típicamente funciona a altas temperaturas y basado en el tiempo de permanencia en el tanque se logra conseguir el espesor requerido sobre el material y es aquí donde enfocaremos la investigación, a que valores de espesor podemos reducir esta capa de níquel sin que sea cambiado la funcionalidad del material. Por tanto, es importante asegurarse de que el tablero PCB, sea usado correctamente enfocado a las características principales:

- Tener una capa uniforme sobre la superficie.
- Prevenir o evitar que el cobre quede expuesto al oxígeno para evitar una oxidación esto es que no debe de emigrar a la superficie.
- Realizar una capa sobre el cobre, para que no exista una difusión con el paladio como siguiente capa de material a agregar.

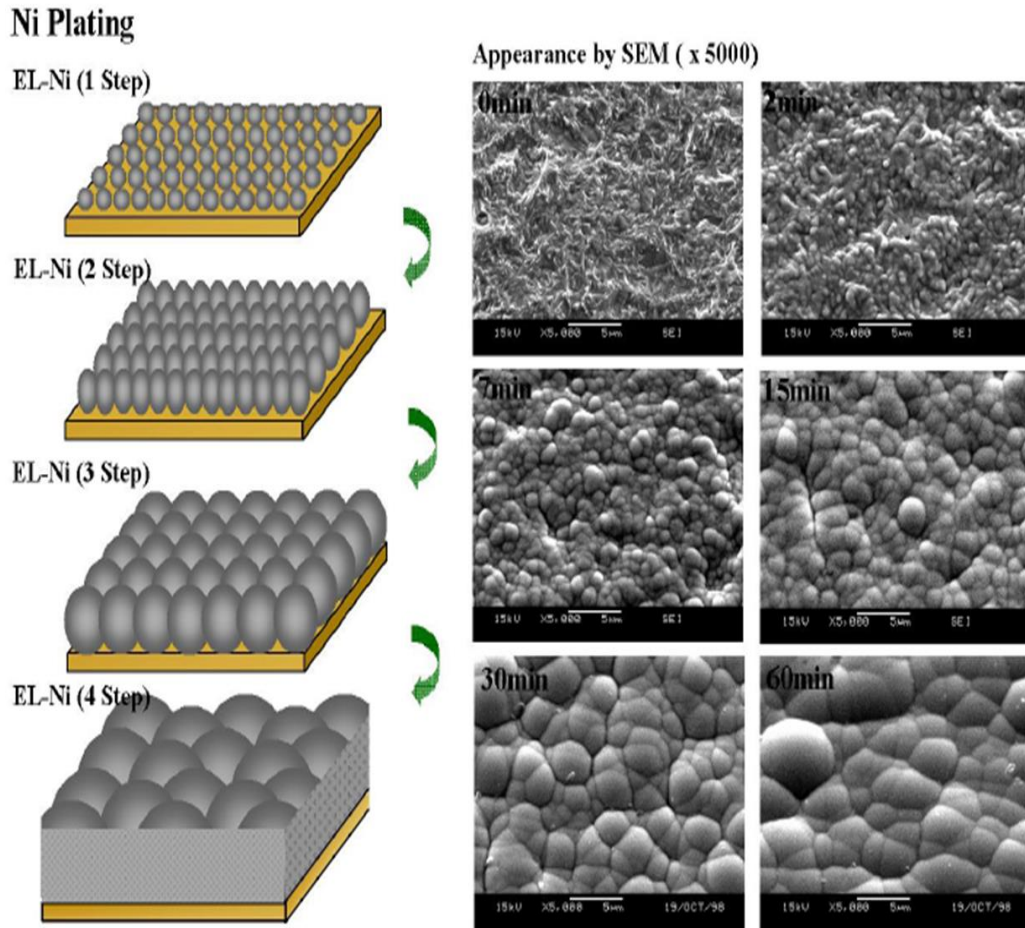


Figura 8: Proceso electrolítico (Electrolisis), de níquel Etapas en las que la capa de níquel va cubriendo la base de cobre de un tablero PCB.

La idea al agregar la capa de níquel, es evitar que no exista ningún tipo de oxidación o corrosión Figura 9, ya que esto hace que se genere una falla en la fabricación del material y pueda ocasionar riesgos del alambrado o falla en el cliente final.

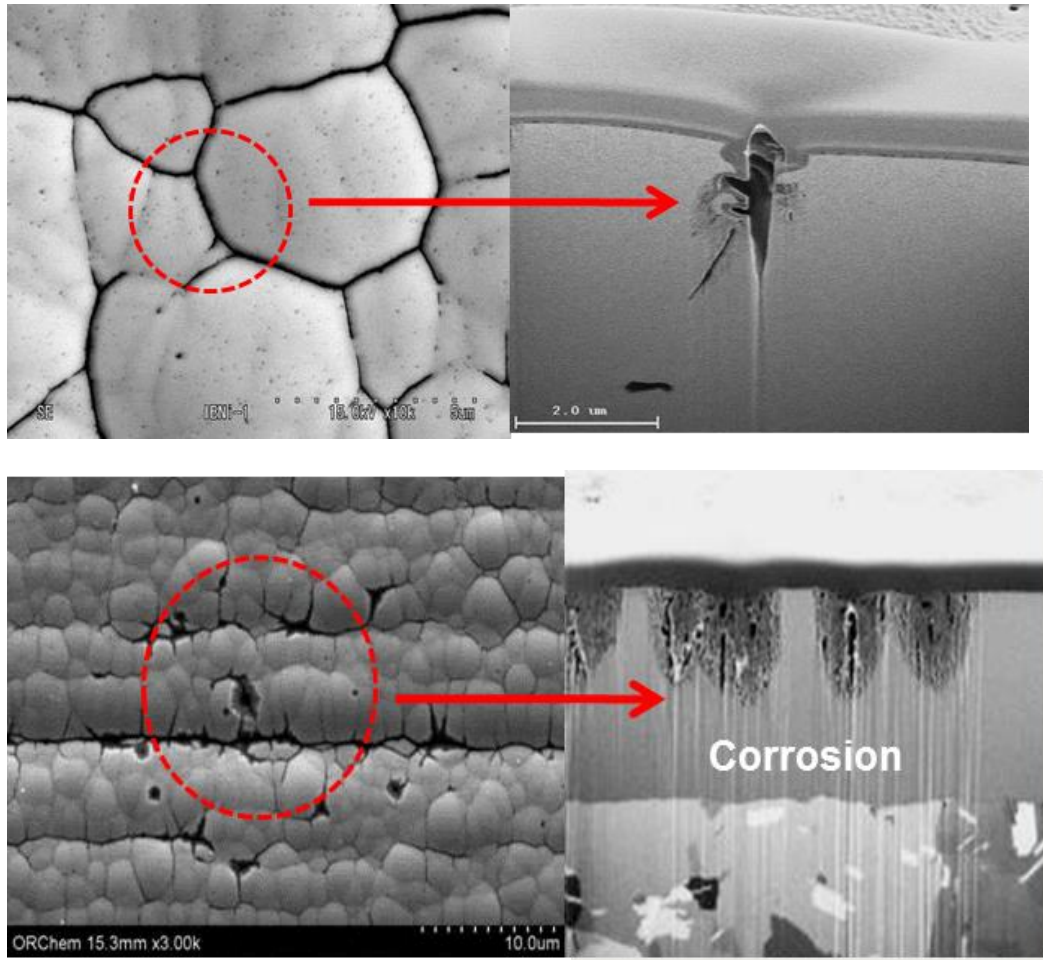


Figura 9: Ejemplos de oxidación y /o corrosión en el tablero.

La tabla 3, muestra los procesos químicos para la estructura ENEPIG Ni (níquel) / Pd (paladio) /Au (oro), donde el enfoque será en el **proceso electrolítico (Electrolisis) de níquel**, el actual espesor de la capa de níquel es de 2.5 a 7.5 micrones, y se busca poder reducirlo usando este mismo proceso mediante diseños de experimentos manejando las variables de tiempo en el tanque como parte crítica. La Figura 10, muestra la forma física de una línea de producción de la estructura ENEPIG.

	TYPE	Normal ENEPIG		Thin Ni ENEPIG	
	Process	Chemical	W.T(min)/Temp(°C)	Chemical	W.T(min)/Temp(°C)
1	Pretreatment	SFT-1	10 / R.T	SFT-1	10 / R.T
2	Acid Cleaner	TLA-33	5 / 50	TLA-33	5 / 50
3	S/E	Oxone	0.6 / 30	Oxone	0.6 / 30
4	Acid	60% H ₂ SO ₄	1 / 30	60% H ₂ SO ₄	1 / 30
5	Pre-dip	60% H ₂ SO ₄	1 / 25	60% H ₂ SO ₄	1 / 25
6	Activator	ATS-1	2 / 32	ATS-1	2 / 32
7	POST DIP	ABT-1	1 / R.T	ABT-1	1 / R.T
8	EL Ni	MPN-5D	30 / 83	MPN-7D	??????
		D agent (Stabilizer)	1~7ml/l (0.5ppm)	D agent (Stabilizer)	???????
9	EL Pd	MPN-6M	10 / 51	MPN-6M	10 / 51
10	EL Au	WAD-5M	10 / 79	WAD-5M	10 / 79

Tabla 3: Procesos químicos para la estructura ENEPIG
Ni (níquel) / Pd (Paladio) /Au (Oro).



Figura 10: Línea de producción de proceso de tableros ENEPIG.

2.5 Proceso Electrolítico (Electroless), de paladio.

En este proceso básicamente se deposita el espesor deseado de la capa de paladio sobre la capa de níquel Figura 11 ya agregada en el proceso anterior del tablero PCB, el espesor de paladio debe de ser el adecuado para poder obtener una superficie que pueda ser alambrarle, se compone principalmente de una fuente de iones de metal de paladio y un agente reductor, este tanque con el químico de paladio requiere la reposición de todos sus componentes para mantener su actividad por lo que es crítico el monitoreo de las condiciones que van desde la temperatura, tiempo de vida del químico en el tanque, agitación y sobre todo las condiciones químicas de la solución en uso, en el tanque para poder asegurar una buena adherencia y el espesor deseado en la capa del tablero PCB.

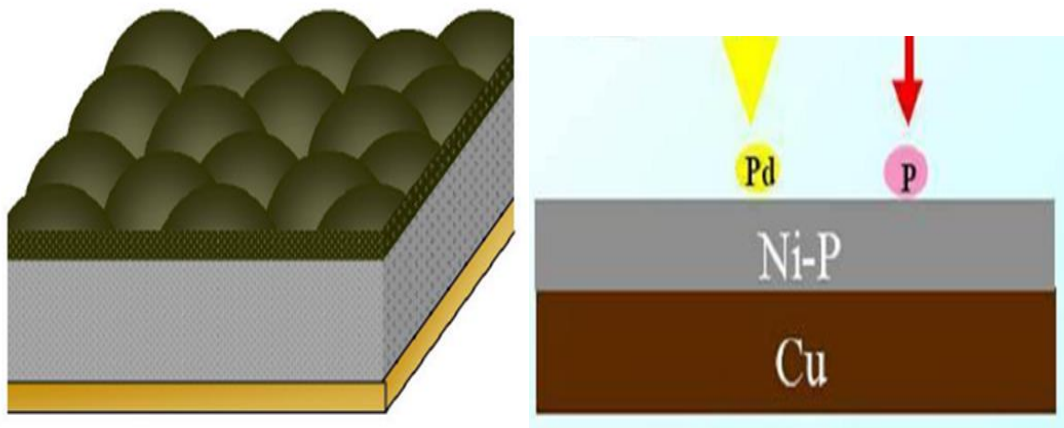


Figura 11: Proceso electrolítico (Electrolisis), de paladio.

2.6 Inmersión de Oro.

El propósito de este proceso es depositar en forma constante una capa delgada de oro Figura 12. Esta capa protegerá las capas de la oxidación a las capas ya adheridas anteriormente tales como de níquel y paladio. Y sobre todo esta será la superficie de contacto principal, este proceso normalmente corre a temperaturas altas (180-190 °C).

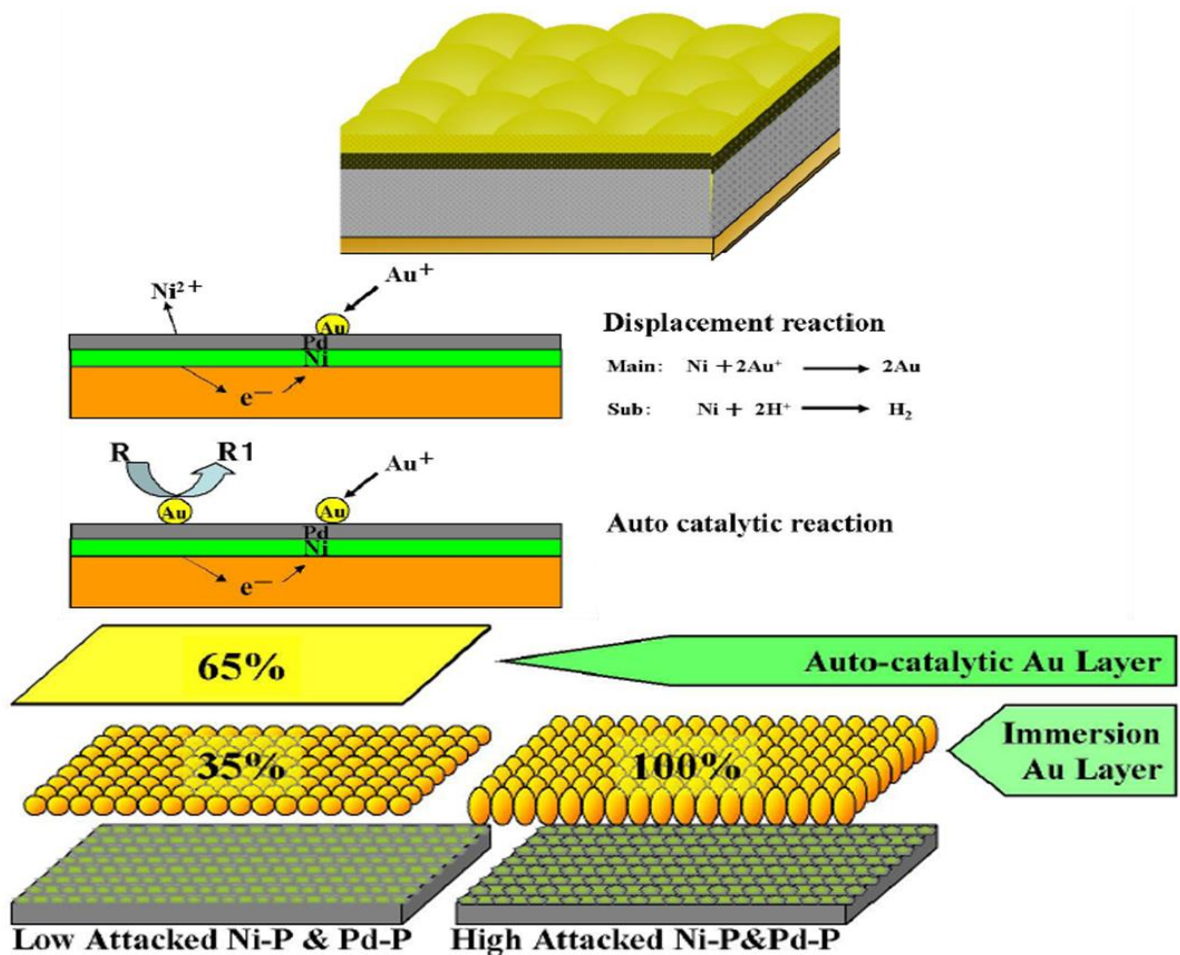


Figura 12: Proceso inmersión de Au (oro).

2.7 Lavado (Rinsing).

Este propósito de este proceso básicamente es remover cualquier residuo químico en la superficie del tablero PCB, tanto puede aplicarse una sola vez o múltiples dependiendo las condiciones del material después del proceso de inmersión de oro.

2.8 Secado (Drying).

El propósito de este proceso es asegurar que los tableros estén totalmente libres de humedad, este secado puede hacerse vertical u horizontal, más sin embargo para material de ENEPIG se recomienda que sea horizontal. Esto se realiza al someterlos a la temperatura de 125°C mínimo de 2hrs, para remover cualquier humedad en el material.

En la Figura 13 podemos apreciar el flujo de los procesos básicos para la preparación de las Superficies ENEPIG Ni (níquel) / Pd (paladio) /Au (oro) de tableros PCB.

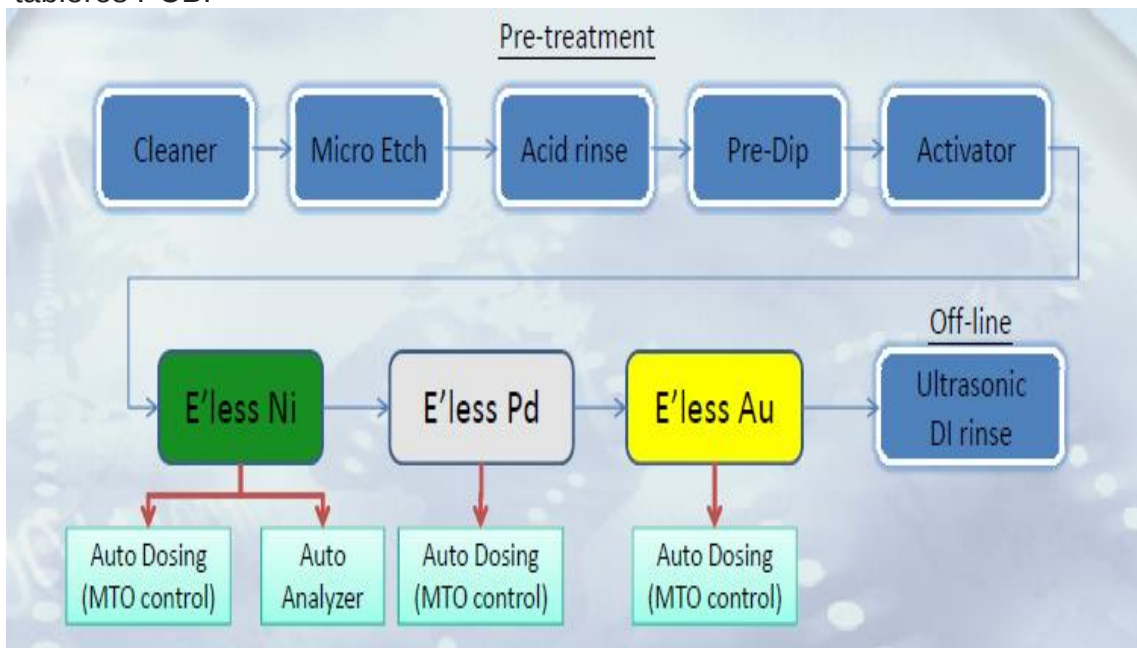


Figura 13: Procesos básicos para la preparación de la Superficie ENEPIG Ni (níquel) /Pd (paladio) /Au (oro).

Capítulo 3

Ventajas de la superficie ENEPIG (Ni (níquel) /Pd (paladio)/Au (oro)

3.1 MTO (Metal turnover) Tiempo de vida de los químicos

Los químicos para el proceso de tableros PCB se encuentran en contenedores denominados tanques de la línea de producción Figura 10, estos tanques tienen un tiempo de vida de cada uno de los químicos el cual se le denomina MTO (Metal turnover) Figura 14, cada tanque tienen sus propios controles para asegurar que el químico o químicos utilizados en cada uno de ellos se mantenga en las condiciones óptimas para cada procesos de adherencia o limpieza del material, debido a que cada vez que es introducido un tablero este químico es alterado y tiene que mantenerse para que se asegure una correcta adherencia del metal, con ninguna contaminación que ponga en riesgo al material.

Ejemplo en el monitoreo usado en el tanque de níquel, manejando que se tiene un tanque de 200 litros el cual se compone de 5 g/litro de níquel, el peso total de níquel, en el tanque es de 100 gramos esto se le denomina 1 MTO, y estos se pueden estar controlando al añadir níquel y así poder seguir usando el tanque para más tableros, es aquí donde el Ingeniero responsable de los químicos y de la línea de producción define a cuantos MTO deben de ser purgados o limpiados en su totalidad los tanques y así poder seguir asegurando un proceso estable.

MTO es la medida del tiempo de vida del químico del tanque, por lo que se define la cantidad de MTO para que sea cambiado

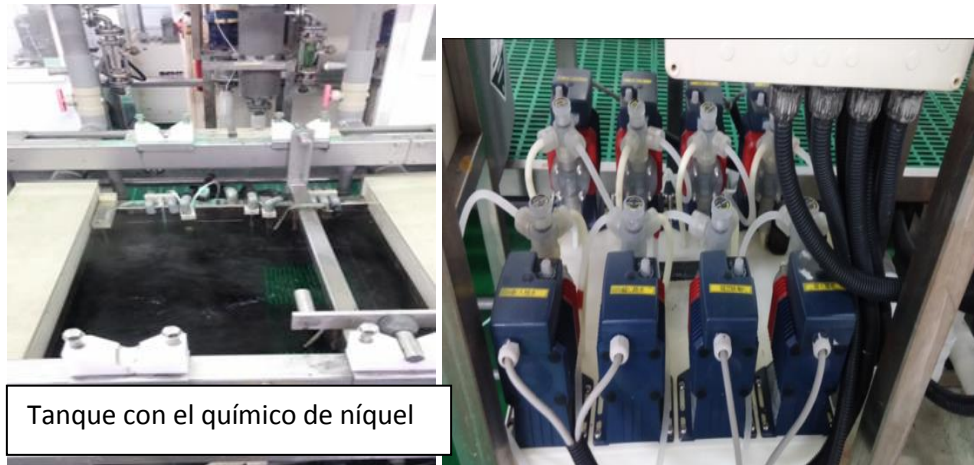


Figura 14: a) Ejemplo de un tanque con el químico de níquel. Ni Bath: 800L NI contenido :4.6g/L
 $1\text{MTO} = 800\text{L} \times 4.6\text{g/L} = 3680\text{g}$ 3680g Ni metal, significa 1MTO . b) sistema automático para agregar dosis extra.

3.2 Características ENEPIG

La superficie ENEPIG (Ni (níquel) / Pd (paladio) /Au (oro)), tiene ciertas ventajas sobre una superficie ENIG (Ni (níquel), Au (oro)), esta última no cuenta con la capa de paladio, pero si cuenta con una superficie de oro mucho mayor a la de ENEPIG que va en los valores de 4-7 micrones de diferencia pero aun así, la superficie de níquel estará emigrando a la superficie final del tablero, donde solo debe de existir oro y eso hará que tengas una superficie contaminada de níquel, que no tendrá una buena conexión con el alambre a usar.

Esta investigación es enfocada en el material de níquel, para la fabricación de tableros PCB , este químico se maneja en un tanque, llamado Proceso electrolítico (Electroless), de níquel, que contiene el material que permitirá agregar la capa de níquel a los tableros que sean introducidos, es un proceso crítico que requiere de un control y monitoreo debido a que pueden

estar cambiando las características del material en el tanque y poner en riesgo los tableros PCB a procesarse, al estar monitoreado diariamente por turno y cuando el tanque no es utilizado por más de dos horas, se sabe cuándo se ocupara más solución para compensar lo que ya se usó en los tableros PCB, de esta forma se agrega más material y sea garantizada en cada exposición de material se obtenga una mejor adherencia de metal en la inmersión.

Esto es en cada inmersión de tableros al tanque que cuenta con el químico el cual debe de estar controlado mediante el monitoreo de la concentración de níquel y en algunos casos es necesario reponer material en el tanque el cual se hace en forma automática la mayoría de los proveedores de tableros PCB que utilizan este proceso mezclan sus ingredientes patentados con el sulfato de níquel. Ciertos proveedores empaquetan estos componentes por separado y son capaces de controlar mejor su introducción de nuevo en el tanque. Este proceso se vuelve particularmente importante cuando se arranca el tanque después de un paro prolongado, Estos ingredientes se pueden añadir sin la necesidad de controlador de reposición.

En una superficie ENEPIG Ni(níquel) /Pd (paladio) /Au (oro) ya es muy conocida en la industria de los tableros que da una respuesta muy positiva a una diversidad de uso en su fabricación. En el caso de los tableros que utilizamos en la investigación se tiene un espesor de níquel que debe de estar en el rango de valor de los 2.5 a 7 micrones, esta característica tiene un impacto en espacio dentro de la estructura del tablero, las ventajas de esta estructura son:

- Sin posibilidad de corrosión en la superficie del níquel por inmersión de oro.

- Paladio actúa como una capa de barrera adicional para reducir aún más la difusión de cobre a la superficie, lo que garantiza una buena capacidad de soldadura con alambres de oro o cobre-paladio.
- Soporta ciclos de temperatura de soldadura.
- Una excelente capacidad de alambrado con alambre de oro.
- Los costos son muchos más bajos ya que el espesor de la capa oro es reducido comparado con la estructura ENIG níquel/oro que varía de 3-5 % del costo total de cada unidad de tablero.

La estructura Ni (níquel) /Pd (paladio) /Au (oro) ENEPIG, aun manejando un espesor alto de níquel es una muy buena opción ya que el precio del oro se incrementa cada vez más, por lo que este tipo de estructura se convierte en una buena opción para la fabricación de tableros.

Independientemente de la combinación de la superficie Figura 15, hay que tener en cuenta que existen requisitos mínimos de funcionalidad en el material para poder ser utilizados, pero esta combinación de superficie debe de proporcionar también una satisfacción positiva en la soldereabilidad en donde esta sea requerida y al mismo tiempo proveer una protección a los componentes que se encuentren sobre la superficie de cobre desde el momento de la fabricación del tablero ya que una corrosión u oxidación en el cobre tiene un efecto significativo en la integridad de la señal del dispositivo y al mismo tiempo la superficie debe de evitar que se formen compuesto indeseables CMI (Undesirable_Internmetallic Compunds), en pocas palabras deben de garantizar una buena unión de las capas y un buen control en los espesores.

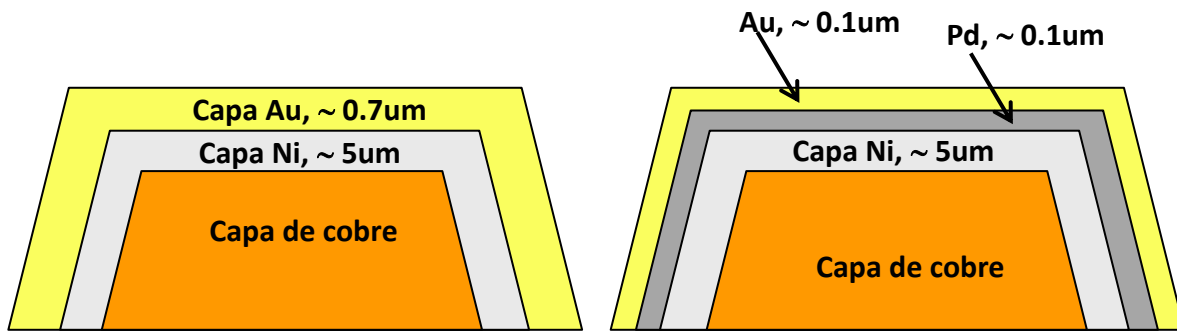


Figura 15: Capas de tableros PCB tecnologías ENIG y ENEPIG

La tabla 4, muestra los datos de dos tecnologías de superficies de tableros PCB, el enfoque principal en el del Ni (níquel) /Pd (paladio) /Au (oro) ENEPIG, donde se muestran las características críticas tales como:

- Alambrado.
- Soldereabilidad.
- Manejo de frecuencias.

	Process	ENIG	ENEPIG
	Thickness	Ni: 5µm AU: 0.07µm	Ni: 5µm Pd: 0.1µm Au: 0.06µm
Soldering	Multiple Soldering (> 3x soldering steps)	★	★
	Solder Spread (Eutectic Solder)	★	★
	Solder Spread (Lead Free Solder)	★	★
	Solder Joint Reliability (Eutectic Solder)	★	▲
	Solder Joint Reliability (Lead Free Solder)	▲	★
Wire Bondng	Al Wire	★	★
	Au Wire	▲	★
	Pure Cu Wire	●	●
	Cu-Pd Wire	●	★
	Ag Wire	▲	★
High Frequency capability (Skin Effect)	Media and Sensor Technology	●	●
Fine Line and Pitch Capability (>30:30µm)	Portable Media and Sensor Technology	●	●
Shelf Life	Shelf Life Prior to Assembly	≥ 12 Months	≥ 12 Months
Very Good ★ Good ▲ Sufficient ● Limited ▼ No ●			

Tabla 4: PCB Magazine Edición febrero 2015, características de superficies tableros PCB

Capítulo 4

Desarrollo Experimental en el Proceso de la Reducción del Espesor de Níquel en el tablero PCB

4.1 Pruebas de Confiabilidad

La investigación sobre la propuesta de reducir el espesor de Níquel se inicia con 3 objetivos principales los cuales no deben de afectar la calidad del actual producto:

- Reducir el espesor de la capa de Níquel del PCB compuesto de Ni-Pd-Au (Níquel-paladio-oro) ENEPIG partiendo del espesor actual de la capa de Níquel de 2.5-7.5 micrones.
- Mantener un Cpk igual o mayor a 1.67 como parte de Control de proceso electrolítico del espesor de Níquel.
- Lograr una reducción del costo actual mayor al 2%.

Se inicia trabajando con el proveedor de tableros PCB en hacer un análisis de capacidad trabajando en conjunto con su grupo de Ingeniería manejando la primer a acción la verificar de su capacidad de proceso en la reducción del níquel, en ver y evaluar opciones, se tomó en cuenta basado en las características del espesor de níquel en las capas de tableros PCB y el costo actual lo cual se identifica una ventana de especificación en el que se quiere enfocar la reducción del espesor y de tal manera se pueda obtener la reducción en costo de la materia prima como inicio a un 3% por unidad ya en tablero terminado.

Al conocer más a detalle la línea de producción del proveedor y de sus procesos y su capacidad del mismo, se identificó una ventana de especificación como inicio con valores que van del 0.05 a 1.0 micrón como

espesor de la capa de níquel, como valores que nos permitan poder tener una reducción del costo en la materia prima ya que mientras el espesor sea menor a 1 micrón se puede hablar de reducción de costo mayor 3%, pero el cambio que se obtenga tiene que lograr tener similares características de rendimiento con el espesor actual de níquel que va de 2.5 a 7.5 micrones, pero con un espesor de níquel reducido sin afectar los otros elementos que componen al tablero PCB como principales el oro y el paladio.

Basado en la ventana definida se inició el trabajo con el proveedor en ver cuál sería el valor más bajo en que se pueda reducir el espesor del Níquel en el proceso de PCB tomando en cuenta el equipo de producción, experiencia y conocimiento del Ingeniero de Procesos, se acordó en iniciar corridas de experimentales en valores de ir a lo más bajo que sería 0.05 Micrones de espesor de níquel en la misma estructura de tablero PCB e identificar como valor máximo a 1 micrón como parte de que se podría obtener la ventaja de reducir espesor y poder al mismo tiempo una reducción de precio en el PCB como objetivo de esta investigación.

Se definieron como primeras pruebas para medir resultados de para resultados de salida independiente del valor de Níquel que se logre manejar.

Serán las siguientes:

- Prueba destructiva de Pull Test. (Pruebas de adherencia de Alambrado)
- Ball Shear (Pruebas de adherencia de alambrado en la base)
- Inspección Visual & SEM.
- Pruebas de VNA (Vector Network Analyzer)

Se definieron objetivos de espesor de Níquel para las primeras corridas del experimento, manejando con el valor mínimo de espesor de Níquel de 0.05 micrones este experimento y se identificaron los sig. Valores para futuras **corridas 0.05, 0.1, 0.3 ,0.5 y 1.0** micrones de espesor de níquel y usando una corrida con el espesor de 6.0 Micrones como control del actual valor del espesor de níquel en la estructura actual de Níquel –Paladio-Oro ENEPIG en el tablero PCB.

4.2 Pruebas de Alambrado.

- Condiciones de Prueba: Alambre de oro con diámetro: 0.8 mil
- Muestreo: Sin la utilización del proceso de plasma (limpieza orgánica)
- Valores de espesor estándar de Pd/Au: Pd 0.09um, Au 0.10um

Para las pruebas de alambrado en los tableros PCB se utiliza el mismo equipo de alambrado tanto en la línea de producción como en el lado del proveedor de tableros PCB , utilizando alambre de oro de espesor de 0.8 mil, durante el proceso de alambrado no se presentó ningún problema de desprendimientos o fallas del material en ningún de los diferentes tableros PCB de diferentes valores de espesor de níquel lo cual sorprendió significativamente aun en valor bajo de espesores de níquel, mostro un similar comportamiento basado en los primero datos se ve muy consistente los resultados de adherencia de alambre en el material tomando como base el límite de adherencia del alambre a 3 gramos. Esto para efectos de manufactura es bueno más sin embargo no es correcto concluir algo aun, es un buen resultado para ser primer corrida y que hasta este momento apunta que el espesor de níquel en valores bajos no da un efecto negativo en adherencia usando alambre de oro con diámetro 0.8 mil y manejando unas mismas especificaciones una adherencia de no menor a 3 gramos mostro

medias similares aun con el PCB de control de 6 micrones de espesor de níquel, Figura 16.

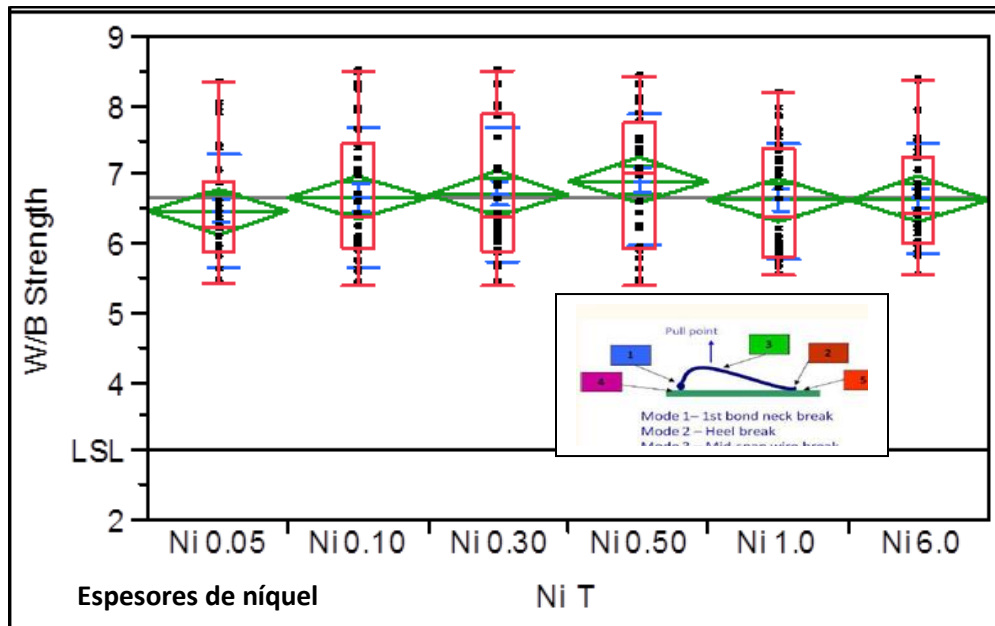


Figura 16: Muestra datos de prueba destructiva de a la adherencia del alambre en el tablero.

4.3 Pruebas de adherencia de Bola de Alambre

- Especificación en tamaño 300 um (SAC305).
- Especificaciones de la adherencia de la bola de alambre a la superficie del tablero PCB min 250gr.
- Pd/Au espesores: Pd 0.09um, Au 0.10um.

En el mismo proceso de alambrado se verificó la adherencia del otro extremo del alambre la cual forma una bola al adherirse al tablero PCB con el contacto con la superficie. Se hacen pruebas destructivas y muestra buenos resultados ningún valor fuera de especificación en los diferentes espesores de Níquel. Comprobando de esta forma también que el proceso de alambrado

apunta a ser consistente usando alambre de oro de un espesor 0.8 mil es bueno en términos de resueltos de adherencia entre el tablero PCB y el alambre de Oro tal como se muestra en la Figura 17.

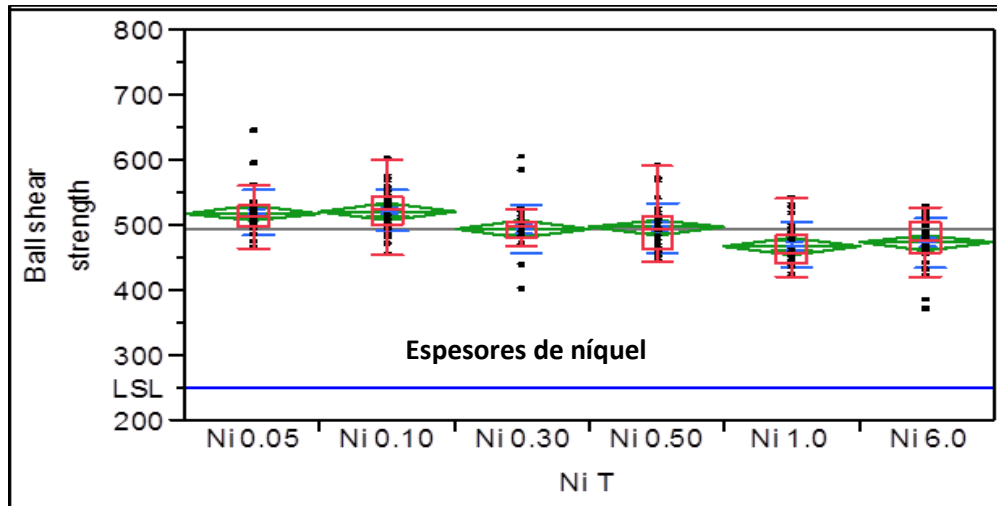


Figura 17: Muestra datos de prueba destructiva de la adherencia de la bola del alambre en el tablero PCB.

4.4 Inspección Visual de la apariencia de la superficie física del material.

No se detecta ningún defecto en el proceso de inspección sobre las superficies de los materiales no hay ninguna superficie sin ser cubierta, superficies son mostradas en la Figura 18.

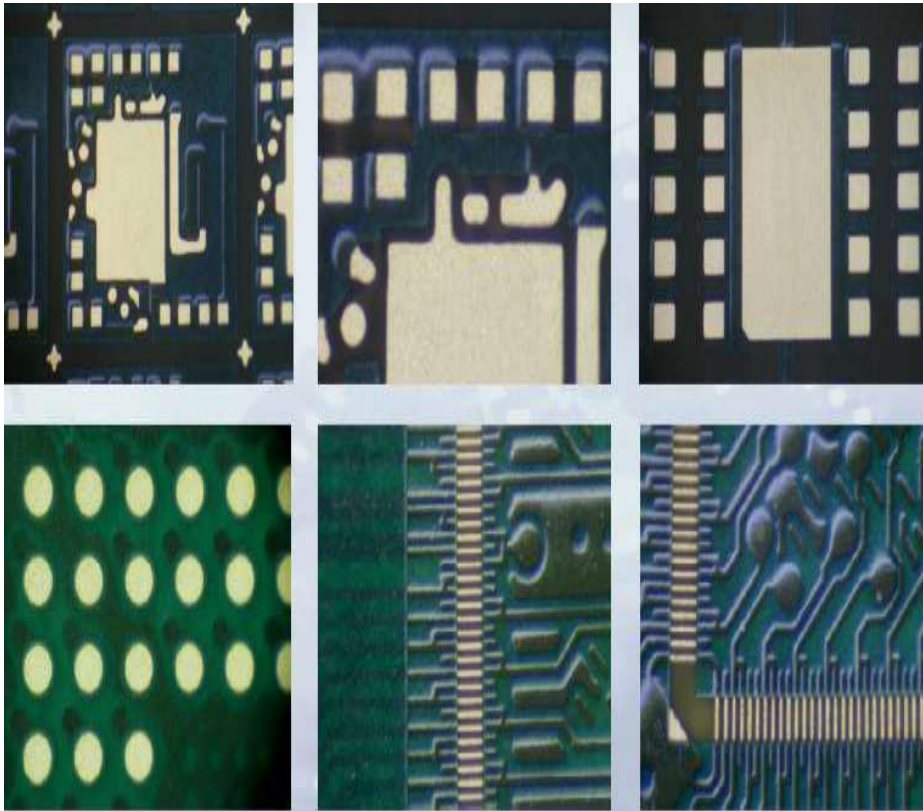


Figura 18: Superficies de los tableros PCB inspección visual Se verifico el proceso electrolítico de Níquel a las superficies por medio del SEM (Scanning Electron microscope) y no se encontró ningún problema en el material como se muestra en la Figura 19, no hay ninguna anomalía en la superficie física del material.

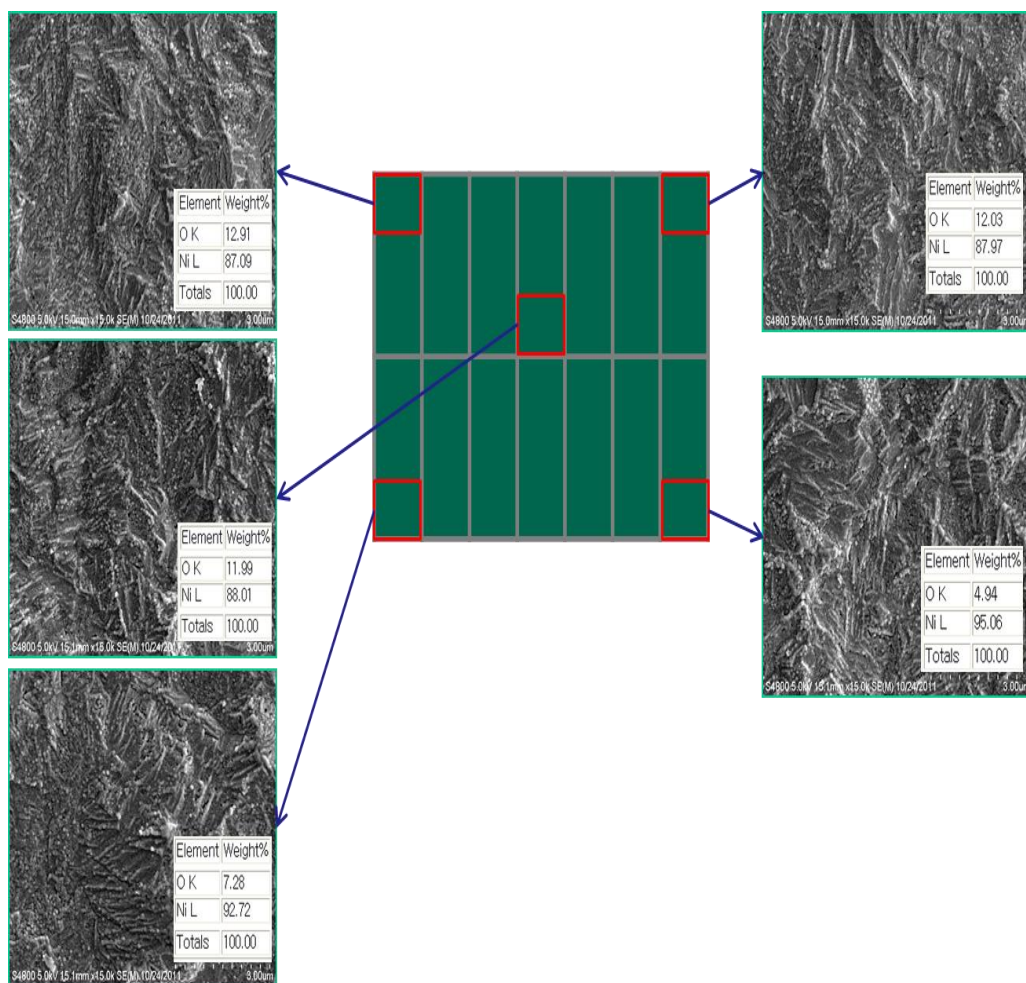
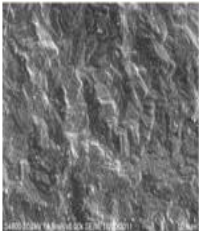
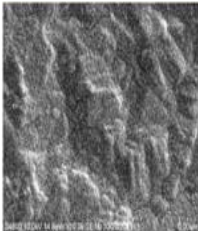
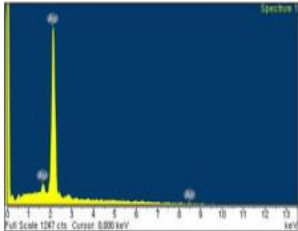
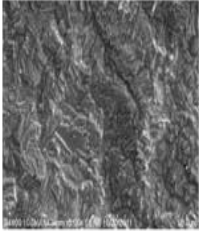
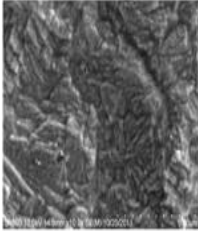
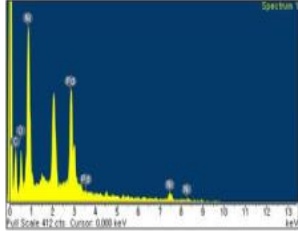
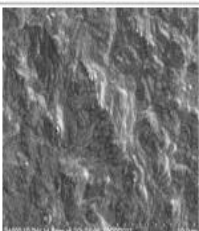
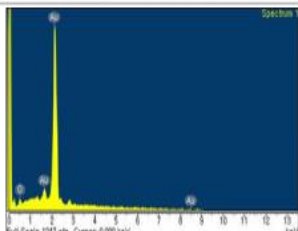
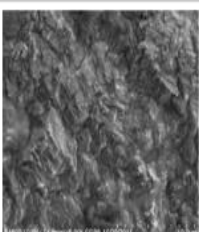
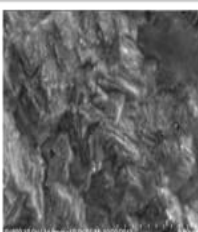
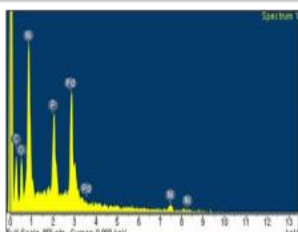


Figura 19: Muestra superficies analizadas en el SEM/EDX (Scanning Electron microscope)

4.5 Análisis de Superficie SEM/ EDX

Utilizando el equipo SEM (Scanning Electron microscope) se obtuvieron las sig. Imágenes de los diferentes espesores níquel, donde no se detecta ninguna anomalía en la superficie en ninguna de las muestras analizadas. Figura 20,21.

■ ENEPIG (Ni thickness 0.1um)

Item	SEM (X5000)	SEM (X10000)	EDX														
Point 1 Before Stripping			<table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th></tr></thead><tbody><tr><td>Au M</td><td>100.00</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	Au M	100.00	Totals	100.00								
Element	Weight%																
Au M	100.00																
Totals	100.00																
Point 1 After Stripping			<table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th></tr></thead><tbody><tr><td>C K</td><td>6.74</td></tr><tr><td>O K</td><td>6.72</td></tr><tr><td>Ni L</td><td>34.41</td></tr><tr><td>Pd L</td><td>52.13</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	C K	6.74	O K	6.72	Ni L	34.41	Pd L	52.13	Totals	100.00		
Element	Weight%																
C K	6.74																
O K	6.72																
Ni L	34.41																
Pd L	52.13																
Totals	100.00																
Point 2 Before Stripping			<table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th></tr></thead><tbody><tr><td>O K</td><td>1.65</td></tr><tr><td>Au M</td><td>98.35</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	O K	1.65	Au M	98.35	Totals	100.00						
Element	Weight%																
O K	1.65																
Au M	98.35																
Totals	100.00																
Point 2 After Stripping			<table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th></tr></thead><tbody><tr><td>C K</td><td>5.41</td></tr><tr><td>O K</td><td>6.68</td></tr><tr><td>P K</td><td>7.43</td></tr><tr><td>Ni L</td><td>29.66</td></tr><tr><td>Pd L</td><td>50.81</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	C K	5.41	O K	6.68	P K	7.43	Ni L	29.66	Pd L	50.81	Totals	100.00
Element	Weight%																
C K	5.41																
O K	6.68																
P K	7.43																
Ni L	29.66																
Pd L	50.81																
Totals	100.00																

■ ENEPIG (Ni thickness 0.04um)

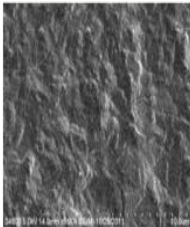
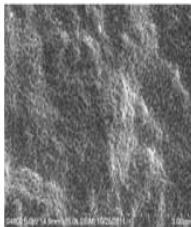
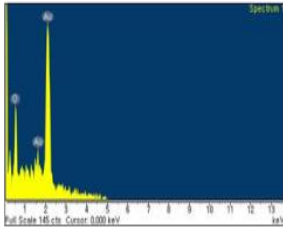
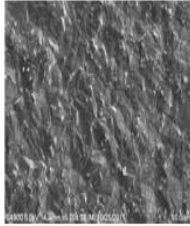
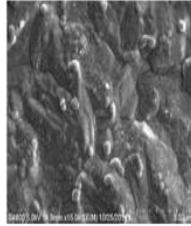
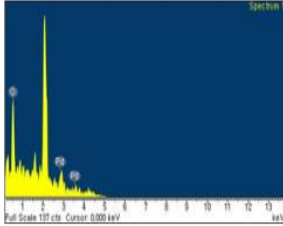
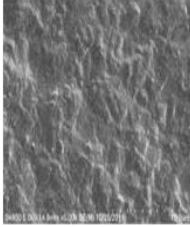
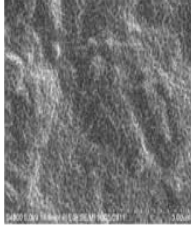
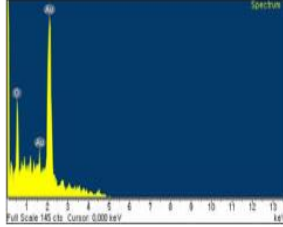
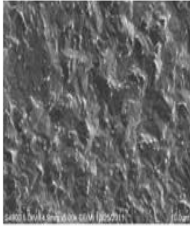
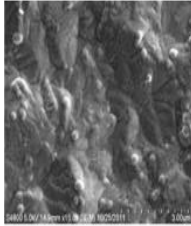
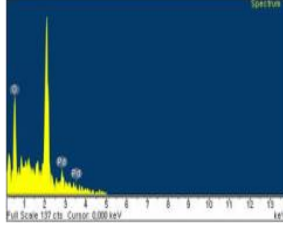
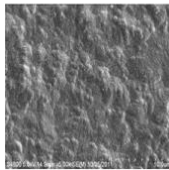
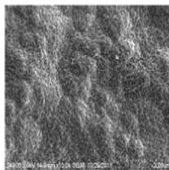
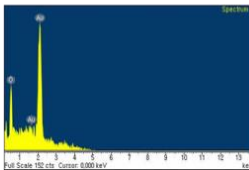
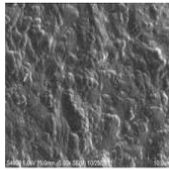
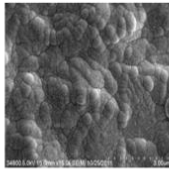
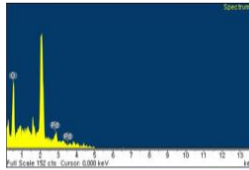
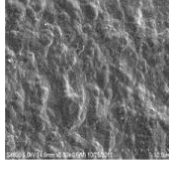
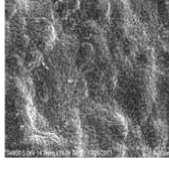
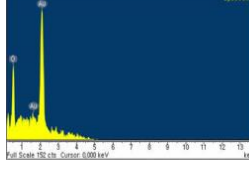
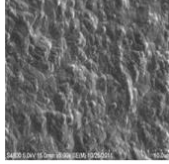
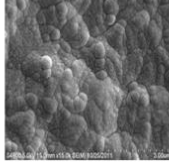
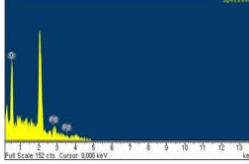
Item	SEM (X5000)	SEM (X10000)	EDX												
Point 1 Before Stripping			<table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th><th>Atomic%</th></tr></thead><tbody><tr><td>O K</td><td>16.91</td><td>71.48</td></tr><tr><td>Au M</td><td>83.09</td><td>28.52</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td><td></td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	Atomic%	O K	16.91	71.48	Au M	83.09	28.52	Totals	100.00	
Element	Weight%	Atomic%													
O K	16.91	71.48													
Au M	83.09	28.52													
Totals	100.00														
Point 1 After Stripping			<table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th><th>Atomic%</th></tr></thead><tbody><tr><td>O K</td><td>22.60</td><td>66.00</td></tr><tr><td>Pd L</td><td>77.40</td><td>34.00</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td><td></td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	Atomic%	O K	22.60	66.00	Pd L	77.40	34.00	Totals	100.00	
Element	Weight%	Atomic%													
O K	22.60	66.00													
Pd L	77.40	34.00													
Totals	100.00														
Point 2 Before Stripping			<table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th><th>Atomic%</th></tr></thead><tbody><tr><td>O K</td><td>19.84</td><td>75.30</td></tr><tr><td>Au M</td><td>80.16</td><td>24.70</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td><td></td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	Atomic%	O K	19.84	75.30	Au M	80.16	24.70	Totals	100.00	
Element	Weight%	Atomic%													
O K	19.84	75.30													
Au M	80.16	24.70													
Totals	100.00														
Point 2 After Stripping			<table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th><th>Atomic%</th></tr></thead><tbody><tr><td>O K</td><td>20.19</td><td>62.72</td></tr><tr><td>Pd L</td><td>79.81</td><td>37.28</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td><td></td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	Atomic%	O K	20.19	62.72	Pd L	79.81	37.28	Totals	100.00	
Element	Weight%	Atomic%													
O K	20.19	62.72													
Pd L	79.81	37.28													
Totals	100.00														

Figura 20 Espesor de Níquel a 0.1 y 0.04 micrones

■ ENEPIG (Ni thickness 0.16um)

Item	SEM (X5000)	SEM (X10000)	EDX												
Point 1 Before Stripping			 <table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th><th>Atomic%</th></tr></thead><tbody><tr><td>O K</td><td>14.35</td><td>67.34</td></tr><tr><td>Au M</td><td>85.65</td><td>32.66</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td><td></td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	Atomic%	O K	14.35	67.34	Au M	85.65	32.66	Totals	100.00	
Element	Weight%	Atomic%													
O K	14.35	67.34													
Au M	85.65	32.66													
Totals	100.00														
Point 1 After Stripping			 <table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th><th>Atomic%</th></tr></thead><tbody><tr><td>O K</td><td>29.70</td><td>73.75</td></tr><tr><td>Pd L</td><td>70.30</td><td>26.25</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td><td></td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	Atomic%	O K	29.70	73.75	Pd L	70.30	26.25	Totals	100.00	
Element	Weight%	Atomic%													
O K	29.70	73.75													
Pd L	70.30	26.25													
Totals	100.00														
Point 2 Before Stripping			 <table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th><th>Atomic%</th></tr></thead><tbody><tr><td>O K</td><td>15.73</td><td>69.67</td></tr><tr><td>Au M</td><td>84.27</td><td>30.33</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td><td></td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	Atomic%	O K	15.73	69.67	Au M	84.27	30.33	Totals	100.00	
Element	Weight%	Atomic%													
O K	15.73	69.67													
Au M	84.27	30.33													
Totals	100.00														
Point 2 After Stripping			 <table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th><th>Atomic%</th></tr></thead><tbody><tr><td>O K</td><td>34.39</td><td>77.71</td></tr><tr><td>Pd L</td><td>65.61</td><td>22.29</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td><td></td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	Atomic%	O K	34.39	77.71	Pd L	65.61	22.29	Totals	100.00	
Element	Weight%	Atomic%													
O K	34.39	77.71													
Pd L	65.61	22.29													
Totals	100.00														

■ ENEPIG (Ni thickness 6.um)

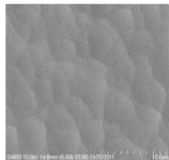
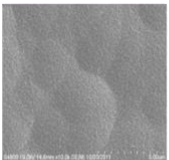
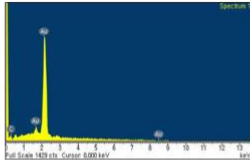
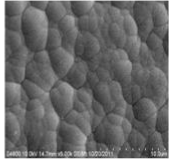
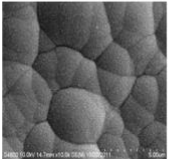
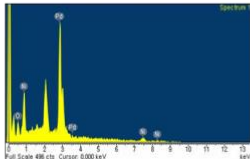
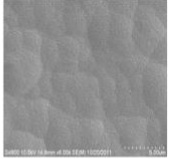
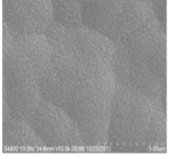
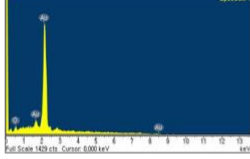
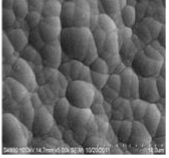
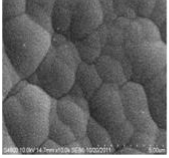
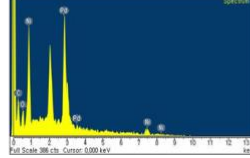
Item	SEM (X5000)	SEM (X10000)	EDX												
Point 1 Before Stripping			<table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th></tr></thead><tbody><tr><td>C K</td><td>1.76</td></tr><tr><td>Au M</td><td>98.24</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	C K	1.76	Au M	98.24	Totals	100.00				
Element	Weight%														
C K	1.76														
Au M	98.24														
Totals	100.00														
Point 1 After Stripping			<table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th></tr></thead><tbody><tr><td>O K</td><td>3.57</td></tr><tr><td>Ni L</td><td>17.16</td></tr><tr><td>Pd L</td><td>79.27</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	O K	3.57	Ni L	17.16	Pd L	79.27	Totals	100.00		
Element	Weight%														
O K	3.57														
Ni L	17.16														
Pd L	79.27														
Totals	100.00														
Point 2 Before Stripping			<table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th></tr></thead><tbody><tr><td>O K</td><td>1.71</td></tr><tr><td>Au M</td><td>98.29</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	O K	1.71	Au M	98.29	Totals	100.00				
Element	Weight%														
O K	1.71														
Au M	98.29														
Totals	100.00														
Point 2 After Stripping			<table><thead><tr><th>Element</th><th>Weight%</th></tr></thead><tbody><tr><td>C K</td><td>4.43</td></tr><tr><td>O K</td><td>4.05</td></tr><tr><td>Ni L</td><td>30.06</td></tr><tr><td>Pd L</td><td>61.46</td></tr><tr><td>Totals</td><td>100.00</td></tr></tbody></table>	Element	Weight%	C K	4.43	O K	4.05	Ni L	30.06	Pd L	61.46	Totals	100.00
Element	Weight%														
C K	4.43														
O K	4.05														
Ni L	30.06														
Pd L	61.46														
Totals	100.00														

Figura 21: Espesor de Níquel 0.16 y 6 micrones

Ninguna de las muestras de diferentes espesores de Níquel muestra una anomalía en la superficie dando como resultado una buena a estructura de superficie del material.

4.6 Análisis XPS (Espectroscopia Foto electrónica de Rayos X)

Para poder obtener la información de los elementos presentes en el material se realizó un análisis básico de XPS. Los resultados de valores del espesor de bajo níquel manejando se encuentran en la tercera capa del tablero PCB si se detecta estructura de Paladio y Oro como parte del PCB más el elemento de Carbón-Nitrógeno – Oxígeno. La prueba XPS fue realizado sobre la superficie después de un estrés térmico basado en el espesor del Níquel este fue de 175°C ,12 horas, en un horno con cámara de Nitrógeno (N2 bake). Usando los espesores 0.05, 0.1, 0.3, 0.5y 5um micrones Figura 22.

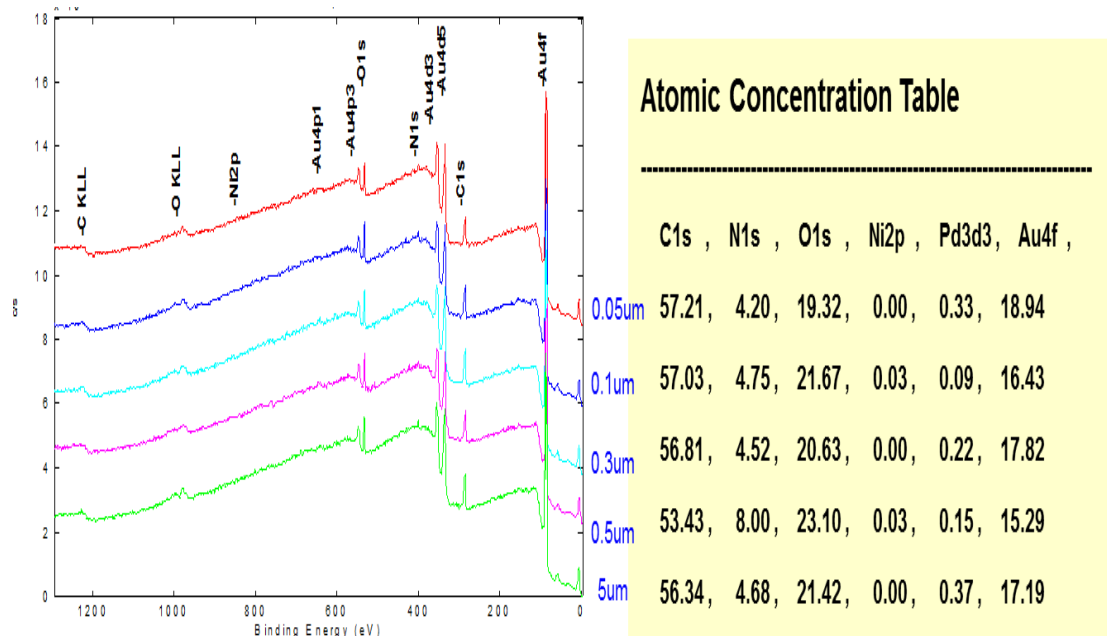


Figura 22: Resultados de XPS

4.7 Respuesta de la señal de frecuencia basada en el espesor de níquel.

Basado en los resultados de la primer corrida de muestras con diferentes espesores de níquel y que si fue posible reducirlo y obtener los primeros resultados positivos, y al mismo tiempo seguir con una estructura sólida de Ni-Pd-Au ENEPIG, se manejó el siguiente punto con el proveedor como parte de uno de los objetivos es reducir el costo del tablero PCB, cual es el valor óptimo para estar manejando una reducción de 3% al reducir el espesor de níquel, la respuesta fue que mientras el espesor no fuese mayor a 1 micrón se puede manejar la reducción en el costo ya que la actual especificación de espesor de níquel es de 2.5 a 7.5 micrones, por lo que mientras el espesor de Níquel sea menor a 1.0 micrón se pude obtener la reducción de costo , lo cual este valor ahora se convierte en el punto de partida hacia cuanto más se puede reducir sin afectar el producto. Por lo que se dio la tarea de hacer un análisis de transferencia de señal donde se visualiza que en materia en el rango de 0.1 a 0.5 micrones no hay variación de señal tal como se muestra en la Figura 23.

A raíz de esto da inicio a la siguiente corrida de esta investigación, por lo que se trabaja en dos opciones de especificaciones tomando en cuenta a reducir lo más que se pueda el espesor del níquel, teniendo como base valor mínimo 0.02 micrones y no tener un espesor mayor de 0.2 micrones como primera opción. Por lo que se decide en dos especificaciones:

- 1.- Manejando el valor nominal de 0.08 micrones con un rango de ± 0.06 micrones por lo que nuestros valores deben de estar en 0.02-0.14 micrones
- 2.- Manejando el valor nominal de 0.14 micrones con un rango de ± 0.06 micrones por lo que nuestros valores deben de estar en 0.08-0.2 micrones.

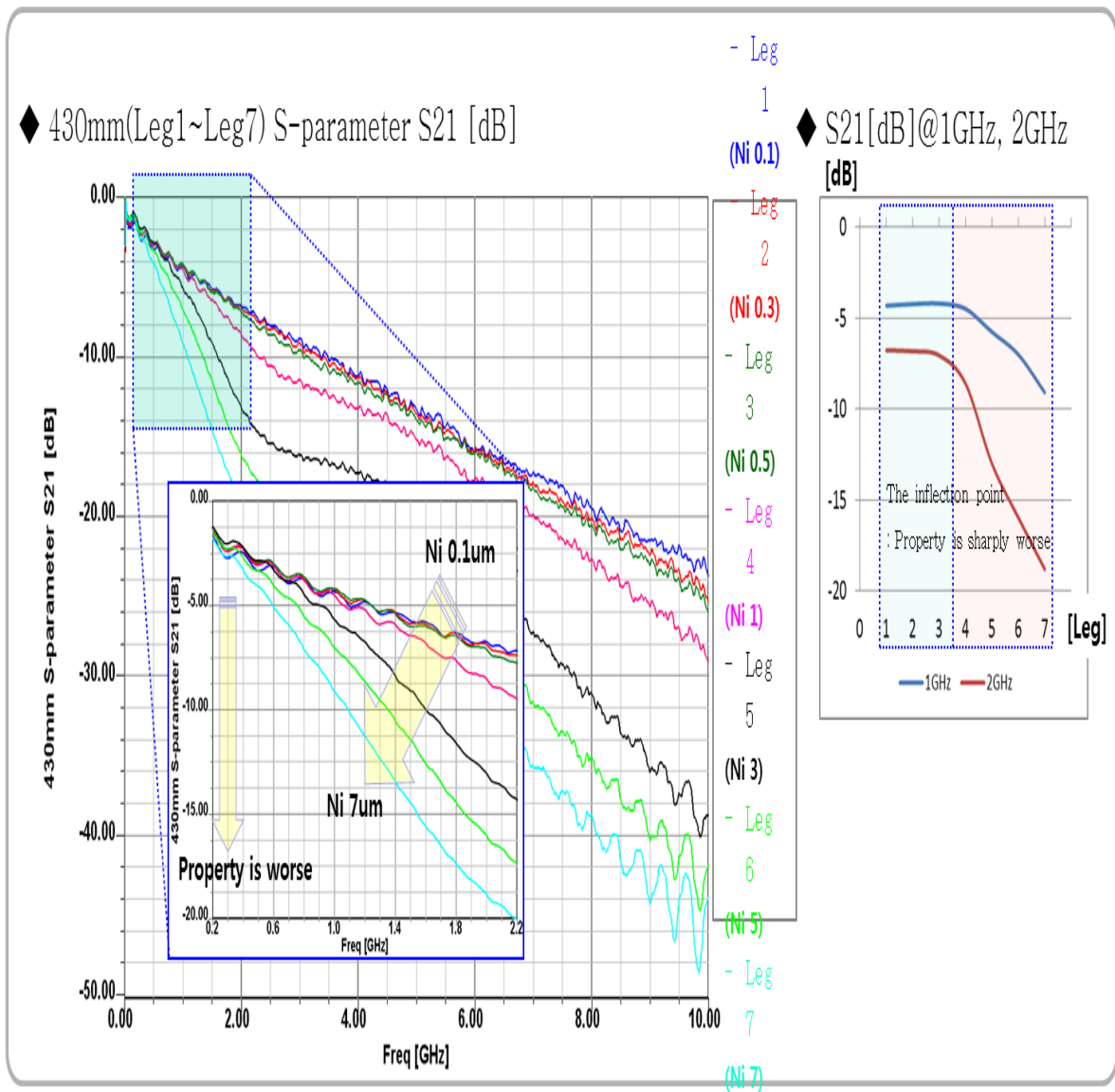


Figura 23: Respuesta de la señal de frecuencia basada en el espesor de níquel

Esto nos da área de trabajo de valores de espesor de níquel de valores 0.02 a 0.2 micrones tomando como el área más pequeña a trabajar y poder buscar también la máxima reducción del costo del tablero PCB.

Basado en esto se hacen las siguientes corridas de material y se realizan mediciones de espesores a cada corrida, donde la tabla 5, muestra los resultados de esta primera corrida usando ya lotes con nuestras dos especificaciones fueron 3 lotes con el valor nominal de 0.8 micrones y 6 lotes de valores nominal 0.14 micrones ambos con tolerancias de +/- 0.06 Micrones. Mostrados valores de CPk arriba de 1.67.

Capability Summary												
Skyworks Part #	Run #	ENEPIG Ni Thickness	Original	Kinsus Part#	Received Lot ID Label	Spec	Min	Max	Ave	Stdev	Cp	Cpk
			Lot									
SKY77705-14 TW55-D156-001 4L TEV-EO 25 um dia Au wire	1	0.08	S11-153#131	S11-868	FA	0.08+/-0.06	0.062	0.105	0.086	0.007	2.74	2.47
	2	0.08	S11-153#131	S11-868	FB	0.08+/-0.06	0.064	0.090	0.078	0.005	3.87	3.75
	3	0.08	S11-153#131	S11-868	FC	0.08+/-0.06	0.066	0.101	0.083	0.006	3.40	3.23
	4	0.14	S11-153#132	S11-869	FD	0.14+/-0.06	0.116	0.174	0.149	0.013	1.58	1.33
	5	0.14	S11-153#132	S11-869	FE	0.14+/-0.06	0.111	0.173	0.141	0.011	1.77	1.73
	6	0.14	S11-153#132	S11-869	FF	0.14+/-0.06	0.123	0.180	0.155	0.014	1.43	1.08
	7	0.14	S11-153#132	S11-869	FG	0.14+/-0.06	0.113	0.180	0.150	0.011	1.90	1.58
	8	0.14	S11-153#132	S11-869	FJ	0.14+/-0.06	0.112	0.164	0.136	0.011	1.75	1.64
	9	0.14	S11-153#132	S11-869	FK	0.14+/-0.06	0.097	0.159	0.134	0.011	1.75	1.58
	10	0.14	S11-153#132	S11-869	FL	0.14+/-0.06	0.108	0.166	0.134	0.010	1.93	1.72
Skyworks Part #	Run #	Skyworks Part#	PCB	Kinsus Part#	Kinsus Lot#	Spec	Min	Max	Ave	Stdev	Cp	Cpk
6L NS SSV-EO MCM (40)	1	77352	TW70-D739-001	S11-902	FA	0.14+/-0.06	0.107	0.150	0.128	0.009	2.12	1.70
	2	77737	TW70-D606-001	S11-907	FA	0.14+/-0.06	0.107	0.150	0.130	0.010	2.00	1.68
	3	77352DC	TW71-D117-001	S11-916	FA	0.14+/-0.06	0.115	0.162	0.130	0.010	2.10	1.76

Tabla 5: Resultados de mediciones espesores de dos tipos de valores 0.08+/- 0.06 y 0.14 +/- 0.06 micrones.

Basado en los Primeros resultados se ve que hay menor variación al manejar como valor principal 0.08 micrones ya que la variación es de 0.006 micrones en los lotes, a diferencia de los lotes que se les puso el valor nominal de 0.14 micrones existe una variación de 0.012 micrones. Mas sin embargo

aún están dentro de las especificaciones que se plantearon de ± 0.06 micrones de tolerancia tal como se ve en la Figura 24.

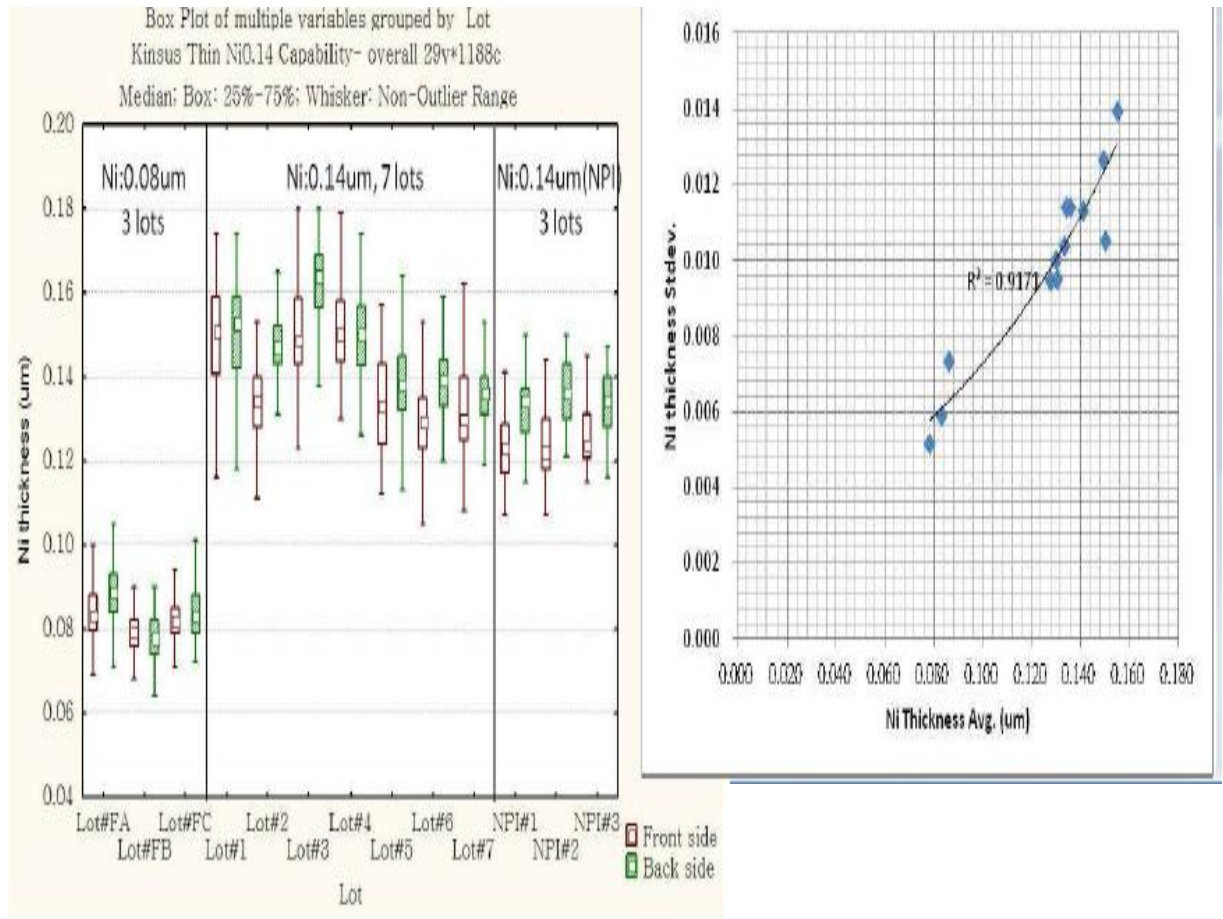


Figura 24: Muestra resultados de diferentes espesores de Níquel 0.08 y 0.14 micrones

Tomando en cuenta los resultados de los datos de material con valor nominal 0.14 micrones que nos dio más variación es esta corrida y se toma la decisión de analizar más a fondo, trabajando en conjunto con el proveedor en verificar con más muestras en los lotes si es un dato real lo de la variación por lo que nos enfocamos en realizar más pruebas nos da resultados que podemos tener un buen control en el valor nominal de 0.14 y un $Cpk > 1.67$. Se realizan las siguientes pruebas a 3 lotes de esta corrida.

4.8 Mediciones de Espesor de Níquel en 3 lotes diferentes.

Se midieron Piezas de diferentes zonas de 3 lotes usando una muestra de 216 piezas, 72 unidades por lote tomadas de dos paneles por lote usando 6 tiras y midiendo 3 piezas de cada uno dando buenos resultados en relación Pieza –Tiras-Panel–Lotes todos los valores dieron una capacidad de proceso > 1.67 (Cpk) tal como se muestra en la Figura 25.

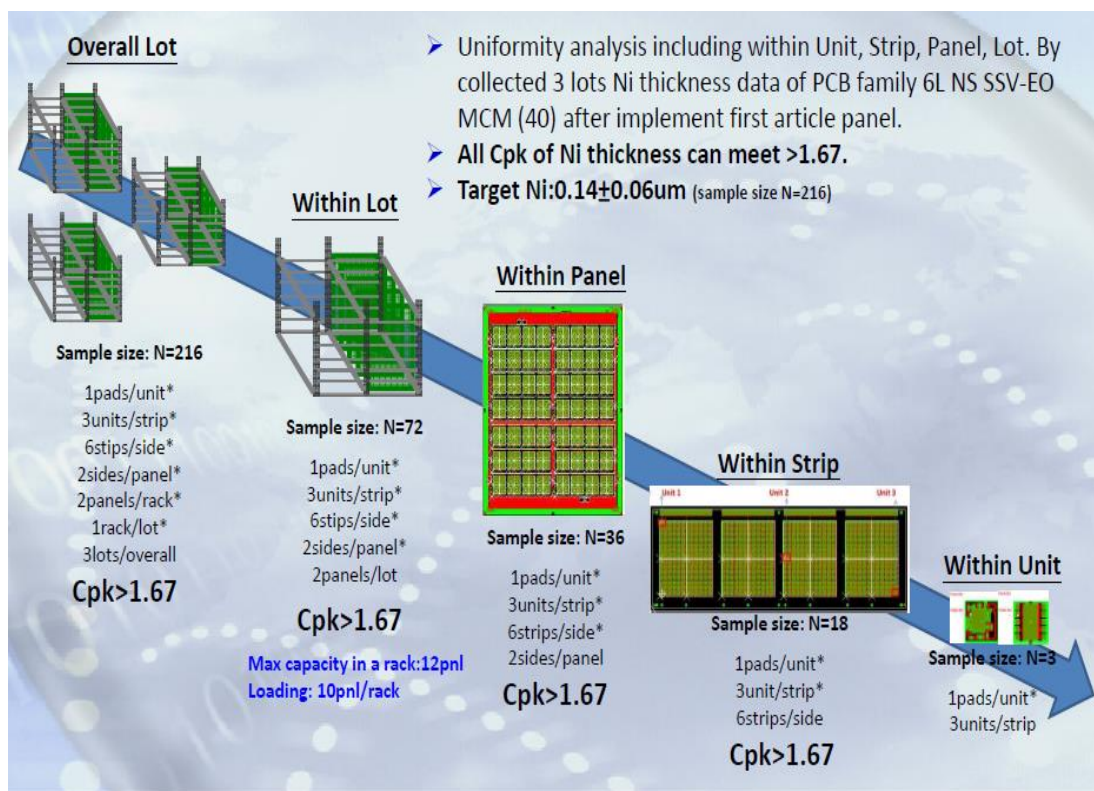


Figura 25: resultados de las mediciones de 3 lotes con un espesor de níquel 14 ± 1.06 micrones

Rack: Es un contenedor capaz de manejar 12 paneles de material de PCB.

Panel: Es un arreglo de 16 tiras de material de PCB.

Strip : (tira de tablero) es un arreglo de renglones y columnas en donde son divididos cada dispositivo a usar en producción denomina en producción tira.

La Figura 26 muestra la distribución de un panel indicando las posiciones de cada tira

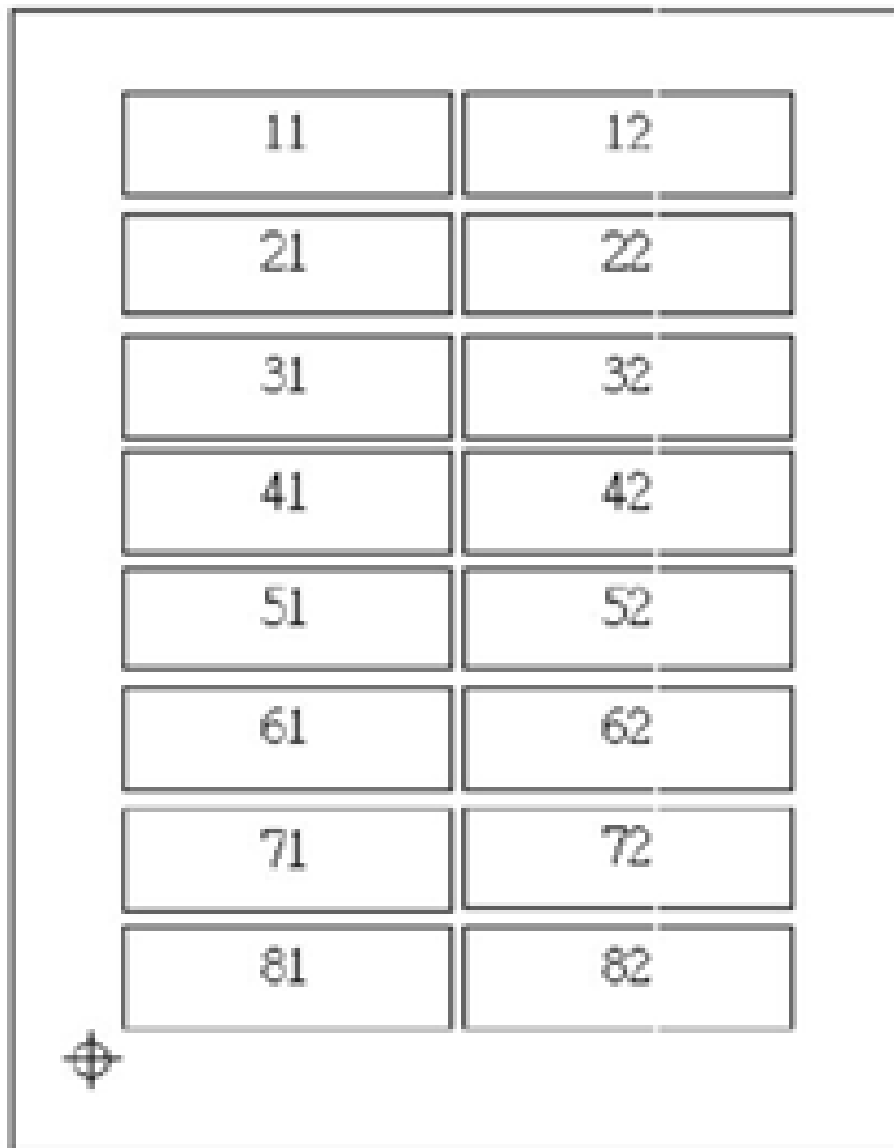


Figura 26: Muestra un panel de 16 tiras.

4.9 Medición de espesor de Níquel en Piezas de una Misma tira.

En la siguiente Figura 27, muestra el resultado de medir piezas en una misma tira con el objetivo de ver si es constante el espesor de níquel, la muestra fue de 36 piezas divididas en 6 tiras con 3 puntos de cada una, donde los resultados fueron aceptables a una capacidad de proceso $Cpk > 1.67$. Se encontró que las piezas por el lado de la parte de debajo de las piezas (back side) tienen la tendencia a tener más de espesor de Níquel, pero dentro de las tolerancias ya establecidas.

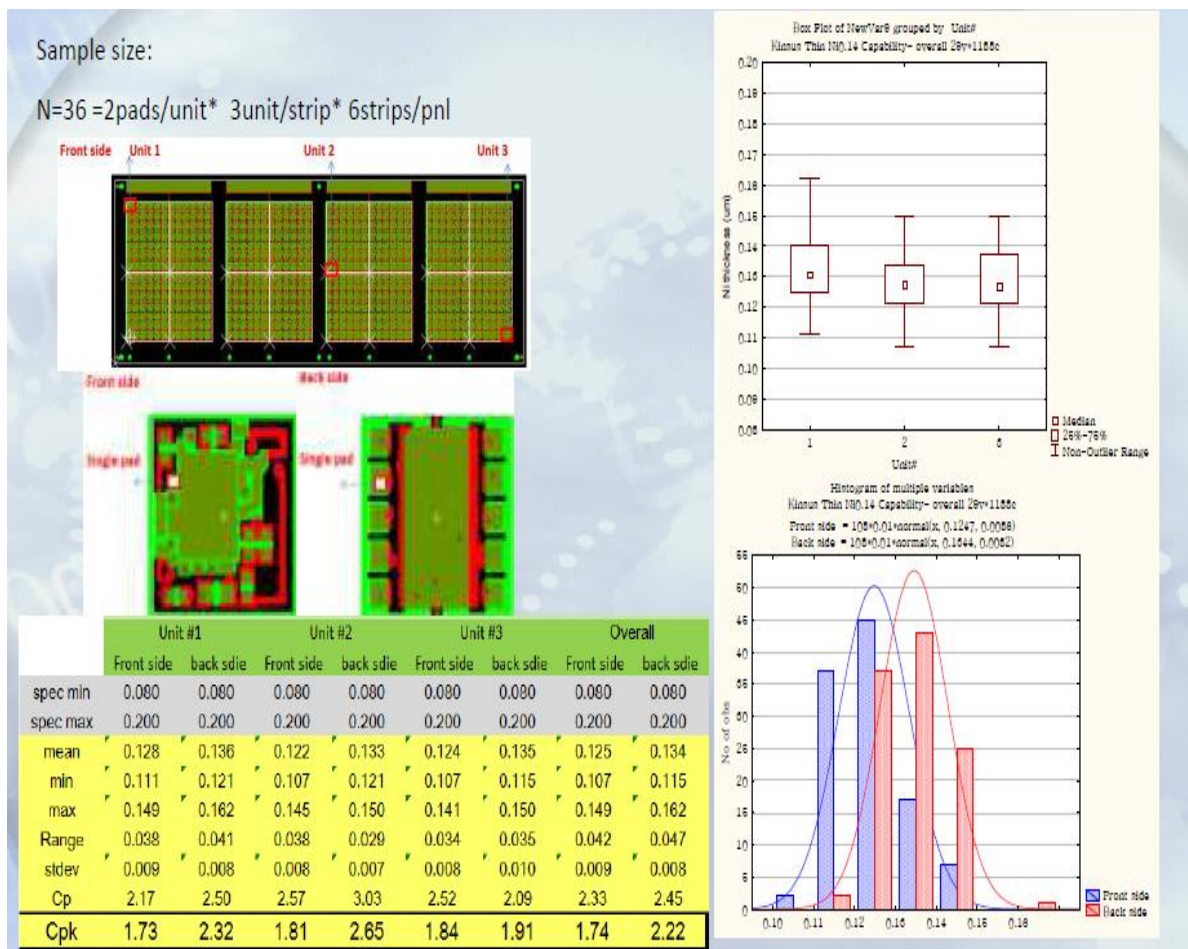


Figura27: Medición de espesor de níquel en diferentes puntos en una misma tira.

4.10 Medición de Espesor de níquel en piezas de 3 diferentes lotes.

Tomamos muestras de 3 lotes de diferentes fechas y se les hicieron mediciones tanto parte superior como inferior de las piezas y no se encontró diferencia entre los lotes tal como se muestra en la Figura 28.

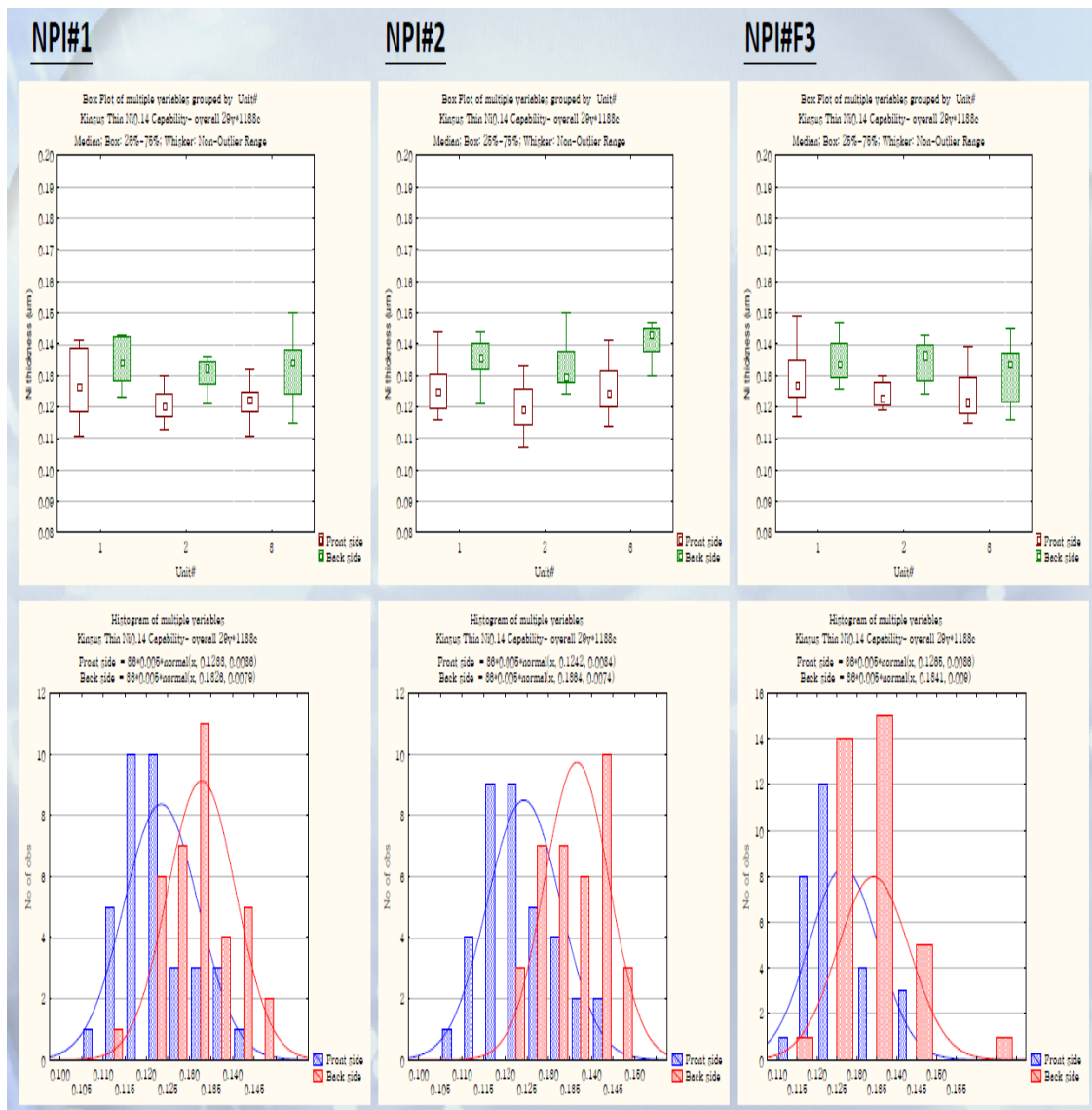


Figura 28 Mediciones de espesor de Níquel de 3 lotes diferentes.

4.11 Medición de Espesor de níquel de tiras de un mismo Panel.

Se tomaron 72 muestras, divididas en tres 6 tiras de un panel, el espesor de níquel no hubo ninguna medición fuera de especificación y nos dio un Cpk >1.67, los resultados son mostrados en la Figura 29. El objetivo es ver si dentro del mismo panel se muestra un espesor de níquel constante.

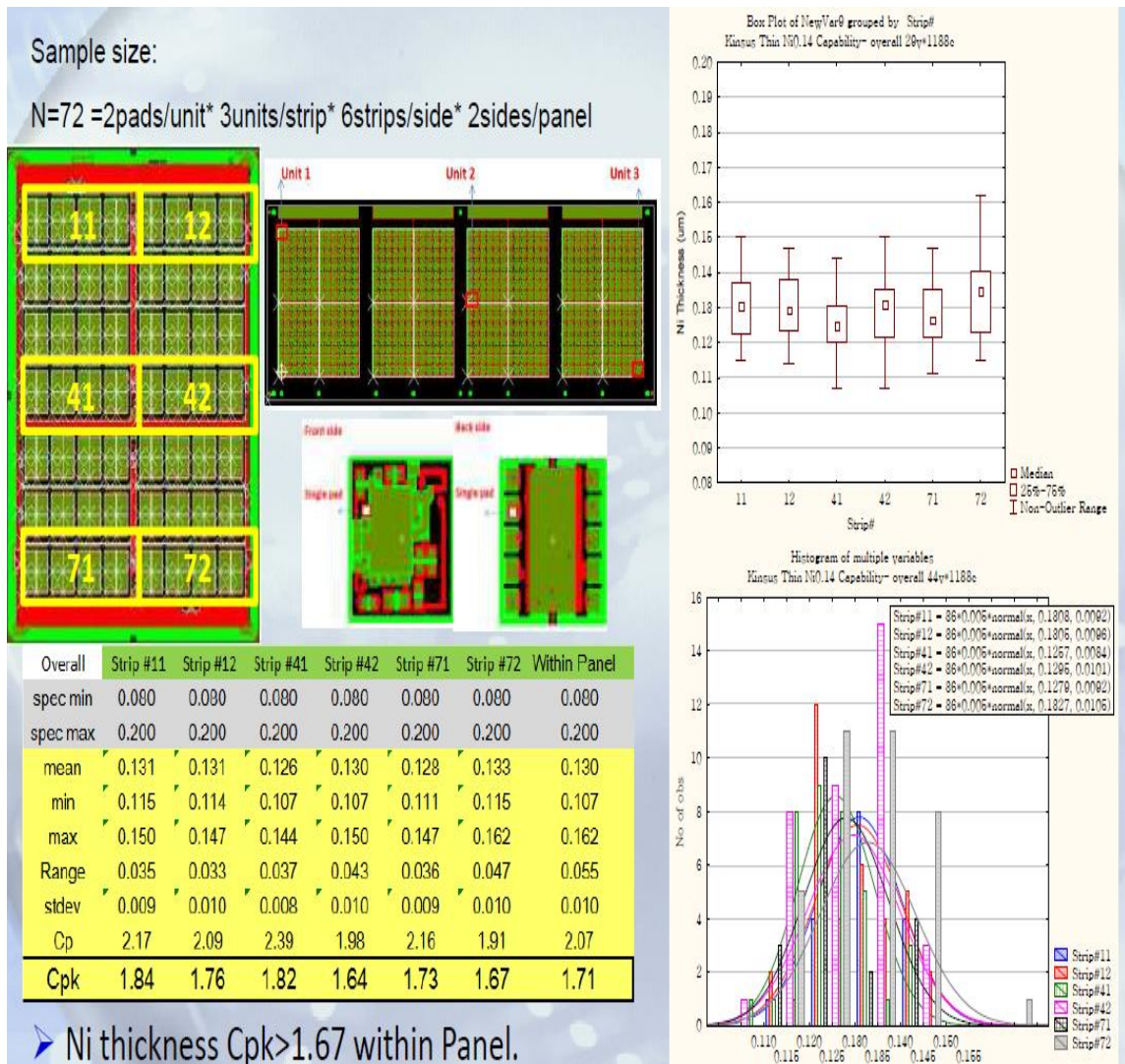
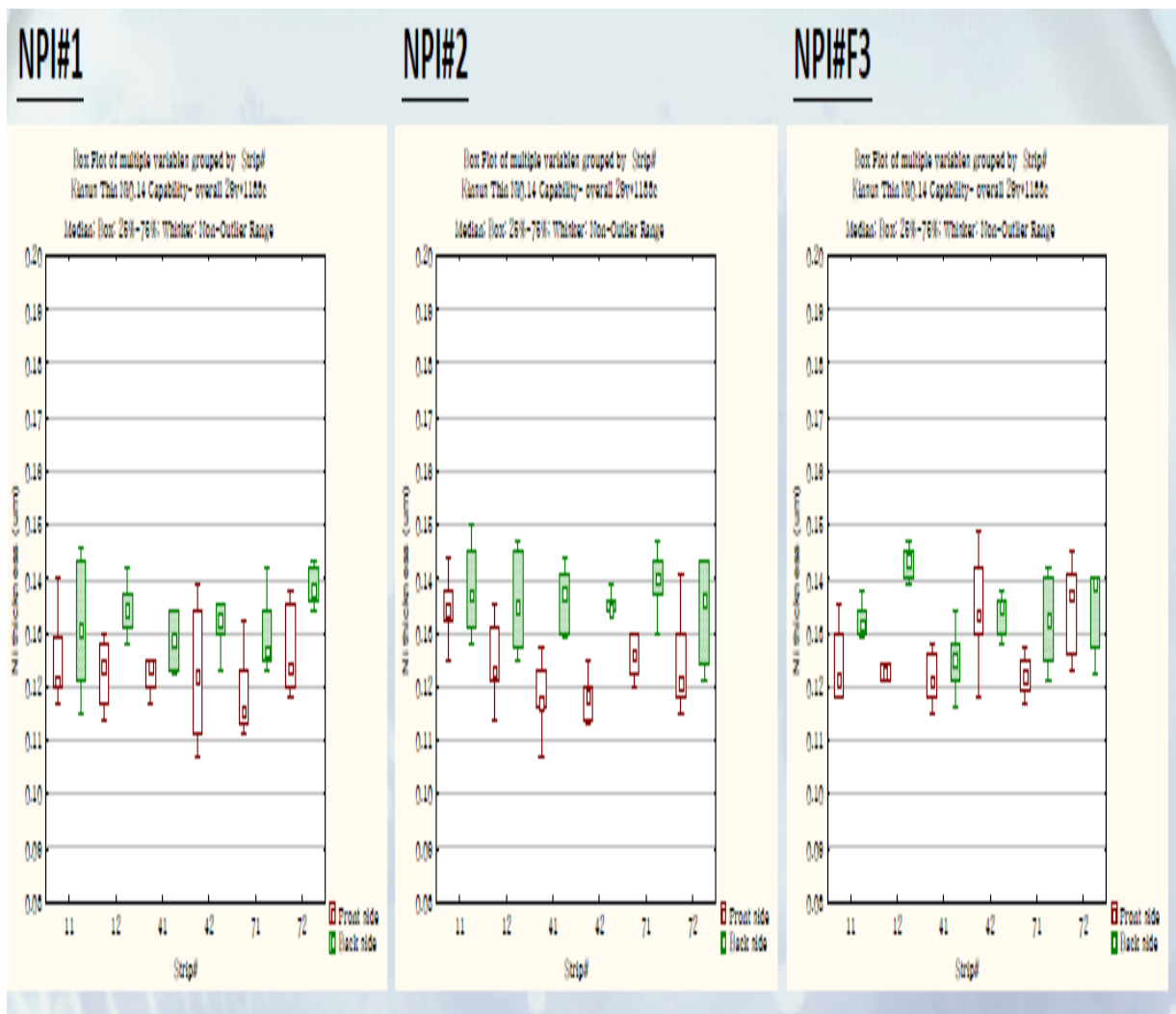


Figura 29: Medición de Espesor de níquel de tiras de un mismo Panel

4.12 Medición de Espesor de Níquel de tiras de diferentes lotes

Se realizan las mediciones de espesor de níquel a 6 tiras de diferentes posiciones en el panel de 3 diferentes lotes, donde los valores obtenidos son de Cpk de un espesor de Níquel > 1.67 lo que muestra que no hay una variación significativa entre los tres lotes, los resultados de las mediciones y la posición de las tiras de cada panel son mostrados en la Figura 30.



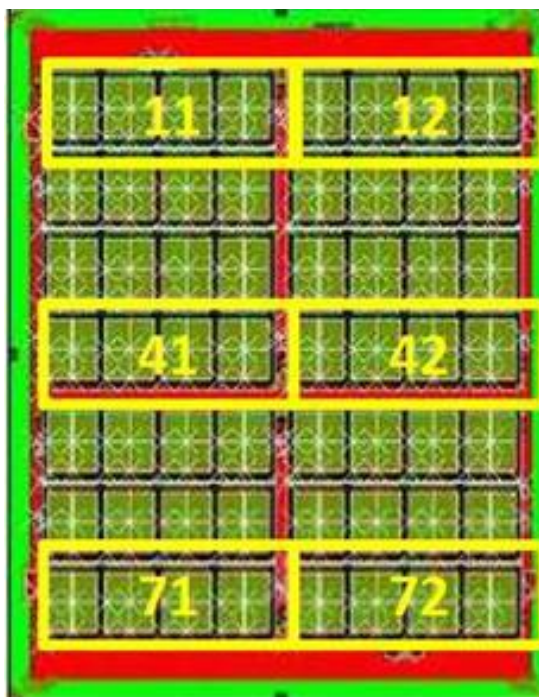


Figura 30: Medición de Espesor de Níquel de tiras de diferentes lotes

4.13 Medición de Espesor de Níquel de Panel a Panel mismo Lote.

Se realizan las mediciones de espesor de níquel a 6 tiras de diferentes posiciones en el panel de tanto parte superior como la parte de abajo del material dando un total de 216 piezas medidas, los valores nos dan que no muestra una variación en el proceso en el mismo panel dando un $Cpk > 1.67$ tal como se muestra en la Figura 31.

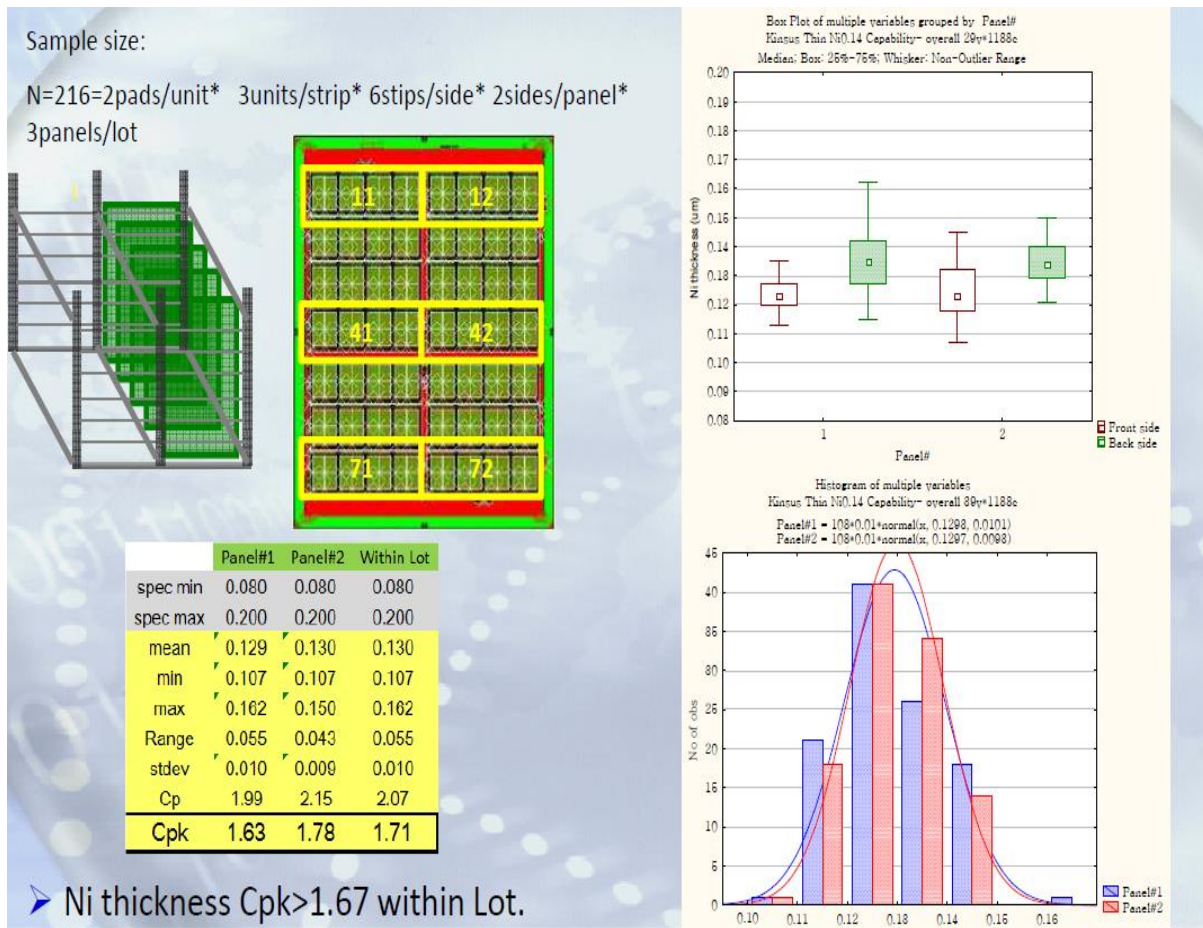


Figura 31: Medición de Espesor de Níquel de tiras de dos paneles.

4.14. Medición de Espesor de Níquel de panel a panel de diferentes lotes.

El Cpk del espesor de níquel >1.67, Figura 32, muestra los resultados indicando que hay una buena correlación entre los paneles del mismo lote, por lo que da confiabilidad de que no importa la posición del panel en el contenedor se puede asegurar una adherencia de Níquel uniformemente a la superficie.

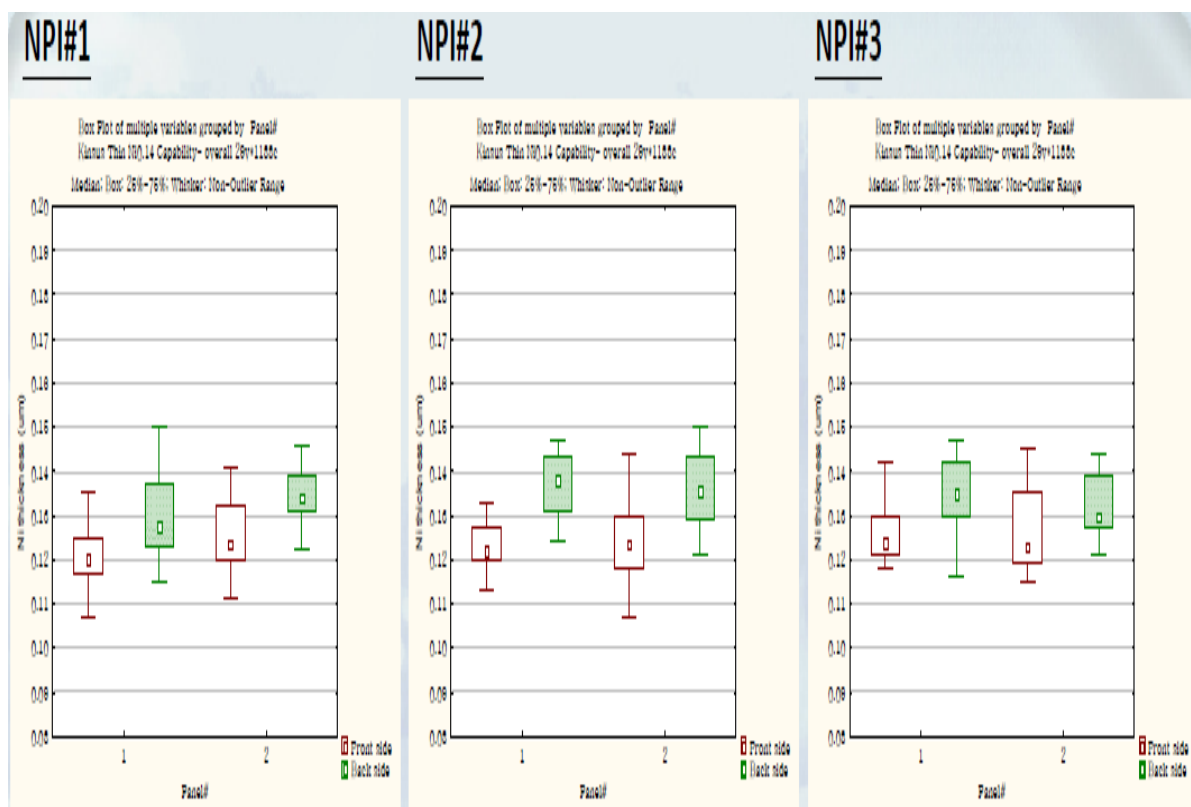


Figura 32: Medición de Espesor de Níquel de tiras de panel a panel de diferentes lotes.

4.15 Medición de Espesor de Níquel de lote a lote.

Se ve que el Cpk de las mediciones de lote a lote sigue dando valores mayores de 1.67, en cada lote, se midieron diferentes posiciones de panel de 3 diferentes lotes, en ambas superficies superior e inferior tal como se muestra en la Figura 33.

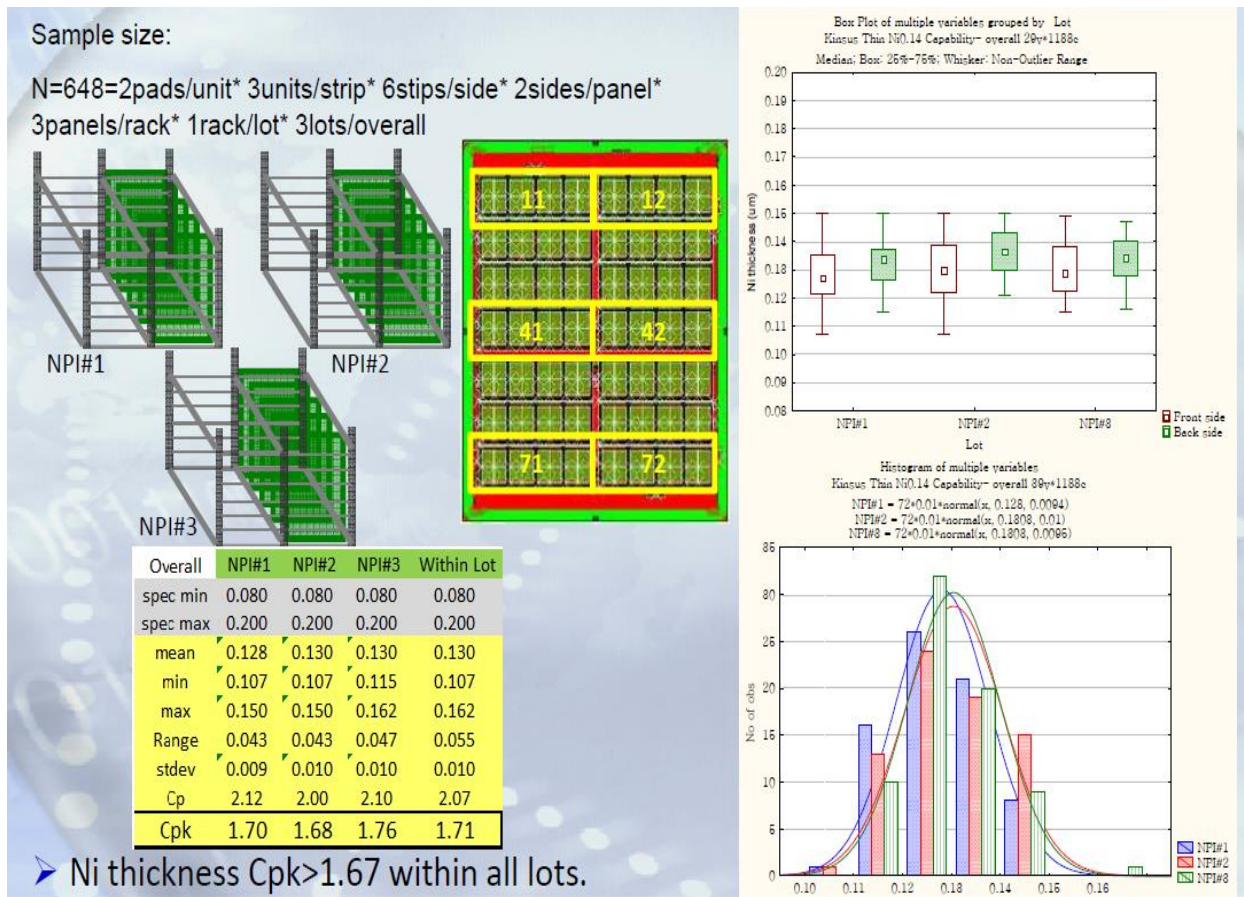


Figura 33: Medición de Espesor de Níquel de tiras de panel a panel de diferentes lotes.

4.16. Pruebas de Confiabilidad

Después de todas estas validaciones de mediciones de espesores, se corrieron las siguientes pruebas de confiabilidad donde no se obtuvo ninguna falla en el material que se ha fabricado a este momento, mostrando las pruebas y resultados en la Figura 34.

Test Item	Test Condition	S/S(STP)	Test Result
PCT Accelerated	☐ Temperature Chamber ESPEC PH-101 , Baking 150°C /4 Hours ☐ HAST HIRAYAMY PC-422R7(121 °C, 100% RH , 6 Hours) ☐ O2 IR Reflow-260°C ☐ O2 IR Reflow-240°C ☐ C-SAM SERIESN D-9000 Sonoscan INC.	4 stp's/lot, 3lots/test, IR:240°C 4 stp's/lot, 3lots/test, IR:260°C	Pass
Pre-condition	☐ Level 1:85°C , 85% RH , Time 168 Hours ☐ Baking 125°C / 24 Hours ☐ TEMP.& HUMID CHAMBER ESPEC PH-1-K ☐ N2 IR Reflow-260°C ☐ N2 IR Reflow-240°C ☐ C-SAM SERIESN D-9000 Sonoscan INC.	16 stp's/lot, 3lots/test, IR:240°C 16 stp's/lot, 3lots/test, IR:260°C	Pass
PCT (168H)	☐ Test Condition :121 °C, 100% RH ,168 hours. ☐ JESD-102/KSQ402	4 stp's/lot, 3lots/test	Pass
TCT(500Cycles)	☐ Test Condition :TCT500 Cycles , -65 °C to 150 °C ☐ X-section 2 pcs / 500 cycles ☐ JESD-104/KSQ403	4 stp's/lot, 3lots/test	Pass
TCT(1000Cycles)	☐ Test Condition :TCT1000 Cycles , -65 °C to 150 °C ☐ X-section 2 pcs / 1000 cycles ☐ JESD-104/KSQ403	4 stp's/lot, 3lots/test	Pass
THST (1000H)	☐ Test Condition :Baking 150°C / 1000 Hours ☐ JESD-101/KSQ408	4 stp's/lot, 3lots/test	Pass

Figura34: Pruebas de Confiabilidad realizada a lotes de producción

Capítulo 5 Correlación Proveedor vs Cliente.

5.1 Equipo utilizado para Mediciones de Espesores en los tableros PCB.

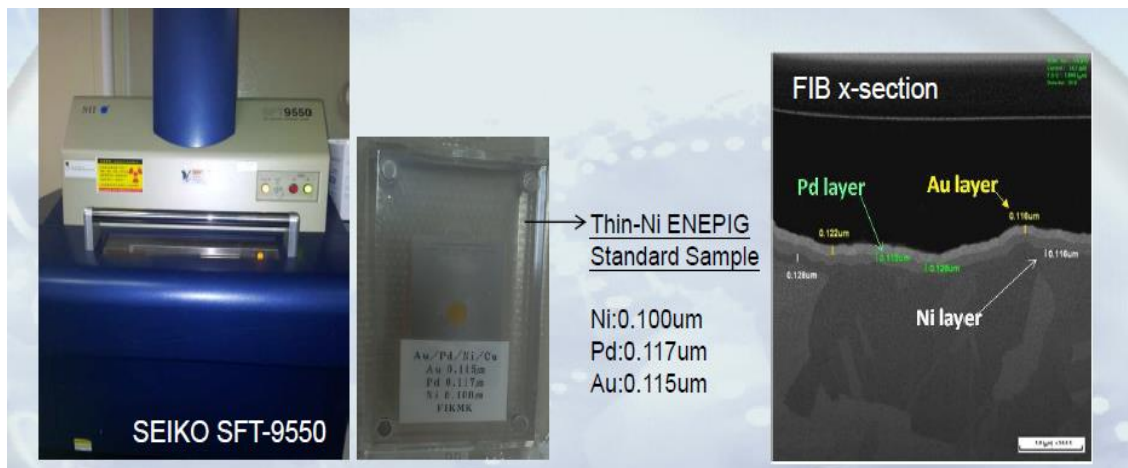
Para las mediciones de espesor se utiliza un equipo especial de XRF en este caso fue una ventaja ya que tanto el proveedor como nosotros usamos el mismo equipo, es el modelo Seico SPF-9550, este sistema de medición de espesores cuenta con una capacidad de RoHS (Restricción de sustancias Peligrosas por sus siglas en inglés (Restriction of Hazardous Substances), cuenta con un tubo de rayos X de 75 combinado con un sistema de enfoque de radiografía crea un haz de menos de 0.1mm de diámetro con cual permite medir áreas micro y en aplicaciones de películas delgadas que en este caso la usamos para medir espesores en una superficie de tablero PCB.

Para poder hacer las mediciones de la capa níquel en valores bajos, el proveedor del equipo de medición proporcionando los colimadores que se deben de usar como estándares de medición y al mismo tiempo para la realización del programa a utilizar para las mediciones.

Estándares Sugeridos:

- Estándar de Níquel 0.1 micrones
- Estándar de Paladio: 0.117 micrones
- Estándar de Oro: 0.115 micrones

Basado en esto el proveedor realizo el programa de medición en el equipo del que se estará usando para efectos de realizar mediciones de espesor dentro de la de la empresa, y no solo tener la información del proveedor del material, para poder estar listos con las mediciones e internamente se tomó una muestra en donde se hizo medición y aparte se confirmó con un análisis de FIB (Focused Beam of Ions), ver Figura 20.



	Sample A Ni (um)	Sample B Ni (um)
Kinsus XRF	0.145	0.567
FIB	0.14	0.59
Error%	3.6%	3.9%

Figura 20: Muestra una el equipo de Medición, los estándares que se utilizarán para la realización del programa y a la ves serán los utilizados para la verificación y/o calibración del Equipo y la comparación de una pieza medida con la maquina más el análisis de FIB.

5.2 Mediciones de correlación.

Se trabaja con el proveedor de tableros PCB y se fabrican 7 lotes usando el e4spsor definido de 0.14 micrones como valor nominal con una especificación de ± 0.6 micrones, de los cuales a cada uno de ellos se les toma una muestra aleatoria de 30 piezas para realizar mediciones de espesor de níquel en ambas partes tanto en el lado del proveedor como en el equipo ubicado en la planta de Mexicali, los resultados son mostrados en la Figura 21, donde muestra que no existe estadísticamente una diferencia entre las mediciones del proveedor y las de la planta de ensamble.

- Proveedor de tableros ubicado en Taiwán muestra un promedio: 0.153 micrones
- Resultados de la planta de ensamble Muestra un promedio 0.155 Micrones

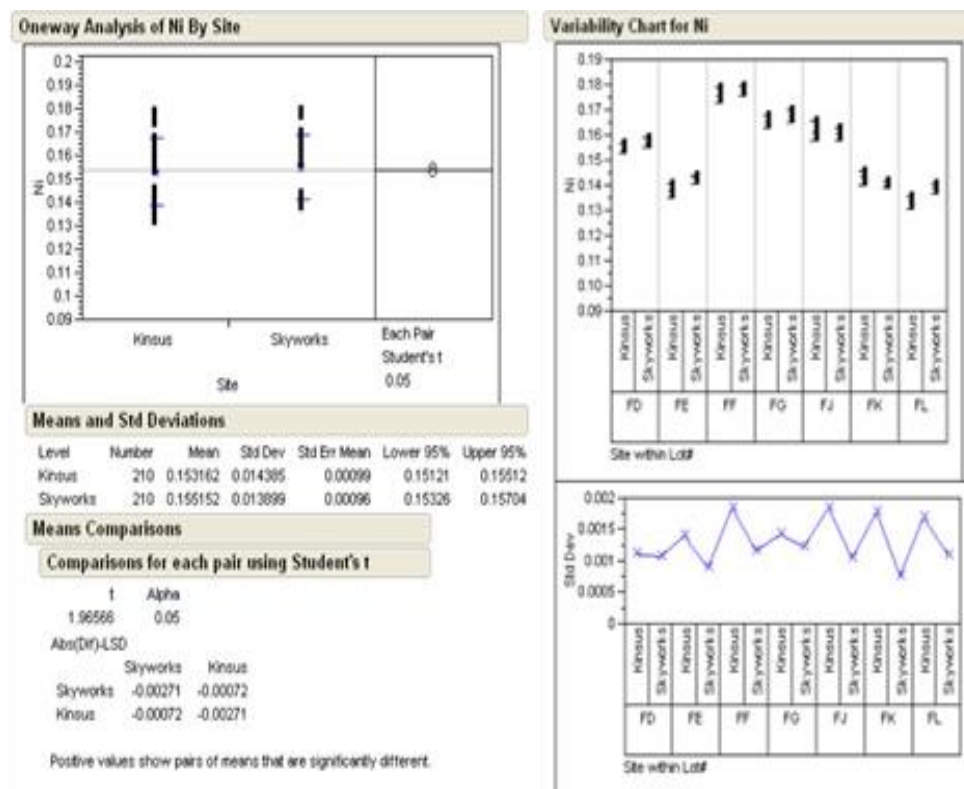


Figura 21: Resultados de las mediciones de 7 lotes medidos por el proveedor e internamente en Mexicali.

5.3 Pruebas de Alambrado.

Utilizando los lotes muestra de la correlación se realiza el alambrado del material con alambre de oro de 0.8 mm, con la distribución mostrada en la Figura 21, y se le realizan pruebas de adherencia (Pull Test) donde ningún valor es menor a los 3 gramos como el minino de fuerza aceptable valores están en la Figura 22, se le toma fotos al a las conexiones de alambre en el piso del tablero PCB, Figura 23.

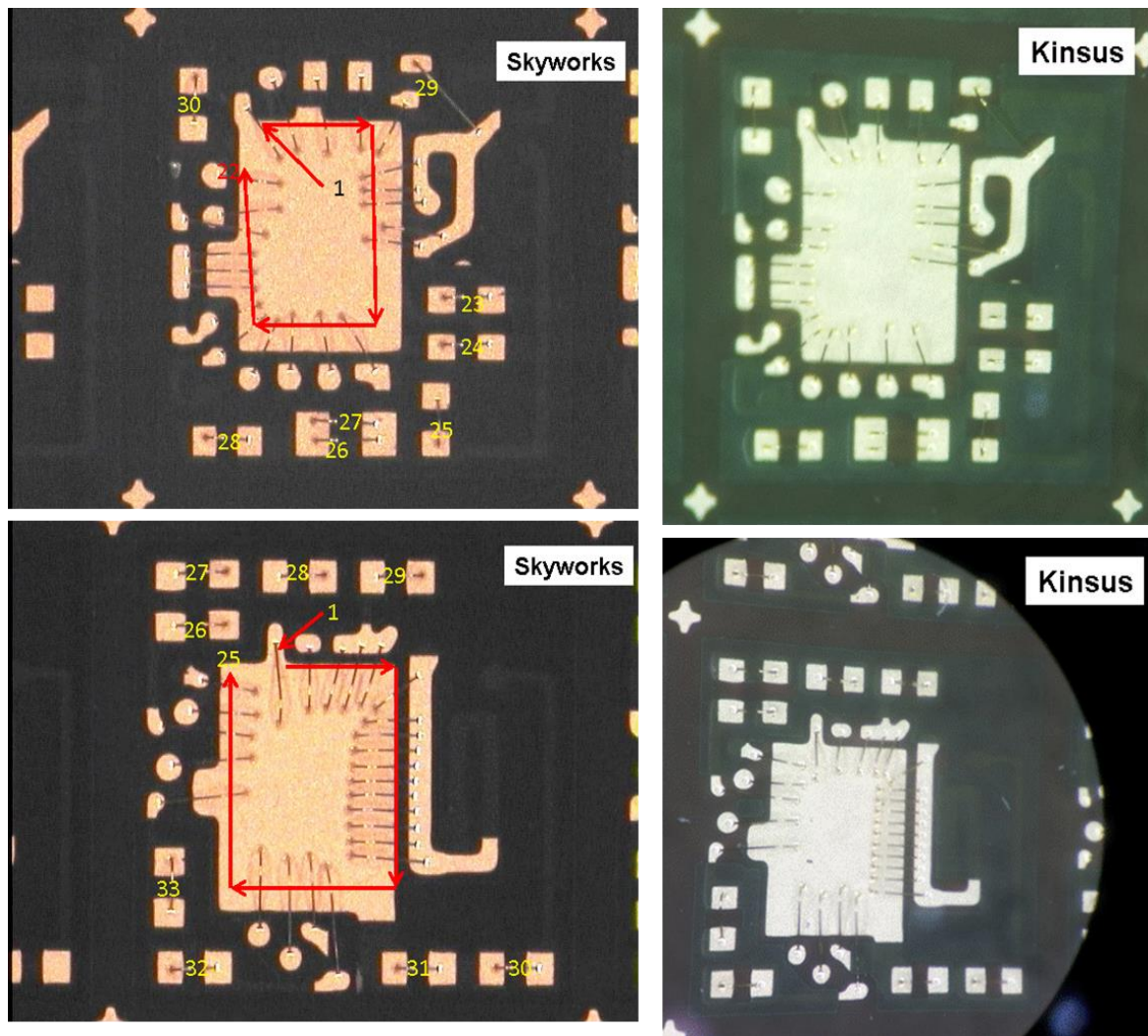


Figura 21: Muestra la distribución de alambrado.

Num Lot	Muestra	Min (Pull Test)	Promedio (Pull Test)	Max (Pull Test)
FA	200	3.622	4.213	4.741
FB	200	3.493	3.98	4.474
FC	200	3.545	4.211	4.881
FD	200	3.497	4.011	5.273
FE	200	3.569	4.161	4.744
FF	200	3.487	4.212	4.841
FG	200	3.551	4.212	4.838
FJ	200	3.491	3.991	4.662
FK	200	3.585	4.208	4.773
FL	200	3.493	3.992	4.587

Figura 22: Muestra resultado de prueba de adherencia del alambre de oro.

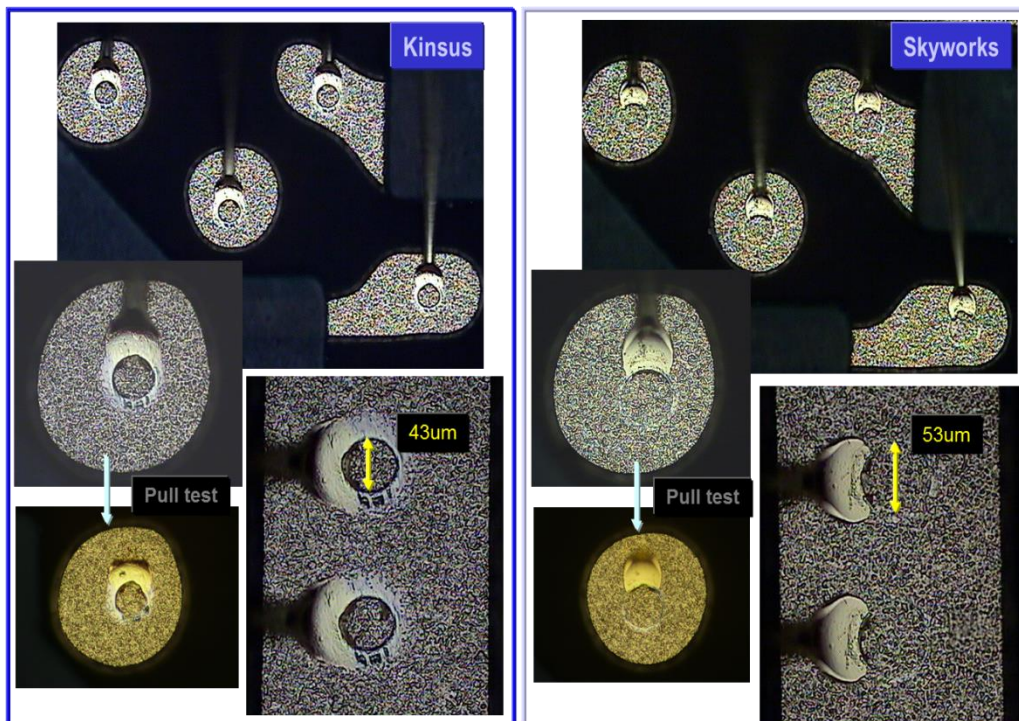


Figura 23: Muestra conexiones de alambre en el Tablero PCB.

5.4 Fabricación de muestras.

Basado en estos resultados se inició la fabricación de más muestras para poder ensamblar estas en la línea de producción y dar inicio a la calificación con el cliente basado en los resultados al final del proceso, con el objetivo principal de desarrollar y calificar el nuevo espesor de níquel en material de tablero PCB a utilizarse en producción con un proveedor de arranque esto, donde se obtendrán más datos y pruebas de confiabilidad internas esto con la idea de justificar de que se tienen un proceso estable y poder adquirir la reducción de costo que varía entre 3 a 8 %. Por lo que se majan como el valor de espesor de Níquel de 0.06 a 0.2 micrones. Figura 24.

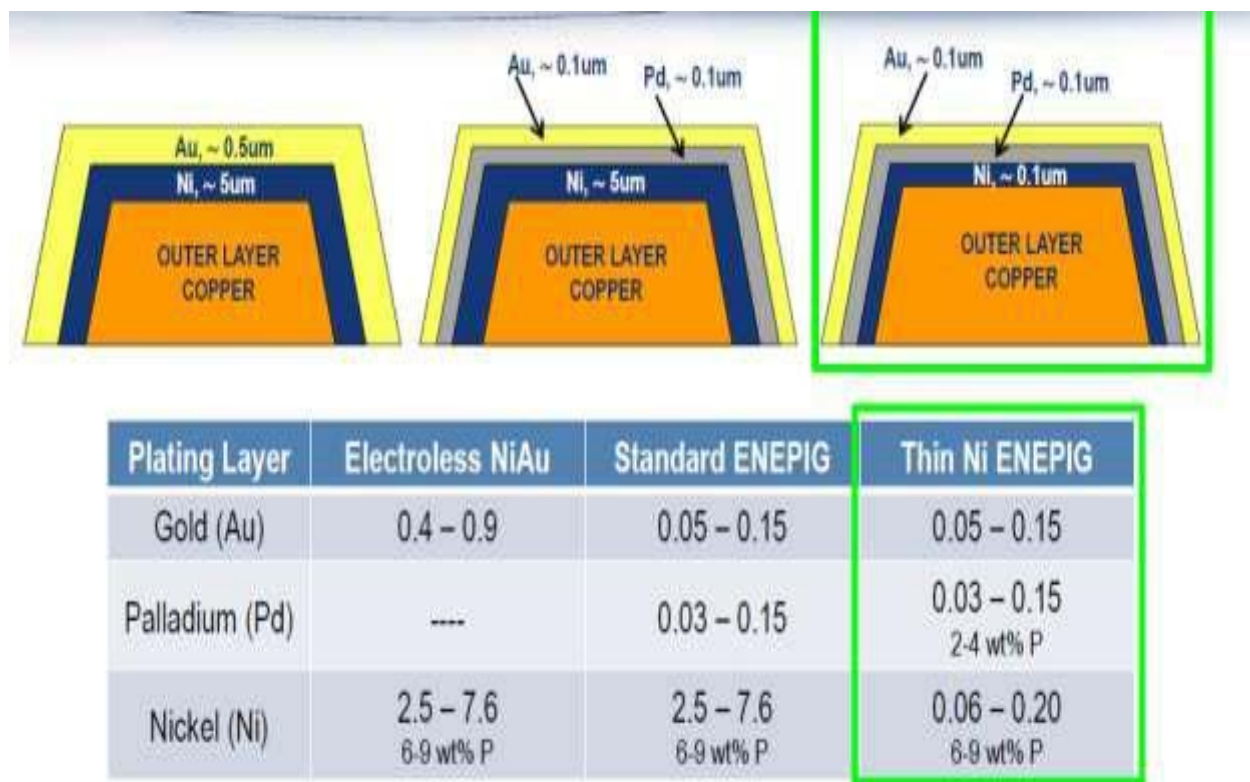


Figura 24: Muestra tipos de espesores en los tableros PCB.

5.5 Elaboración del FMEA

Se realiza un Análisis de fallas con el grupo interno de Ingeniería junto con el grupo de Alambrado utilizando el formato mostrado en la Figura 25 identificado como las críticas, se toman acciones en los puntos donde RPN era mayor y se lograron bajar a valores de 70.

Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	Severity	Potential Cause / Mechanism of Failure	Occ	Current Process Controls		Det	RPN	Recommended Actions	Action Results			
					Prevention	Detection				Actions Taken	Sev	Occ	Det
Poor PCB finish plating wire bondability	Non-stick on leads	7	Contamination	3	Kinsus CTQ metrics	Kinsus outgoing & Skyworks incoming inspections	5	105	STR assembly wire bond & pull test	Completed WB on 16 Kinsus Thin Ni PCB lots in 7 STRs	7	2	5
	Peeling finish plating	7	Contamination	3	Kinsus CTQ metrics	Kinsus outgoing & Skyworks incoming inspections	5	105	STR assembly wire bond & pull test		7	2	5
	Wire bond pad stains	7	WB process breaking thru & exposing Cu w/ oxidizing atmosphere present	2		Kinsus outgoing & Skyworks incoming inspections	5	70	STR assembly wire bond & pull test. Skyworks dev / qual new capillary mark free WB process?		7	2	5
	Low pull force	7	Contamination	3	Kinsus CTQ metrics	Kinsus outgoing & Skyworks incoming inspections	5	105	STR assembly wire bond & pull test. Module level reliability testing.		7	2	5
Poor PCB finish plating solderability	Poor PCB / module solderability	7	Contamination	3	Kinsus CTQ metrics		7	147	Steam age solderability test	Completed steam age solderability testing on 3 PCB lots	7	2	5
	Poor PCB / module to mother board adhesion	7	Contamination, Weak intermetallics	3	Kinsus CTQ metrics		8	168	BLR Drop Test	Completed 30 drops. Additional 30 drop ECD 10-15-12	7	2	5

Figura 25: Muestra el FMEA realizado en el proceso de alambrado como parte de la calificación de nuevos productos.

Como parte de la Calificación se trabajaron 25 lotes a los cuales se les hicieron pruebas con equipo ubicado con el proveedor y a los mismos lotes se les elaboraron pruebas Internas en la empresa, tales como Medición

de Espesor, Alambrado y pruebas de adherencia del alambre, dando resultados muy positivos tal como se muestran en tabla 6.

Pruebas:

- Mediciones de espesores con máquina con el Proveedor.
- Alambrado del material con el proveedor.
- Alambrado del material en la planta de ensamble.
- Prueba de confiabilidad en la planta de ensamble.
- Producción bajo volumen en la línea de producción.

#	Critical Feature	Sample Size	Description	Results
1	Kinsus In-line Ni Thickness Control	25 PCB plating lots	0.14 +/- 0.06 um Ni, Cpk $\geq$ 1.67	Pass
2	Kinsus Wire Bond Capability	25 PCB plating lots	0.12 to 0.30 +/- 0.06 um Ni, Cpk $\geq$ 1.67	Pass
3	Skyworks Wire Bond Capability	25 PCB plating lots	See slide #6	Pass
4	Skyworks Module Level Reliability	3 PCB plating lots	JEDEC MSL3/260, HAST, T/C, HTS, Solderability & HTOL Samsung Reflow, PCT & THB	Pass
5	Skyworks 2 nd Level Reliability	3 PCB plating lots	JEDEC 60 Drops, 1K Temp Cycles, 200K Cyclic Bends	Pass
6	Skyworks Low Volume Manufacturing	7 PCB plating lots	~80K SKY77705-14 20 um dia Au wire TECO	Pass

Tabla 6: Resultados de las pruebas de calificación.

5.6 Pruebas de certificación en producción

La tabla 7, muestra las pruebas realizada al producto final para asegurar que sean viables al cliente, los resultados no mostraron fallas.

Test ¹	Qty for Qualification	Endpoints (ATE)	Accept Criteria	Results
HTOL Tc = 125 +/- 5 °C, Tj ≥ 125 °C Dynamic stimulus (JESD22-A108)	77 x 1 lot (90 for LTM build)	ATE electrical test 168 Hours 500 Hours 1000 Hours	0 Fail / 77	SKY77705-14: PASS
Preconditioning MSL3/260°C (JESD22-A113)	240 x 3 lots	Bake 125C 24 Hours Moisture Soak 3x Reflow ATE electrical test	0 Fail / 240	QL1 / SKY77705-14: PASS QL2 / SKY77704-15: PASS QL3 / SKY77704-15: PASS
HAST ² 130 °C, 85 %RH, 33 PSIA, max VCC bias (JESD22-A110)	77 x 3 lots (from preconditioning)	96 hours ATE electrical test	0 Fail / 77	QL1 / SKY77705-14: PASS QL2 / SKY77704-15: PASS QL3 / SKY77704-15: PASS
Temperature Cycling -65 °C to +150 °C (JESD22-A104)	77 x 3 lots (from preconditioning)	500 cycles (condition C) ATE electrical test	0 Fail / 77	QL1 / SKY77705-14: PASS QL2 / SKY77704-15: PASS QL3 / SKY77704-15: PASS
High Temp Storage 150 °C (JESD22-A103)	25 x 3 lots (from preconditioning)	1000 hours ATE electrical test	0 Fail / 77	QL1 / SKY77705-14: PASS QL2 / SKY77704-15: PASS QL3 / SKY77704-15: PASS

¹ All stress tests are performed by the procedures referenced in SQ03-0024.

² Preconditioning is required before TC, HAST, and HTS stresses. The moisture sensitivity level must be documented.

Tabla 7: Resultados de las pruebas de calificación

5.7 Reporte de Calificación de ThinNi Kinsus PCB

5.7.1 Información general

Numero de parte: [SKY77705-14](#), [SKY77704-15](#)

Tamaño del Paquete: [3x3mm](#)

Num Reporte: [Qual-QP-12-01157](#)

Los siguientes puntos define los requisitos de calificación de paquetes y resultados para TABLEROS Fabricados en Kinsus con el espesor ThinNi ENEPIG (ThinNiPdAu) . Haciendo referencia a los modelos SKY77704-15 y SKY77705-14 que fueron utilizados como vehículos de prueba. Estos dispositivos se montan en un paquete MCM 10L 3x3mm calificado y los dados son fabricados en procesos CMOS y GaAs calificados. Los vehículos de prueba se montaron en los laminados de PCB con un espesor de 0.08-0.14 micrones de espesor de Níquel.

El espesor de la capa de Pd(paladio) y Au(oro) en el acabado de la superficie no fueron afectados. Los PCB con el acabado superficial de ENEPIG níquel normal tienen un estándar de espesor de 2,5-7.5 micrones, la materia prima de Kinsus identificada como laminados de PCB con un proceso de adherencia del espesor de níquel en valores ya definidos como ThinNi cumple con los requerimientos de la planta de ensamble y con los requisitos de confiabilidad valorado en JEDEC MSL3 / 260 ° C para la sensibilidad a la humedad.

5.7.2. Documentos de Referencia dentro de la empresa

Qualification Standard

Wafer Process Qualification Requirements

Package and Assembly Qualification Requirements

Product Qualification Requirements

5.7.3 Documentos de apoyo.

JESD22	JEDEC Standard Test Methods
JESD47	Stress-Test-Driven Qualification of Integrated Circuits
MIL-STD-883	Department of Defense Test Method Standard, Microcircuits
JESD22-B113	Board Level Cyclic Bend Test Method for Interconnect Reliability Characterization of SMT ICs for Handheld Electronic Products
JESD22-B111	Board Level Drop Test Method of Components for Handheld Electronic Products
JESD22-A104	Temperature Cycling

5.7.4 Descripción del producto y de la Información - SKY77704-15

El número de parte a utilizar como parte de la calificación es el SKY77704-15, el cual es un amplificador de potencia. Power Amplifier Module for LTE / EUTRAN Bands 5, 18, 19, 20 (815-862MHz).

5.7.5 Información del Bill de material

Dada/Paquete	Cant	Mascara	Compañía	Ubicación	Tecnología	Material
RP1500	1		Planta de ensamble	Woburn, MA	pHEMT GaAs	Epoxy 1576A
64075	1	L1	Planta de ensamble	Newbury Park, CA	HBT GaAs	Epoxy 1290WA
K5002	1				Silicon (spacer)	Film

5.7.6 Información de Ensamble y tamaño del circuito

Fabricante: Planta de ensamble , Mexicali
Familia Tecnológica: 3x3mm 11L MCM
Dimensiones del dispositivo semiconductor: 3 x 3 x 0.9mm
Diagramas de ensamble: TW57-D957-001 / 6L PPG SSV-EO
MCM(60)
Tecnología de tablero: Thin Ni ENEPIG
Alambre tipo y tamaño. Alambre de Oro 20 Micrones de diámetro.
Materia del Emplastecido (molding) : Sumitomo G770HF
Marcado al paquete fina: Marcado maquina Laser.

5.7.7 Requerimientos para las pruebas de confiabilidad

La tabla 8 muestra a las pruebas de confiabilidad al circuito ya fabricado relacionado a la prueba de soldereabilidad.,

Prueba	Cantidad	Criterio de Aceptación ¹	Resultados
Solderability (JESD22-B102)	30 units x 3 lots	Test and criteria per JESD22-B102 0 Fail	PASS

Tabla 8: Resultados de las pruebas de soldereabilidad.

5.7.8 Pruebas de confiabilidad Board Level Reliability(BLR)

La tabla 9 muestra a las pruebas junto con la muestra, que se Realizaron para las pruebas de BLR.

Tipo de Prueba	Piezas	Condiciones	Criterio de aceptación	Resultados
HTOL Tc = 125 +/- 5 °C, Taj ≥ 125 °C Dynamic stimulus (JESD22-A108)	77 x 1 lot (90 for LTM build)	ATE electrical test 168 Hours 500 Hours 1000 Hours	0 Fail / 77	SKY77705-14: PASS
Preconditioning MSL3/260°C (JESD22-A113)	240 x 3 lots	Bake 125C 24 Hours Moisture Soak 3x Reflow ATE electrical test	0 Fail / 240	QL1 / SKY77705- 14: PASS QL2 / SKY77704- 15: PASS QL3 / SKY77704- 15: PASS
HAST² 130 °C, 85 %RH, 33 PSIA, max VCC bias (JESD22-A110)	77 x 3 lots (from preconditioning)	96 hours ATE electrical test	0 Fail / 77	QL1 / SKY77705- 14: PASS QL2 / SKY77704- 15: PASS QL3 / SKY77704- 15: PASS
Temperature Cycling -65 °C to +150 °C (JESD22-A104)	77 x 3 lots (from preconditioning)	500 cycles (condition C) ATE electrical test	0 Fail / 77	QL1 / SKY77705- 14: PASS QL2 / SKY77704- 15: PASS QL3 / SKY77704- 15: PASS
High Temp Storage 150 °C (JESD22-A103)	25 x 3 lots (from preconditioning)	1000 hours ATE electrical test	0 Fail / 77	QL1 / SKY77705- 14: PASS QL2 / SKY77704- 15: PASS QL3 / SKY77704- 15: PASS

Tabla 9: Resultados de las pruebas de BLR

Discusión y Conclusiones

El enfoque principal de este proyecto de investigación fue en la utilización de una superficie de tablero PCB (Printed Circuit Board) ya existente en el mercado, conocido como en la tecnología ENEPIG que es una combinación de metales Ni (níquel) / Pd (paladio) /Au (oro) con el principal objetivo de la reducción del espesor de níquel en la misma superficie ,sin que sus características de operación sean afectadas, y fuera posible hacer pruebas de adherencia utilizando alambre de oro de 20 micrones de diámetro, se usó de base el espesor de la capa de níquel es de 2.5 a 7.5 micrones con el valor nominal de 5um.



a) Estructura tablero PCB ENEPIG

, b) ENEPIG Thin Ni

Como parte de ello se trabajó en conjunto con el proveedor de Tableros para entender más a detalle el proceso de fabricación, factores claves fueron: el monitoreo y control de los químicos utilizados en los tanques tanto en Proceso Electrolítico como Proceso Inmersión, aun viendo físicamente podría pensarse que es un proceso sencillo parte de la fabricación, pero al ver la operación en la línea de uno de los proveedores ubicados en Taiwán fue todo lo contrario. Se requieren de muchos controles para garantizar los niveles de calidad que el cliente solicita y poder asegurar una superficie confiable, se tuvo la ventaja de visitar a un proveedor de tableros ubicado en Taiwán cuatro veces durante este proceso donde se pudo ver la importancia de estar monitoreando la solución en los tanques para no poner el riesgo el material. En nuestro caso el enfoque principal fue el tanque donde se tienen el material de níquel donde se le agrega la capa de níquel a los tableros

que es llamado proceso electrolítico (Electroless) de níquel, que contiene el material y es donde se introducen los tableros en forma de Panel para activar la reacción química de los elementos., es un proceso crítico que requiere de un control y monitoreo debido a que pueden estar cambiando las características del material en el tanque y poner en riesgo los tableros PCB a procesarse a esto se le conoce como MTO (Metal turnover), que es básicamente en la vida del químico en el tanque y el cómo se va monitoreando a la par que va siendo ya que el riesgo está en que sea contaminado y ocasione un daño a tu material a no poder agregar el espesor de níquel que se desea.

Las primeras corridas después de que se definió a que valor de níquel, se pudo obtener la reducción del costo a 3 % se identificó que mientras el espesor del níquel pueda sea menor a 1 micrón la reducción del costo de los tableros sería posible.

Al ver los primeros resultados de poder reducir el espesor de níquel el tablero Por lo que se inició con la ventana de un espesor de 0.05 a 1 micrón basado que mientras se esté en ese rango y nos del resultado de confiabilidad se podría seguir justificando una reducción en el costo del material en un 3%.

Las primeras corridas se elaboraron de 0.05, 0.1, 0.3 ,0.5 y 1.0 micrones, con un plan de verificación al realizar las pruebas destructivas de adherencia de alambre de oro de 20 micrones más pruebas en el SEM y VNA.

Los resultados de la adherencia con el alambre fueron resultados positivos ya que aun usando diferentes valores de espesor de níquel no mostro una diferencia sólida que el espesor sea un factor para que la adherencia sea afectada después de cada prueba se realizó una inspección visual donde no se observaron defectos en ninguna de las corridas experimentales.

Resultados del SEM (Scanning Electron microscope) no mostro que la estructura sea diferente basado en valores experimentales de espesor de níquel.

Basado en los resultados de transferencia de señal de frecuencia al probar el material se tomó la decisión de usar un valor nominal de 0.14 micrones con un rango de +/- 6 micrones se elaboraron lotes con esas especificaciones y fueron los que se utilizaron para hacer la correlación con el proveedor y nosotros, para ello fue autorizado la compra del equipo de medición llamado XRF que fue instalada en la planta.

Hoy en día todo nuevo producto que requiere ser fabricado con la tecnología ENEPIG se maneja con un espesor de níquel ya reducido ThinNi , lo cual dio como resultado la reducción de costo en el material de tablero, y a la fecha ya se han generado 54 números de parte dentro de la planta , el nuevo reto ahora es evaluar y validar si la tecnología de tableros ENIG que es un tablero sin el espesor de paladio solo es una capa de oro y una capa de níquel el cual por el costo del oro hoy en día esta tecnología ya es muy costosa más sin embargo aún hay un mercado, en la industria por la cantidad de oro que utiliza en su última capa(4-8 micrones) , el reto es estos números de parte pueden ser cambiados a tableros ENEPIG Thin Ni.

Conceptos

HTOL: High Temperature Operating Life (HTOL) ,

Es una prueba realizada a los productos aplicando altas temperaturas y estrés de humedad para determinar la confiabilidad de los dispositivos utilizados durante un periodo prolongado de tiempo, básicamente las pruebas de la vida deben tener suficiente duración para asegurar que los resultados no se deben a fallas tempranas de la vida o la mortalidad infantil. La prueba consiste en poder incrementar o disminuir las condiciones de Humedad y temperatura y después deben de ser verificadas mediante una prueba eléctrica

HAST: Highly Accelerated Temperature/Humidity Stress Test

Es una prueba rápida que se puede realizar al producto basado en pruebas de temperatura y humedad.

TCT: Temperatura Cycle Test

Esta prueba básicamente es conocida como ciclos de temperatura donde es determinar la capacidad en que el producto puede resistencia alta y altas temperaturas y a la vez resistir exposiciones cíclicas a estas temperaturas extremas.

ENEPIG: Electroless Nickel Electroless Palladium Immersion Gold.

Es un tablero que cuenta con tres capas metálicas sobre una base de cobre siendo níquel-paladio y oro este último como superficie de la parte superior.

ENIG: Electroless Nickel Immersion Gold. Es un tablero que cuenta con dos capas metálicas sobre una base de cobre siendo níquel-y oro este último como superficie de la parte superior que a la par protege que el níquel se oxide.

References

1. <http://eesemi.com> ENEPIG PCB - Electroless Nickel Electroless Palladium ...
2. <http://iconnect007.uberflip.com/i/507417-pcb-may2015/44>, May,2015 by George Milad ,Uyemura International corporation.
3. <http://pcb.iconnect007.com/index.php/article/90459/enepig-the-plating-process/90462/?skin=pcb>
4. ENEPIG: The Plating Process, Junio 15, 2015 | George Milad, Uyemura International Corporation
5. <http://www.epectec.com/pcb/ENEPIG/>, ENEPIG (Electroless Nickel Electroless Palladium Immersion Gold)
6. [http://www.atotech.com/data/pdf/papers_el/Pure Palladium in ENEPIG Surface Finishes.pdf](http://www.atotech.com/data/pdf/papers_el/Pure_Palladium_in_ENEPIG_Surface_Finishes.pdf), Bill Kao Bill Kao Atotech Taiwan , Mustafa Oezkoek Atotech Deutschland , Hugh Roberts Atotech USA Inc
7. <http://www.phase2plus.com/surfaceroughnesstesters/profile-parameters.htm>, Empresa líder en la fabricación de máquinas y accesorios, material de medición precisión
8. <http://bayareacircuits.com/evolution-of-printed-circuit-board-finishes-enepig/>, Publicado en Manufacturing PCBs, PCB 101, en Enero 27, 2014, por Peter Brissette.
9. [http://uyemura.com/pcb-finishes ENIG.htm](http://uyemura.com/pcb-finishes_ENIG.htm), *Uyemura PCB finishes*.
10. <http://uyemura.com/electroless-gold-mirralloy-tin-nickel-plating.htm>, *Uyemura PCB finishes*.

11. <http://www.lg-advice.ro/pdf/IPC-4552-cuprins.pdf>, IPC-TM-650 métodos de prueba. http://saturnelectronics.com/pdf/enepigtemperature_wirebond.pdf, **September 2008**, PCB007
12. <http://www.4pcb.com/media/presentation-how-to-build-pcb.pdf>, Como fabricar un PCB , Advanced Circuits Inc 2004
13. <http://www.pfonline.com/articles/electrolytic-and-electroless-nickel>, ARTHUR S. KUSHNER, 2010
14. <http://www.uyemura.com/images/library/ENEPIG-lead-free-solder-gold-wire-bonding-intermetallic.pdf>, Yukinori Oda, Masayuki Kiso, Seigo Kurosaka, Akira Okada, Kota Kitajima, Shigeo Hashimoto*, Uyemura and Corporation Ltd, Central Research Laboratory, Osaka, Japan, and George Milad, Don Gudeczauskas
15. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.542.3388>, by Douglas Romm , Bernhard Lange , Donald Abbott St , Ard ,2010
16. https://www.researchgate.net/profile/Donald_Abbott/publication/267774331_Board-Mount_Evaluation_of_TinPlated_Component_Leads/links/55afb308aeb9239916f34e.pdf, Donald Abbott, Jul 22, 2015
17. <http://electroiq.com/blog/2001/02/palladium-plated-packages/> BY JINGSONG XIE AND MICHAEL PECHT
18. https://www.researchgate.net/publication/224636003_Root_Cause_of_Black_Pad_Failure_of_Solder_Joints_with_Electroless_NickelImmersion_Gold

_Plating. Kejun Zeng; R. Stierman; D. Abbott; M. Murtuza ,2006. Pages:
1111 - 1119

19. <http://www.ti.com/lit/an/szza004/szza004.pdf> Texas Instrument 2006

20. <http://www.ti.com/lit/an/szza031/szza031.pdf>, *Donald Abbott, Douglas Romm, Bernhard Lange*

21. http://www.cypress.com/sites/default/files/document/files/Qual_Report_for_Integrated_Circuits1.pdf Cypress Semiconductor March 2002

22. http://www.calce.umd.edu/TSFA/calce_has_shown.pdf Sungil Kang and Sechul Park Samsung Techwin Changwon, Kyoungnam, South Korea

23. <http://iconnect007.uberflip.com/h/i/3479605-pcb-jan2014> characteristics of EPICG deposit for fine line application by Shinge Hashimoto pag 12-28 Jan 2017 , The Pro and Con of PCB surface finishes by Al Wright pag 30-38.

24. <https://pdfs.semanticscholar.org/0f12/007948408187bd23bd28f4ce88941e947d4b.pdf> , Mustafa Oezkoek, Gustavo Ramos, Diete Metzger, Hugh Robert.

25. <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/03056129910258252>

Evaluation of Ni/Pd/Au as an alternative metal finish on PCB

Author(s): Zequn Mei (Hewlett-Packard Company, Electronic Assembly Development Center, Palo Alto, California, USA) Ali Eslambolchi (Hewlett-Packard Company, Electronic Assembly Development Center, Palo Alto, California, USA)

26. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7384756/> **Thin PCB-Type Metamaterials for Improved Efficiency and Reduced EMF Leakage in Wireless Power Transfer Systems**, Author(s): Yeonje Cho School of Electrical Engineering, KAIST, Daejeon, Korea
27. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11664-014-3322-z> Review of Capabilities of the ENEPIG Surface Finish, authors **Menahem Ratzker Adam Pearl Michael Osterman, George Milad**

Actividades Extras

Visita al proveedor de tableros ubicado en Taiwán

Octubre 2012, Verificación de Línea

Octubre 2013 Auditoria de Procesos

May 2014. Auditoria de Procesos

Octubre 2014 certificación de la línea de producción