

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



*“MEJORA Y CARACTERIZACION DEL BLINDAJE (SHIELDING) PARA
CONFIABILIDAD DE DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES”*

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTORADO EN INGENIERIA**

PRESENTA:
VICTOR MANUEL MORALES DANIELS

DIRECTOR:
Dr. NICOLA RADNEV NEDEV

CO-DIRECTOR:
Dr. BENJAMIN VALDEZ SALAS

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

JUNIO 2018

Índice

1	Proyecto de investigación de tesis	5
1.1	Definición del Problema.....	5
1.2	Planteamiento del Problema	6
1.3	Justificación.....	8
1.3.1	Proceso de blindaje utilizando pintura de plata.....	9
1.3.2	Proceso de blindaje utilizando blindaje conformal con el método de espurreo ICP	11
1.3.3	Proceso de blindaje utilizando blindaje conformal con el método de espurreo CCP	13
1.4	Objetivos de la Investigación	14
1.5	Hipótesis de Investigación	15
1.6	Marco Teórico	16
1.6.1	Semiconductores: Funcionamiento y concepto.....	16
1.6.2	Aislantes	18
1.6.3	Conductores	19
1.6.4	Teoría de bandas	19
1.6.5	Semiconductores intrínsecos	21
1.6.6	Flujo de electrones y huecos	22
1.6.7	Semiconductores extrínsecos.....	23
1.6.8	Jaula de Faraday.....	24
1.6.9	Interferencia electromagnética (EMI)	26
1.6.10	Parámetros de dispersión S.....	29
1.6.11	Métodos de deposición física de vapor (PVD): espurreo y evaporización.....	30
1.6.12	Deposición química de vapor (CVD).....	34
1.6.13	Plasma	35
1.6.14	Plasma ICP	36
1.6.15	Plasma CCP	39
2	Desarrollo de la investigación	40
2.1	Mejora del proceso de blindaje Ag	40
2.1.1	Definición del correcto alambrado.....	40
2.1.2	Resultados estadísticos del alambrado	42

2.1.3	Definición del correcto pintado.....	43
2.1.4	Resultados del pintado	46
2.1.5	Definición del correcto desbastado con ablación	47
2.1.6	Resultados de la ablación	49
2.2	Procesos de blindaje conformal y sus características críticas	50
2.2.1	Montado de tablero	50
2.2.2	Singulado en UV tape	51
2.2.3	Curado Ultravioleta UV	52
2.2.4	Filme a filme	53
2.2.5	Espurreo	55
2.2.6	Filme a charola	57
2.3	Efecto de ablación con una respuesta eléctrica	59
2.3.1	Resultados del experimento de ablación	60
2.3.2	Confirmación de resultados	61
2.3.3	Conclusiones del experimento de desbastado.....	62
2.4	Efecto de capas de pintura con una respuesta eléctrica	63
2.4.1	Resultado capas de pintura con una respuesta eléctrica.....	64
2.4.2	Conclusiones.....	65
2.5	Efecto del EMI	65
2.5.1	Conclusión de la medición de EMI	66
2.6	Efecto de cobertura del blindaje con respecto a EMI	68
2.6.1	Prueba electrica de piezas con daños superficiales	70
2.6.2	Conclusiones.....	71
2.7	Efectos físicos del resultado de la prueba eléctrica con el espurreo y su solución.....	72
2.7.1	Efecto # 1: Porosidad de Cu	72
2.7.2	Efecto # 2: Descomposición del tape adhesivo/ contaminación de la línea de cobre	74
2.7.3	Efecto # 3: Oxidación de la línea de tierra de Cu	75
2.8	Efectos secundarios al efectuar el espurreo y su solución	76
2.8.1	Soluciones.....	77
2.8.2	Resultados	81
2.8.3	Conclusiones.....	86

2.9	Ventaja del producto conformal en relación a la humedad.....	87
3	Conclusiones finales	91
4	Contribuciones y/o logros.....	93
5	Bibliografías, Citas o Referencias	95
6	Abreviaturas	97

1 Proyecto de investigación de tesis

1.1 Definición del Problema

Los semiconductores como todas las ramas tienen varias fuentes de investigación. Múltiples dispositivos entran dentro de este rubro tales como el transistor, el diodo y numerosos circuitos electrónicos. Se comportan ya sea como conductor o aislante dependiendo de varios factores como la temperatura, o el campo eléctrico o electromagnético o dopantes. En esta ocasión analizaremos como mejorar y caracterizar el blindaje de los dispositivos semiconductores en circuitos integrados y en particular en los dispositivos módulo multi chip (MCM – por sus siglas en inglés, Multi chip Module Devices). Entendiendo el proceso de manufactura y su comportamiento bajo las diferentes fases de construcción, ya sea el blindaje en la forma líquida con una aleación de plata bajo el método de rociado y exponiendo el contacto de tierra bajo el método de ablación. O el denominado “Conformal Shielding” (Blindaje conformal) que este expone su contacto de tierra a través del cobre de manera lateral, que es una de las capas del tablero y utiliza el método de espurreo para generar el blindaje, al hacer contacto con la línea de cobre. Este método se explicará más adelante, pero básicamente es una técnica basada en la formación de un vapor del material a depositar, con objeto de que el vapor se deposite sobre la superficie del substrato formando una capa delgada. Estos blindajes de los circuitos semiconductores ayudan a que otras señales de otros circuitos no afecten la señal principal, ya sea para recibirla o para mandarla. En caso de dispositivos MCM más complejos el blindaje puede servir para aislar diferentes partes dentro del mismo dispositivo. Hoy en día, los múltiples equipos electrónicos como los móviles, computadoras, etc., cada vez vienen más compactos y los numerosos circuitos para su funcionamiento están condensados en un solo circuito integrado y sus disipadores ya no caben en los diseños actuales, por ser tan delgados, es por ello que esta técnica es básica para que la construcción de estos equipos electrónicos sea más práctica, compacta y manejable fácilmente.

1.2 Planteamiento del Problema

Como se mencionó anteriormente, en la definición del problema, el trabajo estará enfocado en la mejora y caracterización del proceso de blindaje en circuitos semiconductores tipo MCM. Este proceso se empezó a desarrollar en una fábrica de circuitos semiconductores en Mexicali, Baja California dedicada al sector de comunicaciones inalámbricas, que ha tenido un crecimiento constante año con año, esto debido al constante desarrollo e innovación de sus productos, entre ellos esta tecnología. En el mercado de los dispositivos electrónicos con comunicación inalámbrica, uno de los principales retos es evitar la interferencia de señales en los microcircuitos, para mantener la operación adecuada y como resultado una comunicación sin interferencia con el usuario final. Para circuitos RF se necesitan múltiples bandas para diferentes propósitos, por ejemplo de 5170 MHz a 5835 MHz para Wi-Fi, de 2400 MHz a 2483.5 MHz para Bluetooth, de 1176.45 MHz a 1575.42 MHz para GPS, o de 380.2 MHz a 960 MHz para GSM, etc., por citar algunos [1]. La interferencia electromagnética (EMI) de los circuitos digitales o circuitos RF puede hacer que no funcionen correctamente. Para ello, es necesario proteger el componente blindándolo con una caja de material metálico conocido como “Jaula de Faraday”, conectando la tierra del tablero usando soldadura. Ya que la onda electromagnética atenúa muy rápido y no puede penetrar en material altamente conductor y los ruidos casi no pueden ser enviados hacia afuera. Hasta ahora la solución más utilizada ha sido colocar cajas metálicas y tapes alrededor del componente, que además de ser costosa para el cliente no es 100% segura y en la mayoría de las aplicaciones es necesario tener una estación de confirmación y retoque. Además, en el sector de mercado de los nuevos productos electrónicos de consumo (como los teléfonos inteligentes, controles remotos, sensores y las tabletas digitales) la tendencia de miniaturización, el incremento de funciones y la guerra de reducción de precios han provocado que la reducción del espacio, peso, y costo de los componentes se conviertan en parámetros críticos. Es por eso que identificamos como una oportunidad el encontrar una solución diferente que fuera más robusta y simplificada en comparación con los sistemas actuales de blindaje. De no ser así, el espacio sería mucho mayor y muy

impráctico, además de no ser competitivo con el mercado actual, por ejemplo, los móviles cada vez son más delgados. En la fig. 1.2.1 y fig. 1.2.2 se ven las diferencias entre los diferentes blindajes con la misma función. En la fig. 1.2.1 con 45.64 mm², una altura de 0.9 mm y un costo de \$1.619 USD. En la fig. 1.2.2 con 175 mm², una altura de 1.8 mm y un costo de 65% más. Fotos [2].



Fig. 1.2.1 Nivel de paquete con Conformal



Fig. 1.2.2. Nivel de tablero con tapa metálica

El proceso de rociado de plata para generar el blindado no se había desarrollado antes en México, y para ello fue necesario entender el funcionamiento de este blindaje, así como todos los procesos operativos, para así caracterizarlos y después mejorarlos.

Básicamente este escrito está basado en todos estos procesos de manufactura y sus mejores prácticas. ¿Cómo se realizaron? En el proceso de pintura de plata: ¿Qué efecto tiene la ablación con una respuesta eléctrica?, ¿Qué efecto tiene la pintura con una respuesta eléctrica?, ¿Qué es blindaje conformal?, ¿Qué diferencias hay de EMI entre material sin blindaje y material blindado con pintura de plata y con blindaje conformal?, ¿En qué medida se tiene que cubrir todo el dispositivo para que siga actuando el blindaje? ¿Qué efectos secundarios pudieron salir durante su desarrollo? ¿Cómo se pudieron mejorar?, ¿Defectos cosméticos y su efecto? ¿Qué ventaja se tiene de los circuitos semiconductores no blindados vs los blindados en cuanto a sus características físicas?

1.3 Justificación

Del problema planteado esperamos obtener una eficiencia en calidad superior al 97%, contando con todas las mejoras en los procesos de manufactura, desde su desarrollo hasta su proceso de implementación y por lo tanto menos desecho, basado en la reducción de una salida desfavorable de la prueba eléctrica y además eliminar el paradigma de que una pequeña exposición del compuesto de moldeo epóxico causado por el marcado laser, al imprimir los datos del dispositivo, rompe la jaula de Faraday dando un efecto negativo en la prueba eléctrica. Entendiendo cada etapa del proceso de manufactura, sus deficiencias y como mejorarlas, para así poder desarrollar este producto con ventajas competitivas en el mercado, tanto en costo como en espacio. Mencionaremos tres procesos de manufactura a evaluar:

- 1.- Proceso de blindaje utilizando pintura de plata
- 2.- Proceso de blindaje utilizando blindaje conformal con el método de espurreo con plasma acoplado inductivamente (ICP – por sus siglas en inglés, Inductively Coupled Plasma)
- 3.- Proceso de blindaje utilizando blindaje conformal con el método de espurreo con plasma acoplado capacitivamente (CCP – por sus siglas en inglés, Capacitively Coupled Plasma)

1.3.1 Proceso de blindaje utilizando pintura de plata

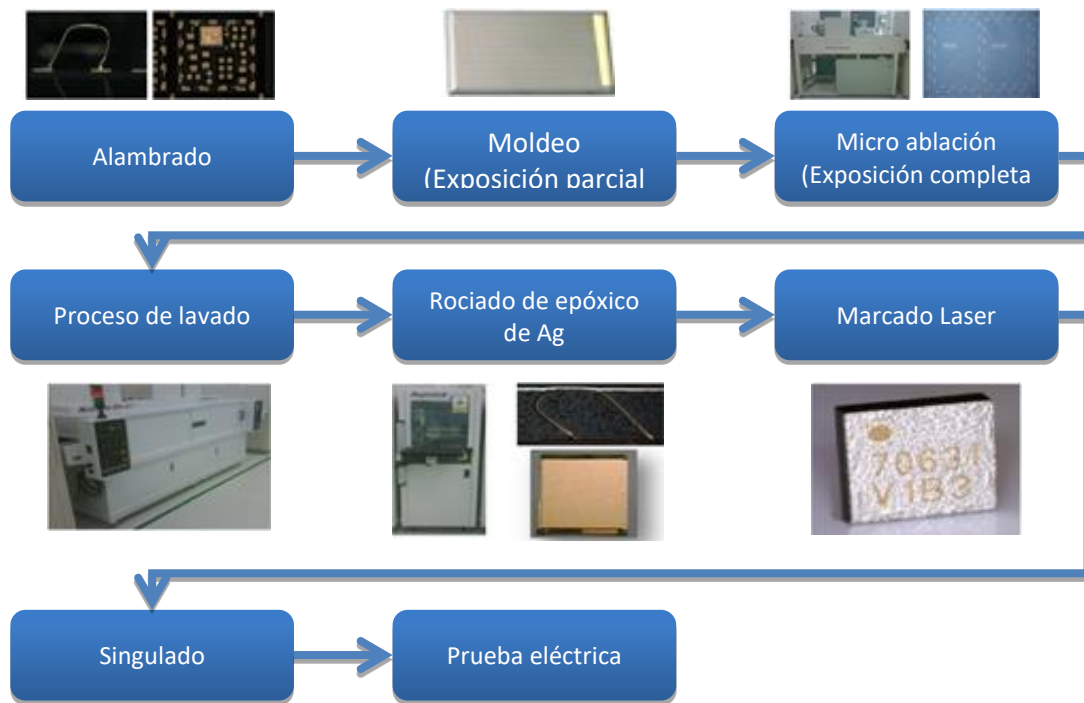


Fig. 1.3.1 Diagrama de flujo de proceso de Blindaje de plata

En la *fig. 1.3.1* explicaremos cada requerimiento del proceso de pintura de Ag para que se pueda dar un producto exitoso [3]. En el proceso de alambrado de cobre, que hace el efecto de la tierra y esta es la que se expone en el moldeo, para a su vez generar el blindaje cuando hace contacto con el rociado de epóxico de plata, siempre debe de mantener una curva o “loop” adecuado en la superficie del dispositivo para que esto suceda. Es necesario tener un control de esta curva de alambre.

En el proceso de Moldeo, se controla la pequeña exposición de alambre basado en el espesor del plástico, es decir, la altura estimada de la curva del alambre es mayor al espesor del plástico a moldear, causando una exposición parcial de los alambres. Es necesario generar un control de este espesor.

En el proceso de Micro ablación, se expone totalmente el alambre, el cual servirá como punto de contacto con el metal para generar el blindaje requerido. En este entender, es necesario caracterizar ese grado de exposición y que efecto tiene con la interferencia electromagnética.

En el proceso de lavado, es solo para eliminar todos los residuos de arena y de epóxico de moldeo para que exista una buena adhesión de la pintura de plata. Prácticamente aquí solo es definir los ciclos de lavado para que esto suceda.

En el proceso de rociado de una aleación que en su mayoría de los elementos es plata, se genera el metal que hace contacto con los alambres de cobre totalmente expuestos en su parte superior. Aquí la idea es definir el grado de pintura a colocar, es decir el espesor de pintura el cual está definida por una capa de pintura en un ciclo, y puede ser que con una capa sea suficiente para que haya contacto con el alambre, o tal vez se requieran más capas para que haga el contacto y con esto el efecto de blindaje.

En el proceso de marcado laser, se imprime la información del producto. Aquí el efecto de no perforar el blindaje y si llegase a pasar, que efecto tendría con el comportamiento eléctrico basado en la atenuación de la interferencia electromagnética.

1.3.2 Proceso de blindaje utilizando blindaje conformal con el método de espurreo ICP

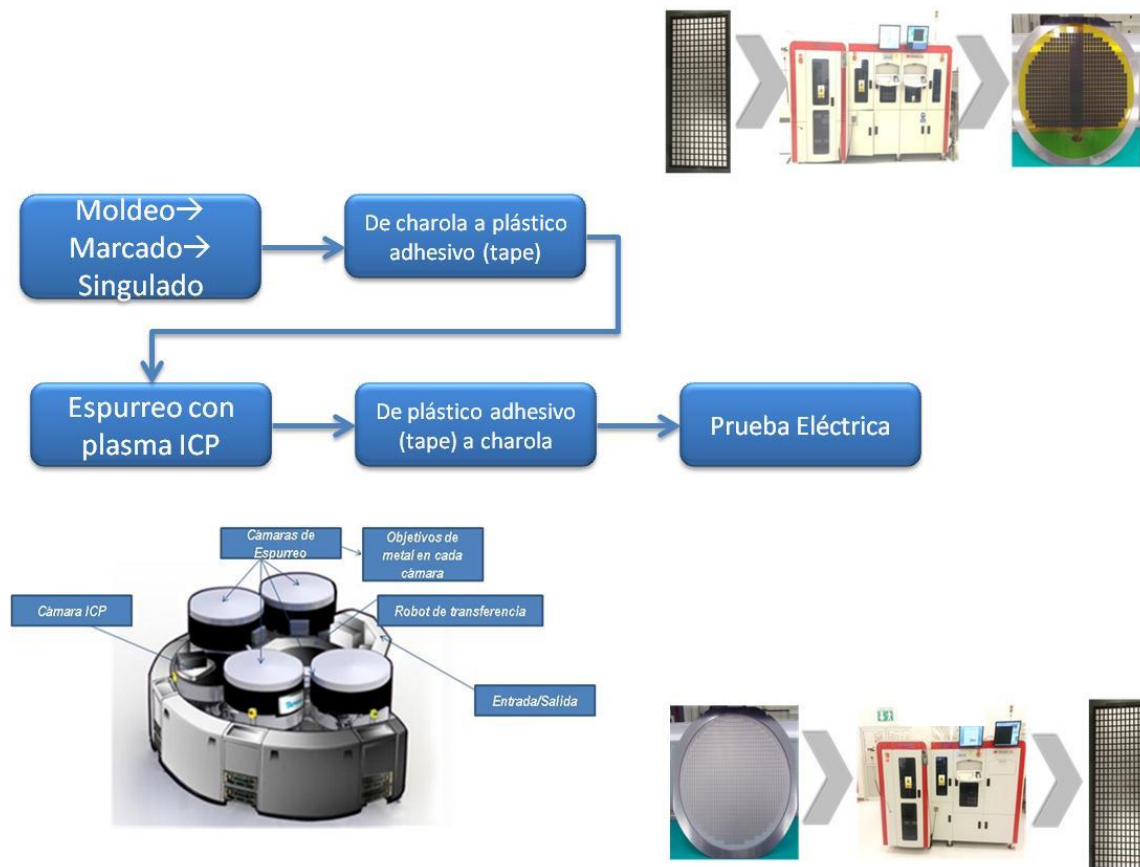


Fig. 1.3.2. Diagrama de flujo de proceso de blindaje conformal con método de espurreo ICP

En la *fig. 1.3.2* explicaremos cada requerimiento del proceso de blindaje utilizando blindaje conformal con el método de espurreo ICP [4], para que se pueda dar un producto exitoso. Los procesos de moldeo, marcado y singulado serán estándar, lo cual indica que no se analizara o investigara algo en estos procesos. El proceso de poner material de charola a plástico adhesivo, solo indicaremos los controles para que haya una separación requerida de al menos 1mm entre paquete y paquete para que exista una deposición metálica en los lados de los mismos, que sería donde se generara el blindaje.

El proceso de espurreo funciona con una cámara de plasma ICP, cuatro cámaras de espurreo y los blancos de metal titanio y cobre, los cuales serían los metales a depositar en el producto o dispositivo electrónico al que le aplicaríamos el blindaje. Aquí

la idea es mejorar el proceso de espurreo para un correcto blindaje. Entender el funcionamiento del plasma ICP, las diferencias con otros tipos de plasma, los parámetros óptimos y el efecto que puede tener en la prueba eléctrica.

El proceso de colocar, del tape a la charola, es solo evitar cualquier daño en el dispositivo y generar algún tipo de defecto ocasionado por este proceso, primordialmente por el manejo que genera este tipo de equipo denominado "Film to tray". Durante el análisis se tuvo algunos efectos secundarios lo cual ocasiono en este tipo de proceso un fenómeno denominado hojuelas, que podría ocasionar un corto con el cliente final. Ese tipo de defecto también será considerado y como se hizo el tratamiento para reducir y/o eliminar este fenómeno.

Aunque existen otras partes del proceso, estas son las más importantes para el enfoque del funcionamiento del blindaje del dispositivo electrónico. El siguiente proceso tendría el mismo objetivo o producto final, pero con un proceso alternativo de plasma, todo eso se detallará en el siguiente punto.

1.3.3 Proceso de blindaje utilizando blindaje conformal con el método de espurreo CCP

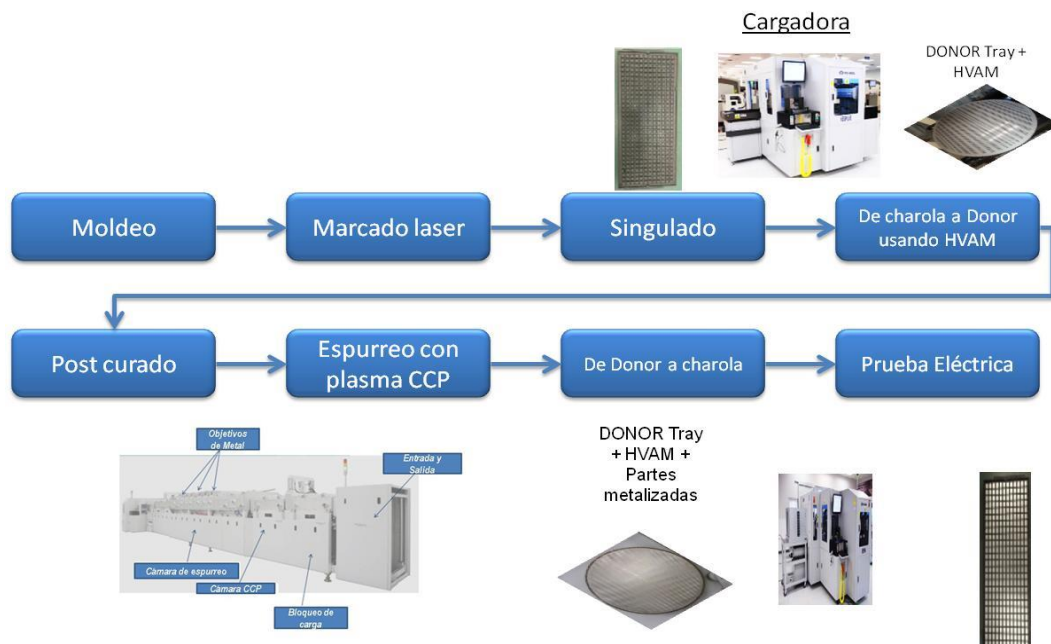


Fig. 1.3.3. Diagrama de flujo de proceso de Blindaje conformal con método de espurreo CCP

En la *fig. 1.3.3* explicaremos cada requerimiento del proceso de blindaje utilizando blindaje conformal con el método de espurreo CCP [4].

Los procesos desde moldeo hasta Singulado son estándar por lo que no serán contemplados en este análisis, si y solo y si tuvieran algún efecto en procesos posteriores.

El proceso de colocar el material en unas circunferencias de metal con un adhesivo denominado HVAM (High Viscosity Adhesive Material), por sus siglas en inglés, Material Adhesivo de Alta Viscosidad. Se estará validando este proceso para evitar cualquier efecto secundario por posibles residuos de adhesivo.

Se explicará el efecto del espurreo con plasma CCP y sus resultados en términos de adherencia metálica. Al igual que el proceso de espurreo de ICP, este utiliza unos blancos metálicos de Titanio y Cobre para generar el blindaje.

Finalmente, el proceso de colocar el material a la charola del donante ("Donor") y si presenta algún efecto secundario.

1.4 Objetivos de la Investigación

El objetivo general de esta investigación es analizar todos los procesos de blindaje antes mencionados para a su vez mejorarlos dentro de la línea de producción en la fábrica de dispositivos semiconductores. Los objetivos específicos son:

- Entender toda la teoría envuelta en esta investigación tales como materiales semiconductores, jaula de Faraday, parámetros S, deposición PVD (Physical Vapor Deposition) y CVD (Chemical Vapor Deposition) por sus siglas en inglés, tipos de plasma ICP y CCP.
- Utilizar diferentes herramientas estadísticas como el diseño de experimentos para determinar la característica óptima del dispositivo en los diferentes procesos de manufactura
- Hacer análisis de laboratorio con técnicas de microscopia electrónica de barrido SEM, [5] y espectrometría de dispersión de energía de rayos-X EDX para entender el efecto de diferentes procesos de manufactura sobre la morfología y composición elemental de las capas metálicas depositadas.
- Realizar diferentes técnicas de caracterización de la calidad de adherencia del metal como prueba de rayón y XRF (X-Ray Fluorescence) con el fin de entender que el metal agregado este bien adherido para generar el efecto de blindaje.
- Efectuar Banco de pruebas realizadas en Estados Unidos para validar la interferencia electromagnética en los dispositivos con blindaje utilizando analizadores de espectros, mediante Hxy Scan con el fin de analizar el comportamiento cuando le falte el blindaje total o parcialmente.
- Evaluar diferentes alternativas que permitan mejores adhesiones metálicas evitando efectos secundarios en el dispositivo electrónico como lo son hojuelas de metal o contaminación.
- Determinar parámetros adecuados del proceso y sus controles para un blindaje óptimo.
- Validar esta información haciendo inspecciones en microscopios ópticos de 10x hasta 100x para analizar resultados del dispositivo físicamente y sus efectos con el dispositivo final.

1.5 Hipótesis de Investigación

Dentro de las hipótesis de investigación nos antepone a las preguntas efectuadas en el planteamiento del problema, de cómo lo vamos a hacer. El proceso de manufactura de blindaje con pintura se introdujo mediante una revisión técnica por el personal ingenieril con experiencia dentro del ambiente de semiconductores. ¿Cómo sabemos que las variables de entrada y salida de cada proceso son las óptimas?, esto lo obtendremos tomando datos y calculando sus límites de control mediante gráficos X-R en cada variable crítica.

El efecto del proceso de ablación con una respuesta eléctrica depende de la exposición del alambre de acuerdo al grado de devastación efectuado. ¿Cuáles serían estos valores y como se definirían?, esto se logrará realizando un diseño de experimentos de las variables críticas del proceso de ablación y se medirá su resultado de acuerdo al efecto de la prueba eléctrica.

El efecto del proceso de pintura con una respuesta eléctrica, ¿dependerá de la cantidad de capas agregadas?, en esta hipótesis determinaremos si ese efecto es real corriendo un experimento a diferentes capas máximas permisibles por la especificación de espesor del paquete.

¿Existirá alguna diferencia de Interferencia electromagnética entre material sin blindaje y material con blindaje, ya sea con el método de pintura de plata o conformal? Esta prueba se cubrirá utilizando una prueba eléctrica de banco medida en decibels.

Del mismo modo, suponiendo que hay algún efecto en la interferencia electromagnética. Se cree que eliminando la capa superior de titanio no tiene ningún efecto, esta hipótesis se cubrirá con esta misma prueba eléctrica y buscar diferencia con un barrido H en X y Y.

1.6 Marco Teórico

1.6.1 Semiconductores: Funcionamiento y concepto

Todo esto del blindaje está desarrollado en **semiconductores**, que se definen como materiales que tienen una conectividad entre los no conductores y conductores. Poseen algunos electrones libres, pero lo que les confiere un carácter especial es la presencia de huecos. Hay semiconductores cristalinos, amorfos y policristalinos. Por otro lado, algunos aislantes muy importantes son amorfos, por ejemplo, SiO_2 , Si_3N_4 . Entre los materiales semiconductores, los más utilizados en electrónica son el silicio y arseniuro de galio. En una amplia gama de dispositivos semiconductores y en particular en los de comunicación Si y GaAs se utilizan en forma cristalina. El silicio es un elemento abundante en la naturaleza, y su costo es bajo, aunque resulta encarecido por el proceso de purificación al que se debe ser sometido, así como la obtención en forma cristalina de muy alta calidad. Otros semiconductores son elementos compuestos, como el arseniuro de galio, el fosfuro de indio o el sulfuro de plomo. El átomo está constituido por un núcleo rodeado de electrones. El núcleo atrae a los electrones, pues tiene una carga positiva, donde el electrón se mueve en una órbita estable por naturaleza. Basándonos en la teoría de Bohr y Sommerfeld sobre la estructura atómica, se puede analizar la distribución de electrones en los átomos del silicio y del germanio *Fig. 1.6.1*. En el germanio el centro se halla un núcleo con 32 protones, en este caso los electrones se distribuyen como sigue: 2 electrones en la primera órbita, 8 en la segunda y 18 en la tercera. Los últimos 4 electrones se localizan en la órbita exterior o de valencia. El material semiconductor más ampliamente utilizado es el silicio. Un átomo aislado de silicio tiene 14 protones y 14 electrones, la primera órbita contiene 2 electrones, y la segunda contiene 8. Los 4 electrones restantes se hallan en la órbita exterior. El núcleo y las dos primeras órbitas constituyen la parte interna del átomo de silicio. Esta parte interna tiene una carga resultante de +4 debido a los 14 protones en el núcleo y los 10 electrones de las dos primeras órbitas. Los 4 electrones en la capa de valencia participan en enlaces covalentes, entonces el material sólido no tiene electrones libres y tiene que presentar

propiedades de un aislante. Sin embargo, por varias razones, algunos de estos electrones son libres; a temperatura ambiental y con banda de 1.12 eV de Si alrededor de 10^{10} cm^{-3} son libres por activación térmica. Electrones libres se pueden obtener con otras excitaciones o dopaje, por eso es un semiconductor.

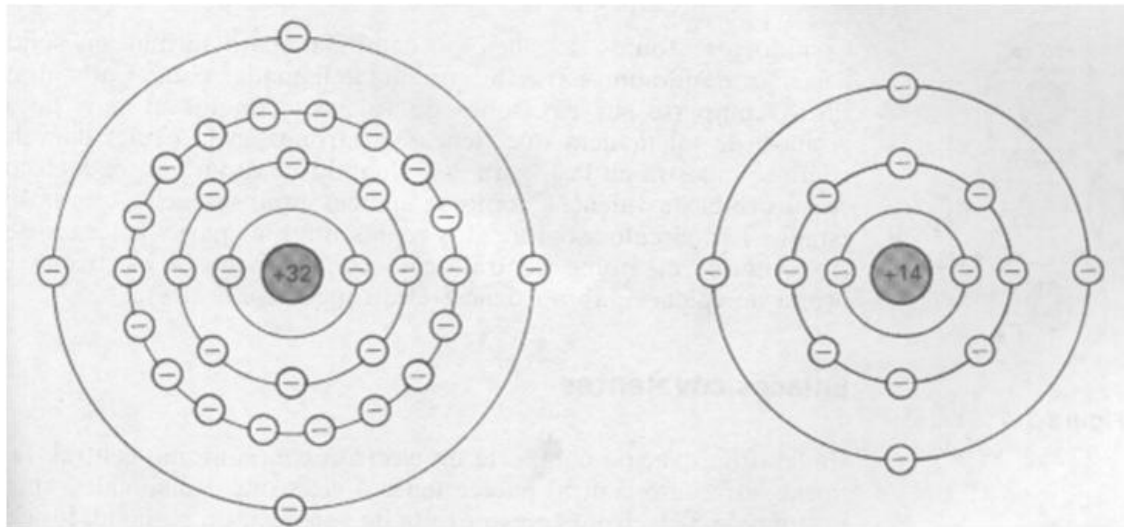


Fig. 1.6.1. Átomos de Germanio y Silicio respectivamente

Cuando los átomos de silicio se combinan para formar un sólido, cada átomo de silicio comparte sus electrones de valencia con los átomos de silicio vecinos, de tal manera que tiene 8 electrones en la órbita de valencia. Cuando un átomo posee 8 electrones en su órbita de valencia, se vuelve químicamente estable. Aunque el átomo central tenía originalmente 4 electrones en su órbita de valencia, ahora tiene 8 electrones en esa órbita. Cada átomo vecino comparte un electrón con el átomo central. De esta forma, el átomo central parece tener 4 electrones adicionales, sumando un total de 8 electrones en su órbita de valencia. En realidad, los electrones dejan de pertenecer a un sólo átomo, ya que ahora están compartidos por átomos adyacentes. A este tipo de enlace químico se le da el nombre de enlace covalente. Ver Fig. 1.6.2. En un cristal de silicio hay $5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ átomos de silicio, cada uno con 8 electrones de valencia. Estos electrones de valencia son los enlaces covalentes que mantienen unido el material en forma sólida.

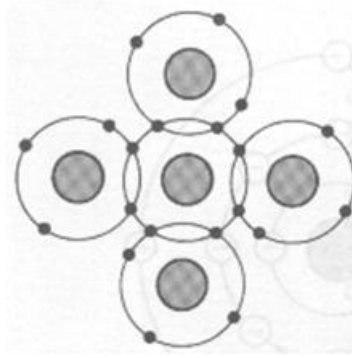


Fig. 1.6.2. Enlace covalente del Silicio

Los semiconductores continuaron con su historia, en 1947, Schockley, Brattain y Bardeen aparecieron con el transistor, lo que dio origen a la industria de los dispositivos electrónicos basados en semiconductores. En el área de semiconductores donde se trabaja con materiales de ultra alta pureza; lo que importa es su estructura de bandas, el ancho de banda prohibida y la oportunidad de modificar la conductividad con dopantes. Por otro lado, los no conductores se clasifican como aislante y forman una parte muy importante de los dispositivos semiconductores, por ejemplo, el aislante de compuerta en los transistores MOS. [6]

Los semiconductores se utilizan en teléfonos celulares, equipos inalámbricos, videojuegos, computadoras y variedad de equipos electrónicos que se usan en la industria, hogar, medicina, militar, etc.

1.6.2 Aislantes

Los **no conductores (aislantes)**, que son utilizados para construir dispositivos semiconductores que tengan por objeto evitar corrientes de conducción, es decir, es un material de conductividad prácticamente nula o muy baja, que idealmente no permite el paso de la corriente. La pequeña corriente que en la práctica puede circular a través del mismo, se llama *corriente de fuga*. Las características principales de los materiales no conductores, que definen su comportamiento eléctrico son: permitividad ε , permitividad relativa o constante dieléctrica $\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$, resistividad a granel ("bulk

resistivity”), resistividad superficial, factor de disipación y rigidez dieléctrica. Existen *aislantes eléctricos* y *aislantes térmicos*. Los *Aislantes eléctricos* presentan una resistencia al paso de corriente eléctrica hasta 2.5×10^{24} veces mayor que la de los buenos conductores eléctricos como la plata o el cobre. Un aislante se caracteriza con una banda prohibida más alta que los semiconductores con banda ancha. Esta separación esta relativa pero los aislantes normalmente tienen una banda prohibida mayor de 5 eV.

1.6.3 Conductores

Por otro lado, están los **conductores** que son materiales a través del cual se transfiere fácilmente la carga. Las cargas eléctricas se mueven libremente en respuesta a una fuerza eléctrica. Algunos buenos conductores son el cobre, aluminio y la plata, cuando tales materiales se cargan en una pequeña región, la carga se distribuye por sí misma con facilidad sobre toda la superficie del material. [7]

1.6.4 Teoría de bandas

De acuerdo a estos tres tipos que hemos mencionado, aislantes, conductores y semiconductores, existe una teoría de bandas, el cual los electrones están distribuidos en diferentes capas y subniveles alrededor del núcleo. Distinguimos: Además de la ya mencionada banda de valencia, la física cuántica explica que los electrones están distribuidos en diferentes capas y subniveles alrededor del núcleo. Distinguimos: banda saturada que es la banda o nivel más próximo al núcleo. Los electrones de esta banda apenas tienen movilidad. Banda de valencia está ocupada por los electrones que se encuentran en la última capa o nivel energético de los átomos. Los electrones de valencia son los que forman los enlaces entre los átomos, pero no intervienen en la conducción eléctrica. Banda de conducción que es la zona más alejada del núcleo y, en ella, los

electrones tienen los suficientes estados energéticos libres que les permiten moverse por el cuerpo. Estas bandas están definidas por los radios que existen en un átomo aislado del elemento (o elementos) correspondiente, y están separadas por bandas prohibidas con energías que los electrones no pueden ocupar, aunque tuviesen la energía suficiente. Por ejemplo, un material conductor tiene solapadas las bandas de valencia y de conducción o la última banda está parcialmente llena con electrones, es decir existen un enorme número de niveles energéticos no ocupados y, en cambio, un material aislante tiene una gran separación entre la banda de valencia y conducción (en general $> 5 \text{ eV}$). Puede deducirse que en un material semiconductor existe una separación entre ambas bandas inferior a la de un material aislante. Normalmente, la separación entre la banda de conducción y de valencia en un material semiconductor es de $\geq 1 \text{ eV}$. Dependiendo de la aplicación, actualmente se utilizan semiconductores con bandas entre $\sim 0.2 \text{ eV}$ (HgCdTe para detectores en espectro infrarrojo lejano) hasta 3.2 eV (SiC para dispositivos de alta potencia) y 3.4 eV (GaN para emisores de luz azul). Los materiales más utilizados en el área de comunicación inalámbrica son Si (1.12 eV) y GaAs (1.43 eV).

Para que los electrones realicen el salto de una banda a otra requieren de una aportación de energía, traducible a un incremento de temperatura. Los semiconductores son aislantes perfectos a la temperatura del cero absoluto (-273.15°C). En el cero absoluto, la banda de conducción del semiconductor estará vacía y no podrá existir ninguna corriente. A medida que aumente la temperatura en un semiconductor intrínseco, se irán rompiendo enlaces covalentes, y algunos electrones de la banda de valencia pasarán a la conducción. A la temperatura ambiente (25°C), el silicio se comporta como un semiconductor: no es ni buen aislante, ni buen conductor.

Dando una explicación más profunda, al separar dos átomos (de carga n) considerablemente no interactúan entre sí y sus niveles de energía se pueden considerar casi nulos, o sea, como aislados, pero al juntar estos dos átomos, sus órbitas exteriores empezaran a traslaparse y al llegar a una interacción bastante intensa forman dos niveles diferentes (n). Al realizar esto con un gran número de átomos ocurre algo similar. Conforme los átomos se acercan unos a otros, los diversos niveles de energía atómicos empiezan a dividirse. A esta división es a lo que podemos llamar una Banda, y el ancho

de esta banda de energía que surge de un nivel de energía atómica particular es independiente del número de átomos en un sólido. El ancho de una banda de energía depende sólo de las interacciones de vecinos cercanos, en tanto que el número de niveles dentro de la banda depende del número total de partículas interactuando. En otras palabras, sería lo mismo decir que los electrones pueden ocupar un número de niveles de energía cuasi discretos, pueden tener solamente aquellas energías que caen dentro de las bandas permitidas. La banda donde se colocan los electrones de valencia se conoce como banda de valencia, y los electrones que se mueven libremente y conducen la corriente se mueven en la banda de conducción.

El núcleo atrae a los electrones, por tanto, en un átomo aislado para que un electrón vaya de una órbita pequeña a una más grande debe efectuar un trabajo contra la fuerza que atrae electrón hacia el núcleo para no ser atraído por el núcleo. Así, los electrones más alejados del núcleo poseerán más energía potencial. En un material sólido cuando un electrón salta de la banda de valencia a la de conducción, se libera del enlace covalente y se convierte en un portador de carga; así facilita la conducción de la corriente. El electrón que salta deja un hueco (carga positiva), que será rellenado por un electrón que pertenezca a un átomo próximo. Ese hueco será rellenado por otro electrón y así sucesivamente. [8]

1.6.5 Semiconductores intrínsecos

Un semiconductor intrínseco es un semiconductor puro, es decir por cada electrón libre aparecerá un hueco, ya que ambos se producen a partir de la ruptura de un enlace covalente. Por tanto, en un cristal puro existe el mismo número de huecos que de electrones libres. Un cristal de silicio es un semiconductor intrínseco si cada átomo del cristal es un átomo de silicio. A temperatura ambiente, un cristal de silicio se comporta más o menos como un aislante, ya que tiene solamente unos cuantos electrones libres ($\sim 10^{10} \text{ cm}^{-3}$) y sus huecos producidos por excitación térmica.

A temperaturas muy bajas con la banda de conducción vacía, la banda de valencia llena y una banda prohibida de anchura E_G . La aparición del par electrón-hueco exige un aporte de energía E , igual o superior a la anchura de la banda prohibida. Dicho aporte de energía puede producirse mediante un aumento de temperatura, iluminación, bombardeo con partículas, etc. Si la energía aportada es exactamente igual a E_G , tan solo los electrones que ocupan niveles próximos al techo de la banda de valencia (E_v) podrán saltar al fondo de la banda de conducción, dando lugar a la aparición de un electrón libre y el techo de la banda de valencia E_v , la mínima energía cinética de un hueco. Si la energía aportada E es superior a E_G , entonces podrán saltar a la banda de conducción un electrón que ocupaba algún nivel de energía inferior a E_v , dejando en dicho nivel el correspondiente hueco. La diferencia de energía entre el nivel ocupado ahora por el electrón dentro de la banda de conducción y el fondo de dicha banda E_c , representa la energía cinética del electrón libre generado. Análogamente, la energía cinética del hueco viene representada por la diferencia de energías entre el nivel vacío, dentro de la banda de valencia y el techo de dicha banda. [9]

1.6.6 Flujo de electrones y huecos

En un cristal de silicio entre dos placas metálicas cargadas como se muestra en la *Fig. 1.6.3*. Supóngase que la energía térmica ha producido un electrón libre y un hueco. El electrón libre no pertenece a ninguna orbita particular, pertenece al cristal total, pero puede moverse fácilmente bajo campo eléctrico. Debido a la placa cargada negativamente, el electrón libre es repelido hacia la izquierda.

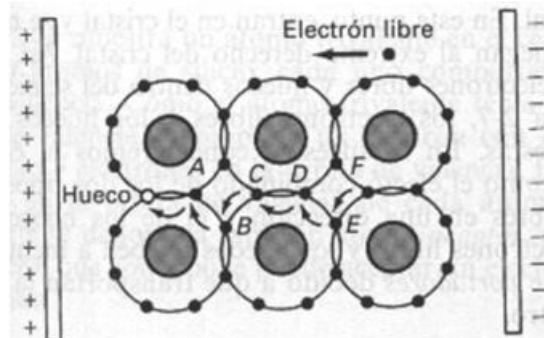


Fig. 1.6.3. Flujo de huecos

Obsérvese el hueco a la izquierda de la *Fig.1.6.3*. El campo eléctrico atrae los electrones de valencia también hacia la izquierda, por eso origina un movimiento preferencial en sentido de la placa positiva como en la figura, del punto A, hacia el hueco. Cuando el electrón de valencia en el punto A se mueve hacia la izquierda, crea un nuevo hueco en el punto A. El efecto es el mismo que si el hueco original se desplazara hacia la derecha. El hueco en punto A puede atraer electrones tanto de su derecha como de izquierda. Por eso no es su carga, si no el campo externo que genera la corriente. Por el campo eléctrico, es más probable que un electrón del punto B se mueva al hueco en el punto A en lugar de que el electrón que se movió en el hueco inicial regrese a su posición. De esta forma los electrones de valencia pueden desplazarse a lo largo de la trayectoria indicada por las flechas. Esto quiere decir que el hueco se puede mover en el sentido opuesto a lo largo de la trayectoria A-B-C-D-E-F. Esta acción no es la misma que la recombinación, en la cual un electrón libre, cae en un hueco. En vez de un electrón libre se tiene un electrón de valencia moviéndose hacia un hueco. [10]

1.6.7 Semiconductores extrínsecos

Otro método para obtener electrones para el transporte de carga eléctrica consiste en añadir impurezas al semiconductor o doparlo. La diferencia del número de electrones de valencia entre el material dopante (tanto si acepta como si confiere electrones) y el material receptor hace que crezca el número de portadores de conducción negativos (tipo n) o positivos (tipo p). Estos son semiconductores extrínsecos. Cada átomo de silicio tiene

cuatro electrones de valencia. Se requieren dos para formar el enlace covalente, uno por cada átomo de Si de dos átomos vecinos. En el silicio tipo n, un átomo como el del fósforo (P), con cinco electrones de valencia, reemplaza al silicio y proporciona un electrón adicional que se puede liberar fácilmente; a temperatura ambiente todos los electrones proporcionados por dopantes tipo n son libres. En el silicio tipo p, los átomos de tres electrones de valencia como el aluminio (Al) provocan una deficiencia de electrones en los enlaces covalentes entre los átomos de Si y del dopante. Los enlaces se completan con electrones de valencia de Si generando huecos que se comportan como electrones positivos. Los electrones o los huecos pueden conducir la electricidad. Cuando ciertas capas de semiconductores tipo p y tipo n son adyacentes, forman un diodo de semiconductor, y la región de contacto se llama unión p-n. Un diodo es un dispositivo de dos terminales que tiene una gran resistencia al paso de la corriente eléctrica en una dirección y una baja resistencia en la otra. Las propiedades de conductividad de la unión p-n dependen de la dirección del voltaje, que puede a su vez utilizarse para controlar la naturaleza eléctrica del dispositivo. Algunas series de estas uniones se usan para hacer transistores y otros dispositivos semiconductores como celdas solares, láseres de unión p-n y rectificadores. [11]

1.6.8 Jaula de Faraday

En 1833, Michael Faraday se dio cuenta de que la resistencia eléctrica disminuye a medida que aumenta la temperatura en el sulfuro de plata. Esto ha sido considerado como la primera investigación de un semiconductor. Dentro de sus investigaciones está la jaula de Faraday, que es una caja metálica que protege de los campos eléctricos estáticos, construida en 1836 por el mismo. De ahí su nombre. Estas, se emplean para proteger de descargas eléctricas, ya que en su interior el campo eléctrico es nulo. El funcionamiento de la jaula de Faraday se basa en las propiedades de un conductor en equilibrio electrostático *Fig. 1.6.4*. Cuando la caja metálica se coloca en presencia de un campo eléctrico externo, las cargas positivas (iones del metal) se quedan en las

posiciones de la red; los electrones, sin embargo, que en un metal son libres, empiezan a moverse puesto que sobre ellos actúa una fuerza dada por. *Fig. 1.6.5*

$$\vec{F} = e \vec{E}_{ext}$$

En donde F es la fuerza que ejerce el campo electromagnético, e la carga del electrón y E_{ext} el campo eléctrico externo. Como la carga del electrón es negativa, los electrones se mueven en sentido contrario al campo eléctrico y, aunque la carga total del conductor es cero, uno de los lados de la caja (en el que se acumulan los electrones) se queda con un exceso de carga negativa, mientras que el otro lado queda con una deficiencia de electrones (carga positiva). Este desplazamiento de las cargas hace que en el interior de la caja se cree un campo eléctrico de sentido contrario al campo externo. El campo eléctrico resultante en el interior del conductor es por tanto nulo. *Fig. 1.6.6* Como en el interior de la caja no hay campo, ninguna carga puede atravesarla; por ello se emplea para proteger dispositivos de cargas eléctricas. [12]

Todo este principio fundamental es el que hemos estado hablando durante la investigación del blindaje.

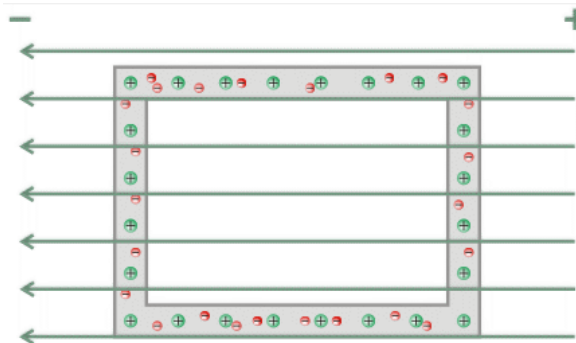


Fig. 1.6.4. Conductor en equilibrio electrostático

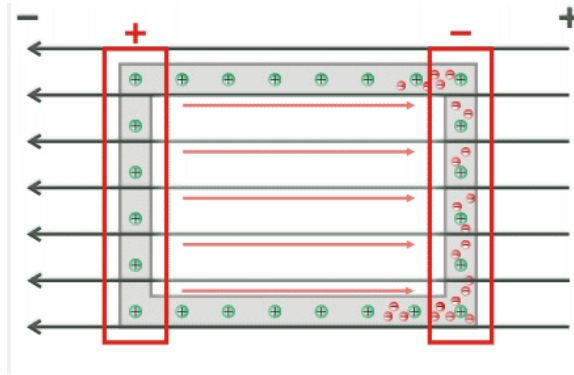


Fig. 1.6.5. Campo eléctrico externo

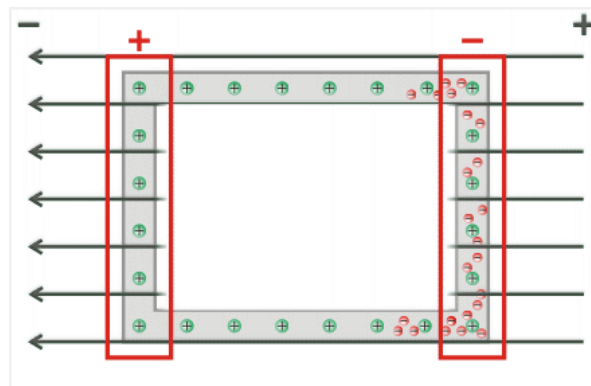


Fig. 1.6.6. Campo eléctrico de sentido contrario al campo externo (nulo)

1.6.9 Interferencia electromagnética (EMI)

Esta misma jaula de Faraday, permite que no se difundan o reciban señales y se pueden medir por Interferencia electromagnética (EMI). Esta es perturbación que ocurre en cualquier circuito, componente o sistema electrónico causado por una fuente externa al mismo. También se conoce como RFI (Interferencia de Radio Frecuencia). Esta perturbación puede interrumpir, degradar o limitar el rendimiento de ese sistema. La fuente de la interferencia electromagnética puede ser cualquier objeto, ya sea artificial o natural, que posea corriente eléctrica que varíen rápidamente, como un circuito eléctrico, el sol o las auroras boreales. Las causas de la interferencia electromagnética ocurren cuando radiotransmisores y equipos electrónicos operan dentro de un rango muy próximo entre sí.

✓ La interferencia es causada por:

- Equipos radiotransmisores incorrectamente instalados.
- Una señal radioeléctrica intensa desde un transmisor cercano.
- Emisiones o señales no deseadas generadas por el equipo transmisor.
- Blindaje o filtrado insuficiente en el equipo electrónico para evitar que capte señales indeseadas.

✓ Las formas de eliminar la interferencia electromagnética son:

- Cambiar los componentes del circuito afectado buscando conexiones más cortas, de menor impedancia y un mejor diseño de la masa del circuito.
- Añadir nuevos componentes (filtros, condensadores de desacoplo, cuentas de ferrita, transformadores de aislamiento, fibra óptica) buscando que se resuelva el problema.
- Blindar los dispositivos a proteger (que es el caso a estudiar), cambiarlos de sitio, y colocarlos donde no den problemas.
- Cambiar los componentes problemáticos por otros más resistentes

✓ Clasificación de la Interferencia Electromagnética.

Según la intención: Se puede clasificar en dos grupos: intencionadas y no intencionadas. El primer caso se refiere a interferencias causadas por señales emitidas intencionadamente para producir interferencia. Entre las segundas se incluyen todas las señales emitidas con otra intención que accidentalmente, dan lugar a un efecto no deseado.

✓ Por el mecanismo que acopla la fuente y la víctima de la interferencia.

- Interferencias radiadas: Cuando la señal se propaga de fuente a víctima mediante radiación electromagnética.

- Interferencias conducidas: Cuando se propaga a través de una conexión común a ambos (por ejemplo, la red eléctrica).

Los efectos de la interferencia pueden representar una molestia menor, pero también pueden llegar a hacer sistemas completamente inutilizables. Las interferencias graves no son tan comunes como a veces se supone, sobre todo cuando se toman algunas precauciones simples. Sin embargo, cuando esto ocurre, puede ser altamente frustrante.

✓ Por los equipos que la generan.

- Interferencia de radio frecuencia (RFI), esta se produce por los transmisores radio y de televisión, los equipos de comunicaciones, los sistemas de televisión por cable y otros tipos de equipo que generan energía de radio frecuencia como parte de su funcionamiento.

- Interferencia eléctrica es causada por las computadoras y el equipo digital, equipo fuertemente eléctrico, los sistemas de iluminación, los dispositivos eléctricos defectuosos, etc.

- La intermodulación es un tipo de interferencia causada por la combinación interna de señales fuertes de radio en los receptores inalámbricos.

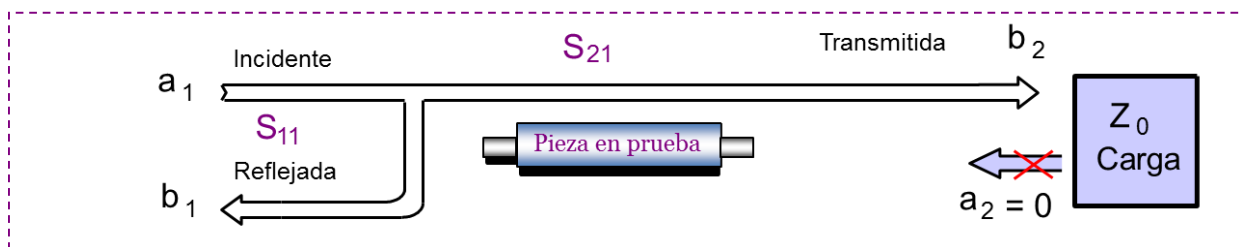
El problema principal que afecta a los teléfonos es la detección de audio debido a la inducción de radio frecuencia en estos aparatos. Los teléfonos modernos con varias opciones, tales como manos libres, memoria, exhibición del número de la llamada entrante y contestador automático incorporado, tiene muchos componentes electrónicos que puedan hacerlo más susceptible a interferencias. Los teléfonos inalámbricos, que continúan creciendo en popularidad, son de hecho radiotransmisores / receptores que están sujetos a interferencias. Además de captar señales radioeléctricas indeseadas, el teléfono inalámbrico puede también captar transmisiones de otros teléfonos inalámbricos, monitores de bebé o intercomunicadores portátiles que usen la misma frecuencia. [13]

1.6.10 Parámetros de dispersión S

Parámetros de dispersión, describen completamente el funcionamiento de una red de dos puertos. Se relacionan con las ondas que viajan dispersas o reflejadas cuando una red se inserta en una línea de transmisión de una cierta impedancia característica. Por lo tanto, parámetros-S pueden compararse a la reflexión y transmisión a través del paso de un par de lentes. Parámetros-S son importantes en el diseño de dispositivos, redes de microondas porque son más fáciles para medir y para trabajo en alta frecuencia que otros tipos de parámetros de dos puertos. Son expresiones analíticamente simple, conveniente y capaz de proporcionar conocimiento detallado en una medición y modelar el problema. Estas expresiones están dadas en términos de matrices.

$$\begin{aligned} S_{11} &= \frac{\text{Reflejada}}{\text{Incidente}} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2 = 0} \\ S_{21} &= \frac{\text{Transmitida}}{\text{Incidente}} = \frac{b_2}{a_1} \Big|_{a_2 = 0} \end{aligned}$$

Los productos de rociado de plata, manifiestan su señal por medio del parámetro S₂₁, bajo el siguiente esquema. [14]



1.6.11 Métodos de deposición física de vapor (PVD): espurreo y evaporización

Para generar el blindaje un método es el espurreo o pulverización catódica. El principio de funcionamiento de este equipo es el fenómeno conocido como sputtering o espurreo, que básicamente consiste en remover los átomos de la superficie de un material conocido como target o blanco usando iones proyectados hacia la misma superficie, colisionado con el material y haciendo que estos átomos superficiales sean proyectados. Esta técnica usa un plasma de baja presión para dar origen a esos iones que son proyectados al blanco. Esta es una descripción muy simple de lo que ocurre en la cámara PVD. El plasma es originado usando equipos que generen campos eléctricos (DC o AC) y algunas veces con asistencia de campos magnéticos. En su forma más simple los equipos de espurreo consisten de 3 sistemas por separado.

- 1.- Cámara y bomba (s) de vacío
- 2.- Fuente de potencia y Placas paralelas.
- 3.-. Una o varias fuentes de gas y sus controladores.

La cámara y la bomba de vacío permiten alcanzar las bajas presiones que son necesarias para crear este plasma a baja presión, hay un sinnúmero de diseños adaptados a las características específicas de cada equipo. Algunas veces esta se denomina cámara PVD o cámara de presión o cámara de plasma. La fuente de potencia en algunos casos de DC o de RF junto con campos magnéticos (imanes) se encargan de crear átomos ionizados en la cámara que permite realizar el proceso de espurreo. Esta fuente de potencia se conecta a las placas metálicas paralelas, y una de ellas a tierra.

El gas es como fuente de átomos que son ionizados y permiten formar el plasma a baja presión.

De manera natural algunos átomos se ionizan generando electrones libres en el vacío. El campo eléctrico al cual están sometidos obliga a estos electrones moverse en sentido opuesto a la dirección del campo. Si algún átomo del gas se encuentra en su

camino, este electrón chocará con él y le transferirá parte de su energía. Esta transferencia de energía puede en algunos casos producir nuevos átomos ionizados y electrones libres, que incrementaran este proceso de creación en forma de avalancha (es decir generar plasma), en algunos casos esta energía transmitida solo puede hacer que un electrón tome esa energía, pero solo cambie de orbital y continúe con su átomo en un estado excitado. Eventualmente este regresa a su orbital liberando un fotón (léase luz). Esta luz emitida depende del átomo, por lo cual distintos gases originaran distinta coloración cuando están formando plasma a baja presión, ya que ambos fenómenos son originados de forma paralela (la emisión de luz y la generación de plasma), por lo que la emisión de luz es una muy buena indicación de la localización del plasma dentro de la cámara. El uso de RF usualmente es necesario para depositar películas no conductivas, siendo esta fuente de RF conectada mediante un capacitor a una de las placas paralelas y la otra a tierra. Otra manera de aumentar la eficiencia de colisiones consiste en usar un campo magnético que obliga a los electrones libre a producir trayectorias helicoidales, es decir obliga al electrón a viajar en una trayectoria que se asemeja al dentado de un tornillo. Aumentando de esta manera la probabilidad de colisionar con los átomos del gas, permitiendo usar presiones menores. Inicialmente el plasma formado es eléctricamente neutro, sin embargo, los electrones libres generados abandonan rápidamente el plasma, dejando los átomos ionizados. Una de las placas está conectada al capacitor de esta manera los electrones son almacenados en el mismo y crean el potencial más negativo en todo el sistema. Esto origina una región que está cargada positivamente y tiene un potencial eléctrico en el plasma, que depende de la potencia eléctrica dada al sistema y de la presión del gas (entre otras muchas cosas). Esto hace que los átomos ionizados sean expulsados del plasma hacia las regiones con menor potencial (uno de las placas paralelas está conectada a tierra y esta es la región con menor potencial en todo el sistema).

La energía de los átomos ionizados que inciden en esta placa depende por supuesto de la presión del gas, distancia entre placas, potencia eléctrica, etc., pero sobre todo de la diferencia de potencial entre el plasma y la placa. Si esta tiene suficiente energía, producirá un efecto de colisión elástica (bolas de billar) con los átomos de la placa. En algunos casos esta sucesión de colisiones ocasionará que en la superficie de

la placa algunos de estos átomos sean proyectados hacia fuera de la placa. Usualmente estos átomos son neutrales y no son afectados por los campos eléctricos y magnéticos. Por lo que puede suponerse que su desplazamiento a lo largo de la cámara es en línea recta.

El ángulo al cual son desplazados es un fenómeno netamente aleatorio, sin embargo, estos tienden a proyectarse principalmente en ángulos cercanos a los noventa grados con respecto a la superficie, y solo un poco en ángulos muy cercanos a 0 o 180 grados, decreciendo de manera continua desde los noventa grados con respecto a la superficie.

Al llegar estos átomos a una superficie, estos tienden primero a aglomerarse, forman conglomerados, después islas y finalmente una capa homogénea. Aunque tiende a formar columnas. Esto hace que si colocamos una superficie donde queramos depositar sobre la placa conectada a tierra y acercamos mucho estas dos placas observaremos que el depósito puede cubrir los bordes laterales, siendo esto más difícil a medida que la superficie a la cual queremos depositar se aleja. Sin embargo, la homogeneidad de la película depositada mejora conforme aumenta la distancia. Ver fig. 1.6.7. Las características del depósito dependen fuertemente de varios factores: primero, este depende de la superficie del blanco, observe que el espurreo es un fenómeno superficial, que desprende los átomos de la superficie, por lo que cambios en la composición y densidad originan cambios en la velocidad de depósito de nuestra película, así como de su composición. Segundo, características de operación de la cámara como son separación entre la superficie y el blanco, potencia aplicada al sistema, presión, etc. Tercero, la superficie sobre la cual se está depositando la capa. Rugosidad, morfología e incluso velocidad de depósito son influenciadas por las características de la superficie sobre la cual se deposita (rugosidad, morfología, material, contaminantes, desgasificación). En la fig. 1.6.8 se muestra un sistema de espurreo con sus PVD y su ICP.

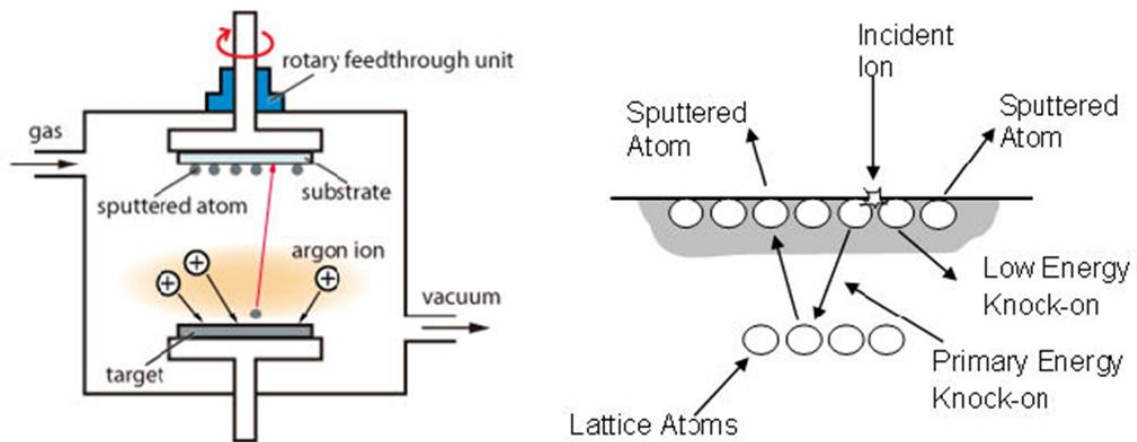


Fig. 1.6.7. Proceso de espurreo dentro de la cámara

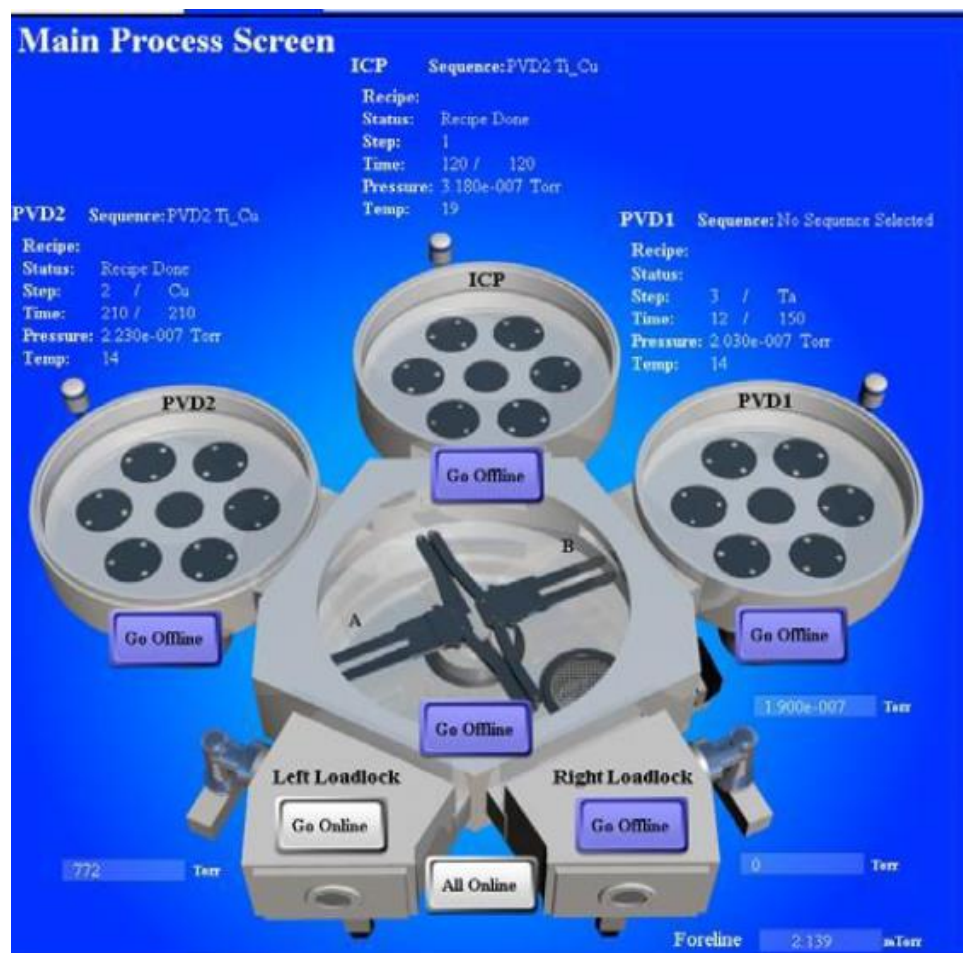


Fig. 1.6.8. Sistema de Espurreo (PVD e ICP)

Proceso de deposición por pulverización: Esta técnica está fundamentada en el lanzamiento de partículas aceleradas por un campo eléctrico, plasma contra la superficie de un cátodo, el cual libera átomos que se proyectan para depositarse en el sustrato. Una fuente de alta energía produce átomos del material recubrimiento que se dirigen a la pieza sustrato de la especie a depositar. El choque de los iones produce el ímpetu de los átomos que se proyectan sobre el sustrato ubicado paralelamente al cátodo.

Proceso de deposición por evaporización: En este proceso el vapor se produce a partir del material seleccionado para el depósito ubicado en una fuente que se calienta por diversos métodos: resistencia, inducción, arco eléctrico, proyección de electrones o laser. Se requiere realizar el vacío de la cámara al nivel de 10^{-3} a 10^{-8} Pa. La velocidad de deposición V_{nm} , expresado en átomos/s., indica el crecimiento del espesor en cada punto del sustrato y es función principal de la velocidad de encuentro de los átomos evaporados, con la superficie del sustrato y está influida por la separación y posición geométrica entre el metal fundido y el sustrato. [15] [16]

1.6.12 Deposición química de vapor (CVD)

CVD (Deposición de Vapor Química): Se basa en la reacción de una mezcla de gases o vapores químicos, para dar lugar a un producto sólido, generalmente en forma de recubrimiento sobre un sustrato, aunque también es posible obtener el material en forma de polvo. El material no existe previamente, se sintetiza mediante reacción en fase vapor. Las capas de silicio epitaxial depositadas a través de la descomposición del silano (SiH_4) constituyen quizás el ejemplo más paradigmático. En CVD se suele trabajar a baja presión y a altas temperaturas.

1.6.13 Plasma

Podemos definirlo como un cuarto estado de la materia, donde a un sólido se le aplica una energía se convierte en un líquido; a un líquido se le aplica una energía se convierte en un gas y a un gas se le aplica una energía se convierte en Plasma. Un plasma es un conjunto de partículas cargadas y neutras con ciertos criterios. Los electrones e iones que constituyen un plasma se producen por ionización de átomos y moléculas. Las partículas cargadas poseen campos Coulombianos a través de los cuales interaccionan unas y otras y con cualquier campo eléctrico o magnético aplicado exteriormente; las partículas neutras interaccionan unas con otras por medio de fuerzas de corto alcance que aparece solo durante encuentros muy próximos; las partículas cargadas interaccionan con las neutras por medio de campos de polarización más complejos producidos por la distorsión de las orbitas de los electrones durante el acercamiento de las partículas cargadas. Una de las influencias más poderosas en el comportamiento de un plasma es la interacción electromagnética de las partículas cargadas. Puesto que los campos electrostáticos de las partículas cargadas varían solo como el recíproco del cuadrado de la distancia, las fuerzas electrostáticas son de largo alcance y pueden actuar sobre un número considerable de otras partículas. Esta interacción de un gran número de partículas da lugar a que estas reaccionen ante otras fuerzas de una manera colectiva, y este comportamiento colectivo constituye la principal característica de un plasma.

Para producir un plasma es necesario liberar electrones que se encuentran ligados a átomos. Por ejemplo, el Argón (principal gas utilizado en los procesos de espurreo), necesita una energía de ionización de 15.7 eV (un eV es la energía adquirida por un electrón al pasar por un potencial electrostático de un voltio, y es igual a 1.6×10^{-19} J. Para producir la ionización el requisito principal es que un electrón adquiera la energía suficiente para escapar del campo de la fuerza del núcleo, que, por lo general, la energía proviene de colisiones de algún tipo.

Cuando se añade energía de ionización a una parte de los átomos de un gas neutro se forma un gas ionizado. Si se puede añadir una cantidad suficiente de energía total, el gas puede ionizarse completamente, sin que permanezcan en él partículas neutras. Pero a un gas parcialmente ionizado puede ser afectado por campos eléctricos y magnéticos aplicados externamente, y puede conducir corrientes eléctricas. Los campos Coulombianos electrostáticos de las partículas cargadas en el gas ionizado producirán las consecuencias de los efectos colectivos antes mencionados.

Una representación de un plasma puede hacerse en términos de la densidad de electrones, su temperatura, cantidades dependientes de ellas, la distancia de Debye y la frecuencia del plasma. Digamos la más ordinaria, es una simple llama de fuego, ahí la energía de ionización es proporcionada por la oxidación del combustible, una densidad de electrones de alrededor de 10^8 electrones por cm^3 y una temperatura entre 2000-5000°K, arrojando una distancia de Debye de 0.1mm. [17]

El plasma puede tener diferentes propósitos, por ejemplo, para depositar por espurreo, por CVD, para limpiar, entre otras. Principalmente para estos procesos se puede utilizar un plasma ICP o CCP, dependiendo de la manera de crearlo.

1.6.14 Plasma ICP

El plasma acoplado inductivamente (ICP) es una fuente de excitación a muy alta temperatura (7000-8000K) que eficientemente vaporiza, excita y ioniza átomos. Interferencias moleculares son altamente reducidas con esta fuente de excitación, pero no son eliminadas completamente.

Un ICP requiere que los elementos que se analizan estén en una solución, como una solución orgánica que requiera manipulación especial antes de la inyección dentro del ICP. La muestra es nebulizada y arrastrada en el flujo de gas de soporte de plasma, el cual típicamente es argón. La antorcha del plasma consiste de tubos de cuarzo concéntrico, en el tubo interno contiene la muestra de aerosol y gas Ar y en el tubo externo

contiene flujo de gas Ar para enfriar los tubos. Un generador de radiofrecuencia (RF) produce una corriente oscilatoria en una bobina de inducción que se envuelve alrededor de los tubos. La bobina de inducción crea un campo magnético oscilatorio. El campo magnético a su vez establece una corriente oscilante en los iones y electrones del gas de soporte. Estos iones y electrones transfieren energía a los otros átomos en el gas por colisiones que crean un plasma a una muy alta temperatura. Ver siguiente figura 1.6.9:

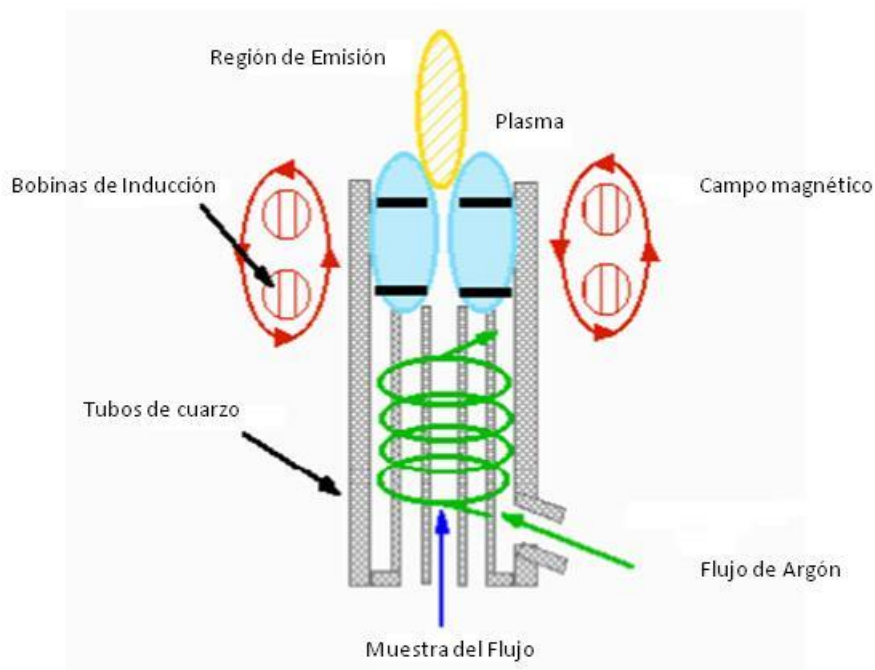


Fig. 1.6.9. Esquemático de un ICP

La luz emitida por los átomos de un elemento en el ICP tiene que ser convertida a una señal eléctrica que puede ser medida cuantitativamente. Esto se logra al resolver la luz en su componente de radiación (casi siempre por medio de un injerto de difracción) y después medir la intensidad de la luz con un tubo fotomultiplicador a una específica longitud de onda para cada elemento en la línea. La luz emitida por los átomos o iones en el ICP es convertida a señales eléctricas por el fotomultiplicador en el espectrómetro. La intensidad de la señal electrónica se compara con las intensidades medidas previamente de la concentración conocida del elemento y esta se computa. Cada elemento tendrá

muchas longitudes de onda específicas en el espectro el cual puede ser usado para el análisis.

Las ventajas de usar un ICP incluyen su capacidad para identificar y cuantificar todos los elementos con la excepción del argón; ya que muchas longitudes de onda de variada sensibilidad están disponibles por determinación de un elemento, el ICP es adecuado para todas las concentraciones de niveles ultra rastro a mayores componentes; los límites de detección son generalmente bajos para la mayoría de los elementos con un típico rango de 1-100 g/L.

Es por eso que este tipo de plasma se utiliza para el análisis elemental. Pero también se utiliza para para limpieza o espurreo. De hecho, en nuestro flujo y experimentos se utiliza como espurreo en los equipos TANGO tal y como lo muestra el diagrama de flujo de la *fig. 1.3.2*.

La manera como lo realiza es primero generando un vacío para eliminar y todas las partículas o elementos externos que pudieran estar en la cámara y que pudieran causar una colisión con los átomos ionizados de Argón. Después hay una secuencia para que entre cada aro a las cámaras PVD (Deposición de Vapor Físico). El orden es importante para evitar algún choque de aro y acto seguido empieza el proceso de calentamiento y preparar el material para el plasma ICP, donde con cierta potencia, velocidad y tiempo se ejecuta la limpieza para preparar el material para el espurreo. La presión del gas tanque de argón es aproximadamente 1000 +/-100 psi, pero en la línea solo hay un flujo de 22.5 +/-2.5 psi controlada y en la cámara ICP hay una presión de la base de 5×10^{-5} torrs. Al final esta limpieza es importante para asegurar un correcto espurreo y también que no haya una decoloración en el producto final causada por una contaminación orgánica o de algún otro tipo. El plasma en este equipo se ejecuta de la siguiente manera: los iones con carga positiva del plasma se aceleran mediante un campo eléctrico superpuesto al electrodo o "blanco" con carga negativa. Los iones positivos son acelerados por potenciales que van desde unos pocos cientos a unos pocos miles de electronvoltios y golpean el electrodo negativo con fuerza suficiente para desalojar y expulsar átomos del blanco.

1.6.15 Plasma CCP

Un sistema de plasma CCP funciona cuando uno de los dos electrodos está conectado a la fuente de alimentación y el otro está conectado a tierra. Como este principio es similar a un capacitor en un circuito eléctrico, entonces el plasma formado en esta configuración se denomina plasma acoplado capacitivamente. Al momento de generarse un campo eléctrico entre los electrodos, los átomos se ionizan y liberan electrones. Los electrones en el gas son acelerados por el campo de RF y pueden ionizar el gas directa o indirectamente por colisiones, produciendo electrones secundarios. Cuando el campo eléctrico es lo suficientemente fuerte, puede conducir a lo que se conoce como avalancha de electrones. Después de la descomposición de la avalancha, el gas se vuelve eléctricamente conductor debido a la abundancia de electrones libres. A menudo acompaña la emisión de luz de átomos o moléculas excitados en el gas. Cuando se produce luz visible, la generación de plasma puede observarse indirectamente incluso con los ojos descubiertos.

Una variación del plasma acoplado capacitivamente implica aislar uno de los electrodos, generalmente con un condensador. El condensador aparece como un cortocircuito en el campo de RF de alta frecuencia, pero como un circuito abierto para el campo de corriente continua. Los electrones inciden en el electrodo y adquiere rápidamente una carga negativa porque el condensador no permite que se descargue a la tierra. Esto configura un campo DC secundario a través del plasma además del campo de corriente alterna. Los iones masivos no pueden reaccionar al campo de Corriente alterna que cambia rápidamente, pero el campo de corriente continua fuerte y persistente los acelera hacia el electrodo auto-polarizado. Los CCP tienen amplias aplicaciones en la industria de procesamiento de semiconductores para la deposición de películas delgadas como espurreo, deposición de vapor químico con plasma mejorado (PECVD)) y grabado. En el caso particular del espurreo utilizado en todos los experimentos de esta tesis su aplicación es en los equipos denominados CNI. En el diagrama de la *fig. 1.3.3* se especifica el flujo que lleva este espurreo.

2 Desarrollo de la investigación

2.1 Mejora del proceso de blindaje Ag

2.1.1 Definición del correcto alambrado

Se definieron 8 alambres a exponer (A-H) para generar el blindaje, su altura y curvatura es importante para su correcta exposición al momento de rebajar el moldeo. En la fig. 2.1.1a se muestran como quedan estos alambres expuestos y su tipo.

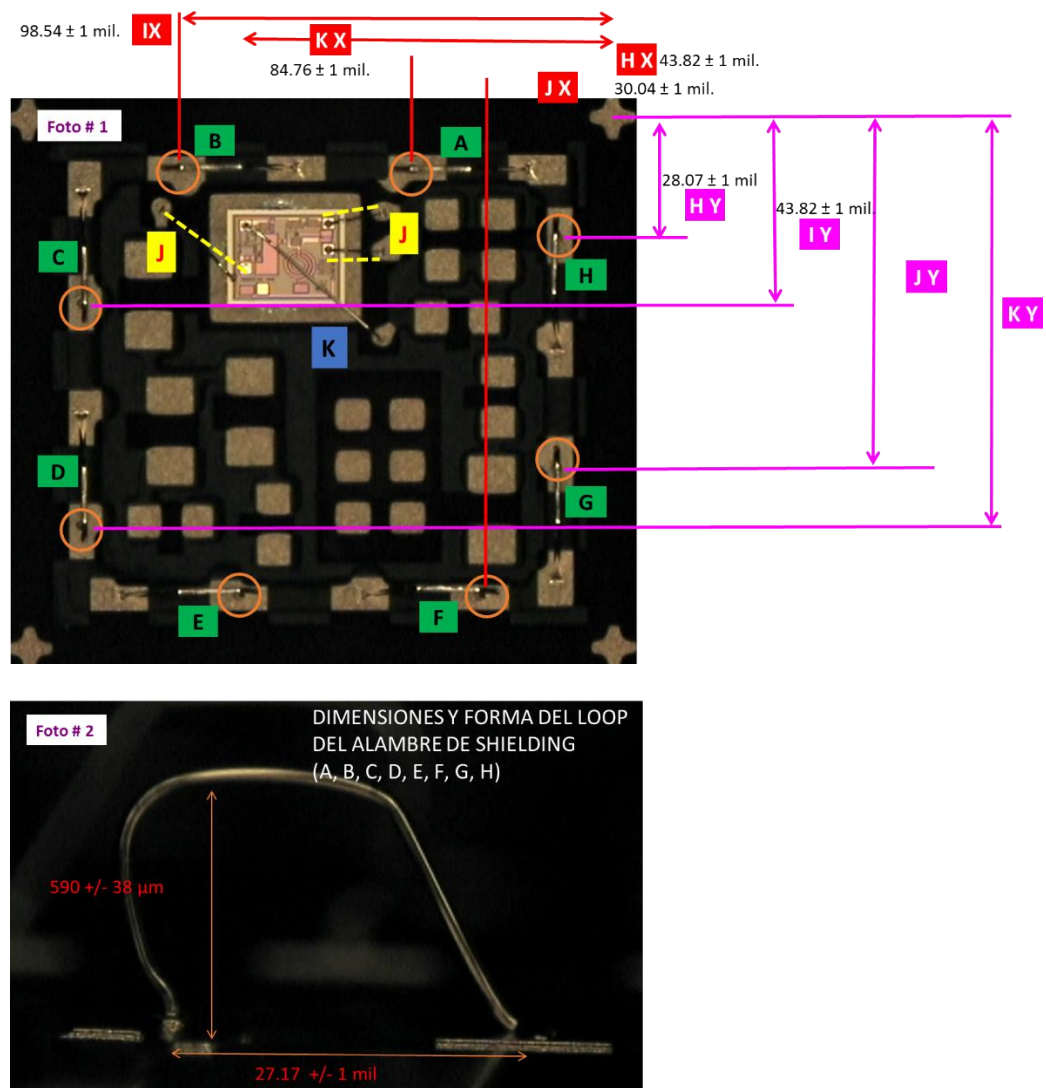


Fig. 2.1.1a. Definición de alambrado para blindaje Ag

NOTA	REFERENCIA
Secuencia de Alambrado de shielding (2da. Pasada) [A, B, C, D, E, F, G, H]	Alambrar en sentido contrario de las manecillas del reloj.
Forma de Loop (A, B, C, D, E, F, G, H)	Foto # 2 (Forma similar)

Medición	Spec Optimo	Set up Rango	Produccion Rango	Units
Distancia de Stitch H X	43.82	43.32 - 44.32	42.82 - 44.82	Mils.
Distancia de Stitch I X	98.54	98.04 - 99.04	97.54 - 99.54	Mils.
Distancia de Stitch J X	30.04	29.54 - 30.54	29.04 - 31.04	Mils.
Distancia de Stitch K X	84.76	84.26 - 85.26	83.76 - 85.76	Mils.
Distancia de Stitch H Y	28.07	27.57 - 28.57	27.07 - 29.07	Mils.
Distancia de Stitch I Y	43.82	43.32 - 44.32	42.82 - 44.82	Mils.
Distancia de Stitch J Y	82.8	82.3 - 83.3	81.8 - 83.8	Mils.
Distancia de Stitch K Y	98.54	98.04 - 99.04	97.54 - 99.54	Mils.
Altura de Loop (A, B, C, D, E, F, G, H)	590	571 - 609	552 - 628	µm
Altura de Loop (J)	5	4.5 - 5.5	4 - 6	Mils.
SSB -Altura de Loop desde PCB (K)	8.5	8 - 9	7.5 - 9.5	Mils.
Distancia entre bola y stitch (A, B, C, D, E, F, G, H)	27.17	26.67 - 27.67	26.17 - 28.17	Mils.

Se definieron notas para generar un correcto alambrado, entre ellas. El alambrado total del paquete se realiza en dos pasadas, en la primera pasada solamente se colocan los 4 alambres del dado. En la segunda pasada se colocan los 8 alambres (blindaje) que se encuentran alrededor del paquete. Se debe realizar una preparación del equipo por pasada (utilizar las especificaciones correspondientes a cada pasada para liberar los cambios).

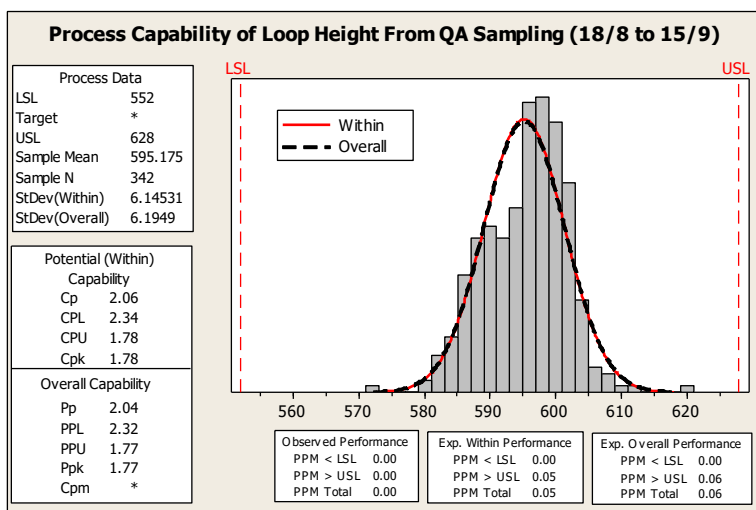
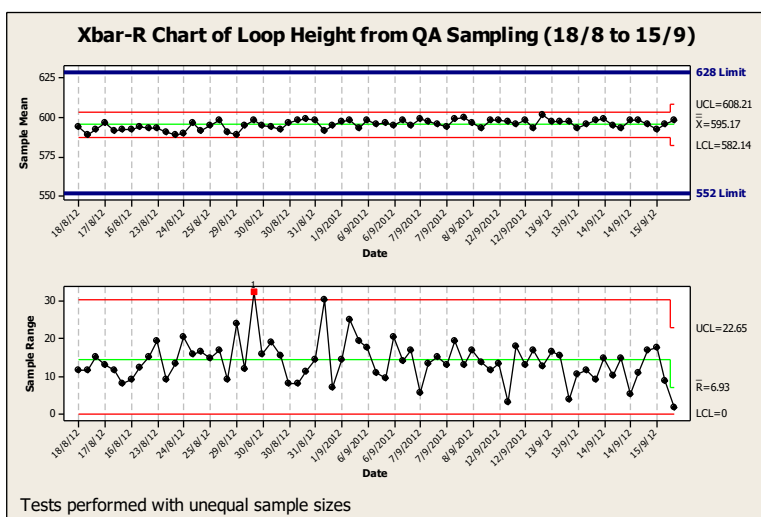
La distribución y ángulo del alambrado debe ser tal y como se muestra en el diagrama de alambrado. La secuencia de alambrado en sentido contrario de las manecillas del reloj evita que el capilar golpee el alambre previo. La correcta especificación para asegurar exposición se muestra en las siguientes fotos (Fig. 2.1.1b):



Fig. 2.1.1b. Criterios de alambre en blindaje Ag

2.1.2 Resultados estadísticos del alambrado

La distribución de datos de altura del alambre con respecto a sus medias se comportó estable. Pero en el rango de mediciones del valor más chico y el valor más grande, presento más variación con un solo punto fuera de control, aun así, el comportamiento general fue estable en la gran mayoría de sus muestras.



Se concluye que con un CPk de 1.78 el proceso es estable ya que la capacidad que el proceso pudiera alcanzar si se eliminaran las fuentes sistémicas de variación general del proceso, además de la variación entre y dentro de los subgrupos están por encima de las 5 sigmas, es decir muy pegado a la especificación del producto. [18]

2.1.3 Definición del correcto pintado

Cuando el material está en forma de tira (tablero), se ejecuta el rociado con la solución asegurando un espesor dentro de especificación, ese grosor tiene un color plateado, ver fig. 2.1.3a. La siguiente tabla muestra las mediciones en una muestra de 10 tableros.

Taza [gramos]	Antes de curar [gramos]	Después de curar [gramos]	Contenido de solidos	Espesor de la pintura curada			
				Min	Max	Promedio	Prom STD
0.9086	2.0752	1.637	62.4%	27.19	62.17	38.79	5.71
0.9094	2.484	1.8913	62.4%				
0.9014	1.8955	1.5215	62.4%				
Promedio			62.4%				

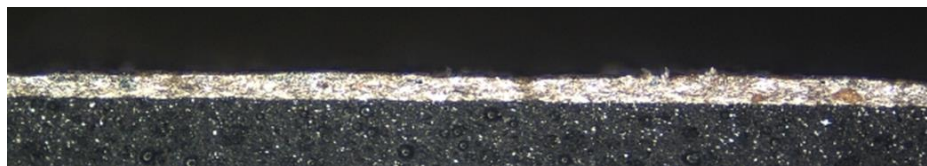


Fig. 2.1.3a. Espesor de pintado en blindaje Ag

Se definieron varios controles para asegurar este espesor, el primero fue medirlo bajo el siguiente método (fig. 2.1.3b):

- ✓ Tomar herramienta de medición y una tira no funcional ya procesada en ablación y lavado.
- ✓ Colocar tira en el equipo y cargar receta "Espesor de Pintura". Los extractores deben permanecer encendidos durante este proceso y la cubierta del equipo cerrada.
- ✓ Al pasar 40 segundos. apague la extracción y abra la cubierta.
- ✓ Coloque el rodillo sobre la tira en el punto de inicio (2mil) y desplace hasta llegar a 2mil nuevamente.

- ✓ Para obtener la medición, compare las marcas impresas en el rodillo contra la graduación. Lea las medidas del lado derecho e izquierdo. Al terminar registrar las lecturas en el sistema SPC.
- ✓ Limpiar instrumento al terminar de realizar la medición.

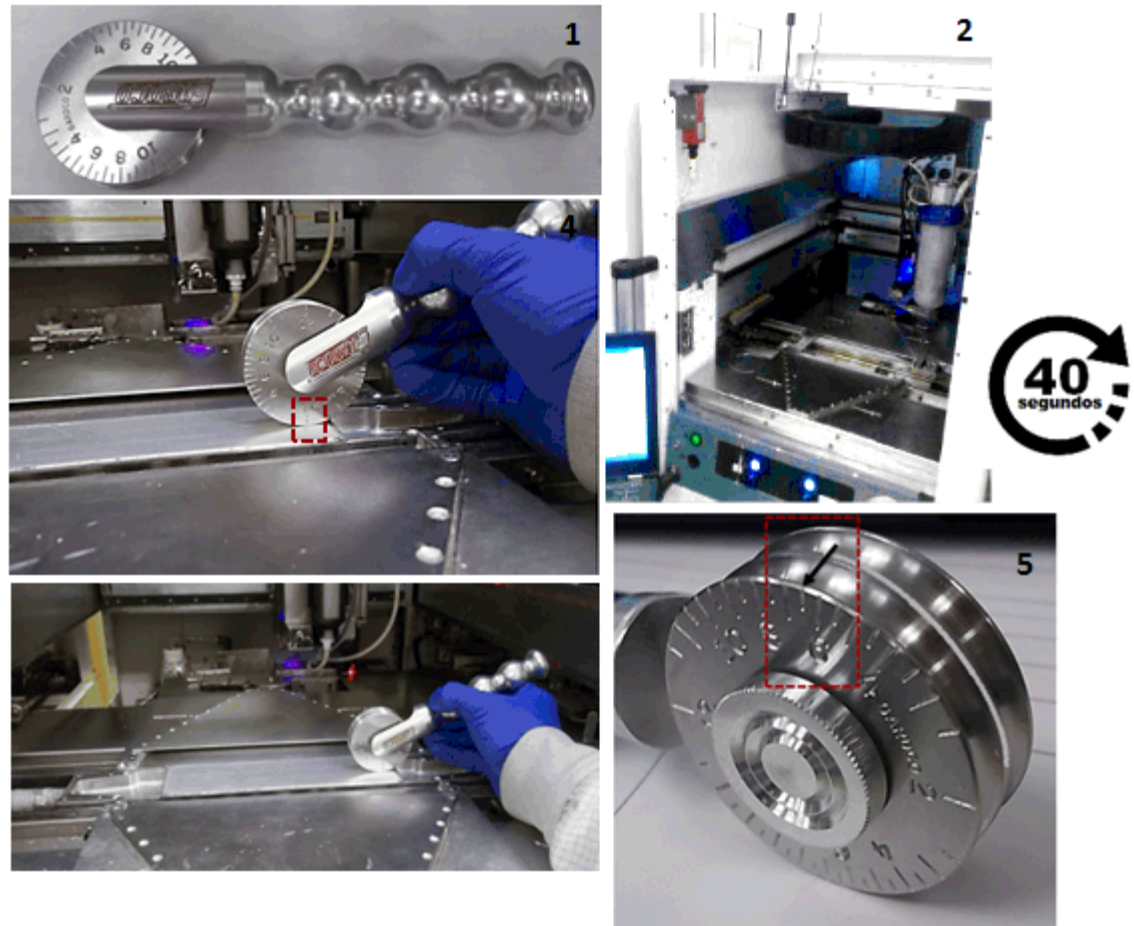


Fig. 2.1.3b. Procedimiento de medición de espesor

Los siguientes están relacionados a control de equipo y pintura. El equipo mediante mantenimiento preventivo de boquillas, flujo de pintura y presión. Todos estos parámetros fueron definidos mediante diseño de experimentos.

Especificación	Identificación	Lectura	Tolerancia
Presión	Fluido (FLUID)	2 psi	+/- 0.2
	Aire Asistido (COOL 1 / COOL 2)	3 psi	+/- 0.2
	Válvula (VALVE OFF)	75 psi	+/- 2
Ajuste	Válvula	50 um	+/- 2
Espesor	Cured Paint	30um	+/- 15
	Wet paint (Límites de especificación)	6mil	+/- 2

Se definió tiempo de exposición de pintura y tratado en cuanto a batido y revisión de sólidos que puedan causar obstrucciones en las boquillas. Varias partículas fueron encontradas y que tuvieron que ser cernidas antes de procesar. Anexo fotos fig.2.1.3c [19] [20]

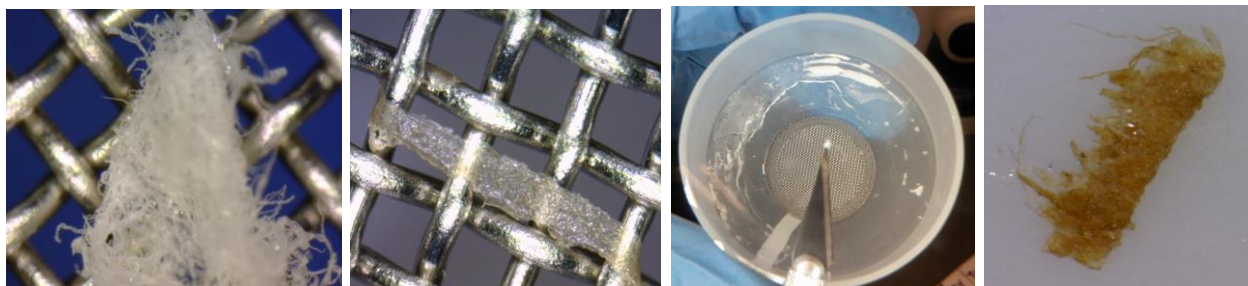


Fig. 2.1.3c. Partículas de la pintura a alta magnificación

El principal defecto encontrado fueron rebabas, pero se solucionó con el correcto procedimiento de manejo de pintura y un flujo de control. Abajo se muestran fotos de las rebabas (Fig.2.1.3d) y del flujo de control de sólidos en la pintura y se realizó la evaluación (fig.2.1.3e).

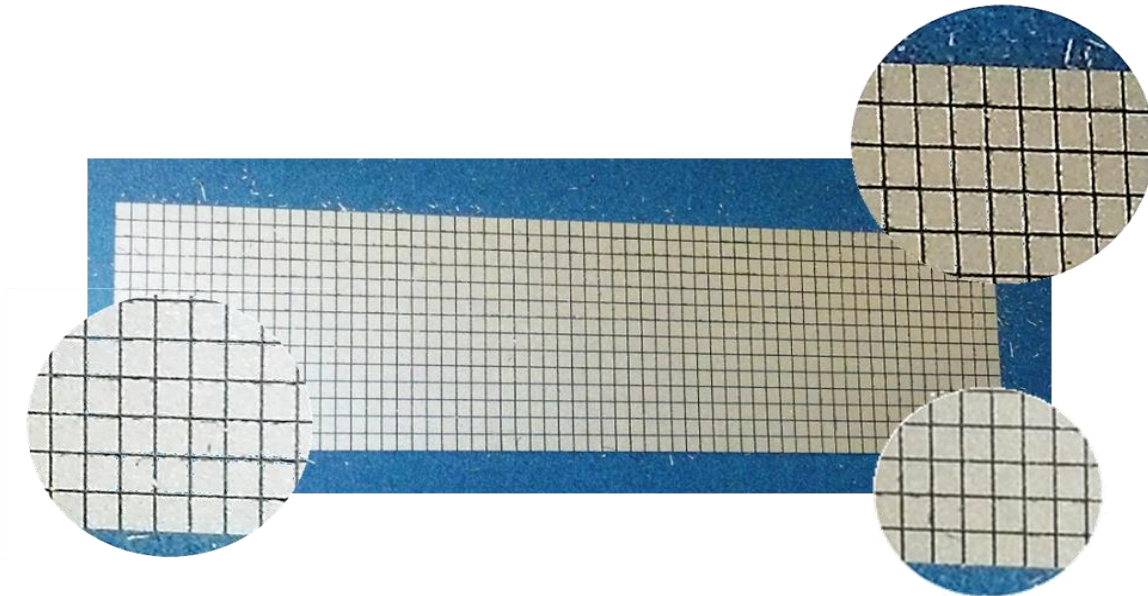


Fig. 2.1.3d. Rebabas en la pintura de plata

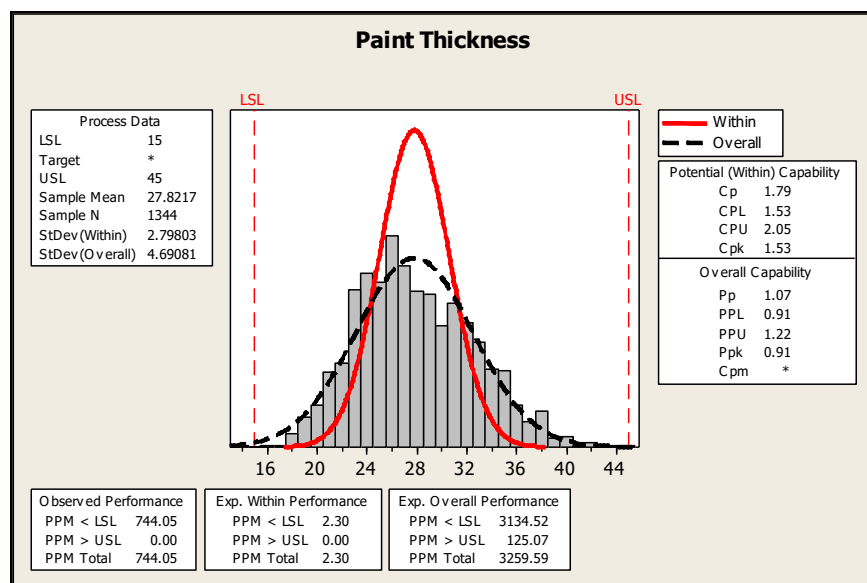


Fig. 2.1.3e. Método para medir sólidos en la pintura

2.1.4 Resultados del pintado

Basado en la medición del espesor de pintado y en los controles antes mencionados, se obtuvieron los siguientes resultados:

Un CPk de 1.53 con ciertos puntos en el límite inferior pero aun en control.



La tabla muestra que la pintura con menos sólidos y más lejana a vencerse contienen menos rebaba en el producto final.

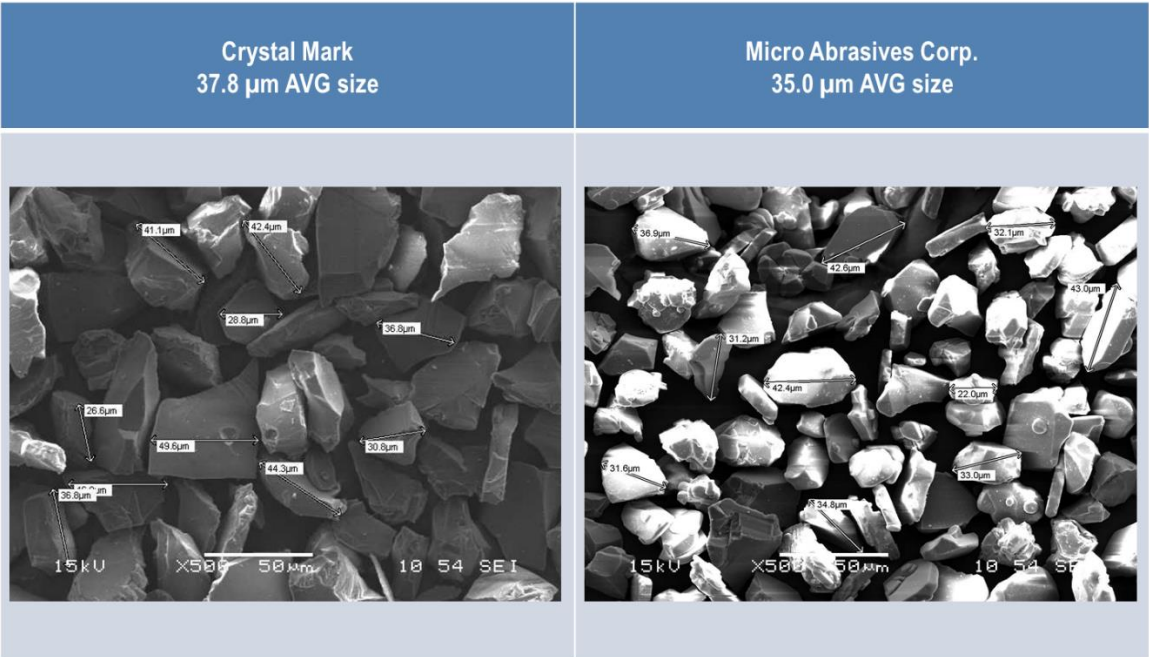
Lote	% Sólidos	% Rebabas	Fecha de expiración
12CJ0407	22.55	3	7/5/2013
12CH0255	35.5	100	5/25/2013
12CI0340	32.2	28	6/16/2013
12CH0261	32.23	18	4/25/2013
12CH0268	33.04	100	4/25/2013
13CD1202	22.96	3	1/14/2014
12CI0297	33.09	100	6/3/2013
12CI0319	35.55	100	6/8/2013
12CI0338	33.18	100	6/15/2013
12CJ0389	33.49	100	6/28/2013

2.1.5 Definición del correcto desbastado con ablación

Se definieron los siguientes parámetros para un correcto desbastado, identificando como voltaje, velocidad de la banda donde va el tablero a desbastar, la altura de la boquilla por donde sale la arena donde se ejecuta la ablación y la presión ejercida. Resultando lo siguiente:

Especificación	Identificación	Lectura	Tolerancia
Voltaje	6BLAST02	100 volts	+/- 5 volts
	6BLAST04	100 volts	+/- 5 volts
Velocidad banda	6BLAST02	10 plg/54seg	+/- 1 seg
	6BLAST04	10 plg/54seg	+/- 1 seg
Altura boquilla	6BLAST02	2 plg	+/- 0.125 plg
	6BLAST04	2 plg	+/- 0.125 plg
Presión	6BLAST02	85 psi	+/- 5 psi
	6BLAST04	85 psi	+/- 5 psi
Parámetros de Salida			
Profundidad de desvaste	Límites de Especificación	40 um	+/- 10 um
	Límites de control	SPC	SPC

La arena a utilizar fue definida por la que tuvo mejor comportamiento abajo se muestran fotos de la arena granula y la exposición del alambre con cada uno. *fig. 2.1.5*



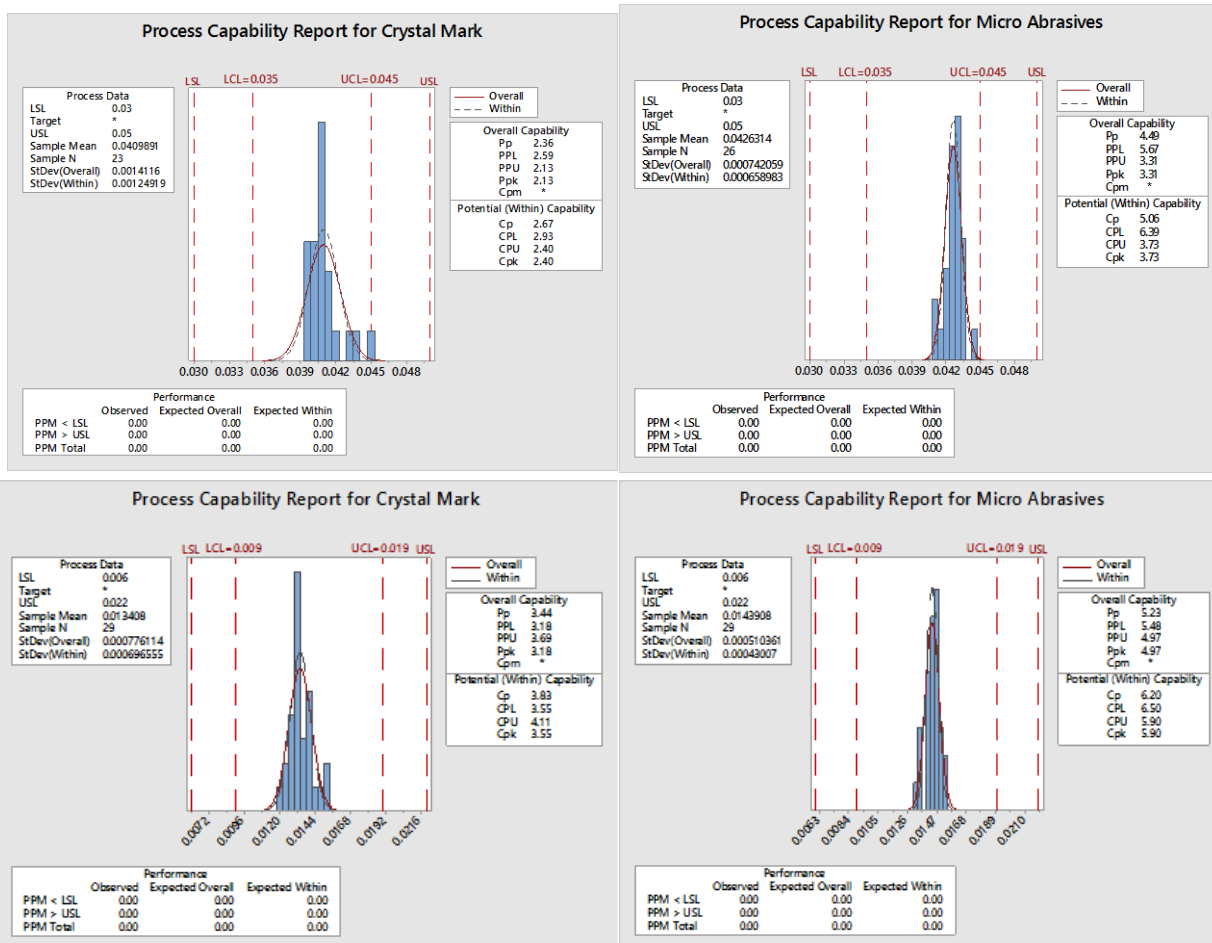
Item	Proveedor	Crystal Mark	Micro Abrasivas
1	Inspección visual Moldeo por compresión		
2	Inspección visual Moldeo por inyección		

Fig. 2.1.5. Efecto de la arena y granulado

Como se puede ver en la *fig. 2.1.5* los dos proveedores de arena exponen perfectamente el alambre con los mismos parámetros definidos en el equipo de ablación.

2.1.6 Resultados de la ablación

Los CPk de ambas arenas tuvieron buen comportamiento, prácticamente se definió por la que necesito menor consumo, pero en cuanto a características del proceso ambas tuvieron buen comportamiento, independientemente que tipo de moldeo fue utilizado. Con CPk mayores a las 6 sigmas, es decir superior a 2. Ver gráficos a continuación.



2.2 Procesos de blindaje conformal y sus características críticas

Proceso	Salida crítica del proceso	Criterio de éxito	Muestra	Resultado
Montado de tablero	Calidad del montado	No arrugas	30 STR (10 tableros c/u)	PASO
	Tablero dañado	No permitido	30 STR (10 tableros c/u)	PASO
	Eficiencia	100%	30 STR (10 tableros c/u)	PASO
Singularo en UV tape	Dimensión	Tamaño +/- 125 um	10 STR (50 mediciones c/u)	PASO
	X, Y Offset	+/- 50 um	10 STR (50 mediciones c/u)	PASO
	Corte incompleto	No permitido	30 STR (10 tableros c/u)	PASO
	Tablero dañado	No permitido	30 STR (10 tableros c/u)	PASO
UV curado	UV Dosis	400mJ/ cm2 +/- 20%	5 tableros (19 unidades c/u)	PASO
	Fuerza de levantamiento	< 200gr/cm2	5 lotes (5 tableros c/u)	PASO
Film a Film	Tablero dañado	< 1%	20 STR (20 tableros c/u)	PASO
	Piezas inspeccionadas	GR& R < 10%	3 unidades, 10 veces	PASO
	Separación entre piezas	1mm +/- 200um	14 aros (10 unidades, c/u)	PASO
Espurreo/ PVD	Adhesión de capas metálicas	No desprendimiento permitido	70 STR (4 unidades c/u)	PASO
	Espesor parte superior	0.2umTi + 3um Cu + 0.2 um Ti	10 lotes (5 unidades c/u)	PASO
	Espesor de las paredes	45 +/- 15% of Top	20 lotes (5 unidades c/u)	PASO
Film a Charola	Daño del blindaje	< 1%	20 STR (20 tableros c/u)	PASO
	Inspección de piezas	GR& R < 10%	270 Datos	PASO

La tabla de arriba muestra todos los procesos de conformal y sus características críticas de proceso con su criterio de éxito y su especificación, dando resultados positivos en todas sus pruebas. Más adelante se explicará cada uno de ellos.

2.2.1 Montado de tablero

Se buscaba no tener un daño físico en el tape aplicado al aro, tales como arrugas o que estuviera roto, así mismo que no hubiera daño en el tablero. No se encontraron daños en los aros del tipo que se muestra en la *fig. 2.2.1*. Su eficiencia estuvo al 100%.

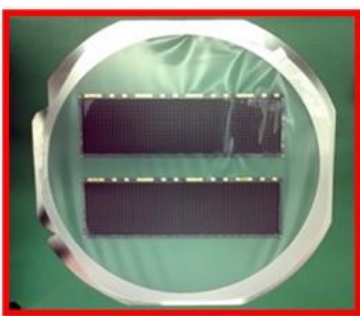


Fig. 2.2.1. Aro dañado

2.2.2 Singulado en UV tape

Los datos de CPk de dimensiones se mostraron estables.

Tamaño (mm)	Característica	CPk
7X9	X Dimensión	3.17
	Y Dimensión	2.26
	X Offset	1.52
	Y Offset	1.39
3X3	X Dimensión	2.42
	Y Dimensión	1.51
	X Offset (con pre-corte)	4.82
	Y Offset (con pre-corte)	3.24

En la *fig. 2.2.2* está la representación gráfica de la tabla de arriba, solo para mostrar la distribución estadística del corte dimensional tanto en largo (Y) como en ancho (X), fue un poco menor en productos más pequeños ya que se desestabiliza el corte por tener más renglones que cortar y esto va a absorbiendo el error de pitch.

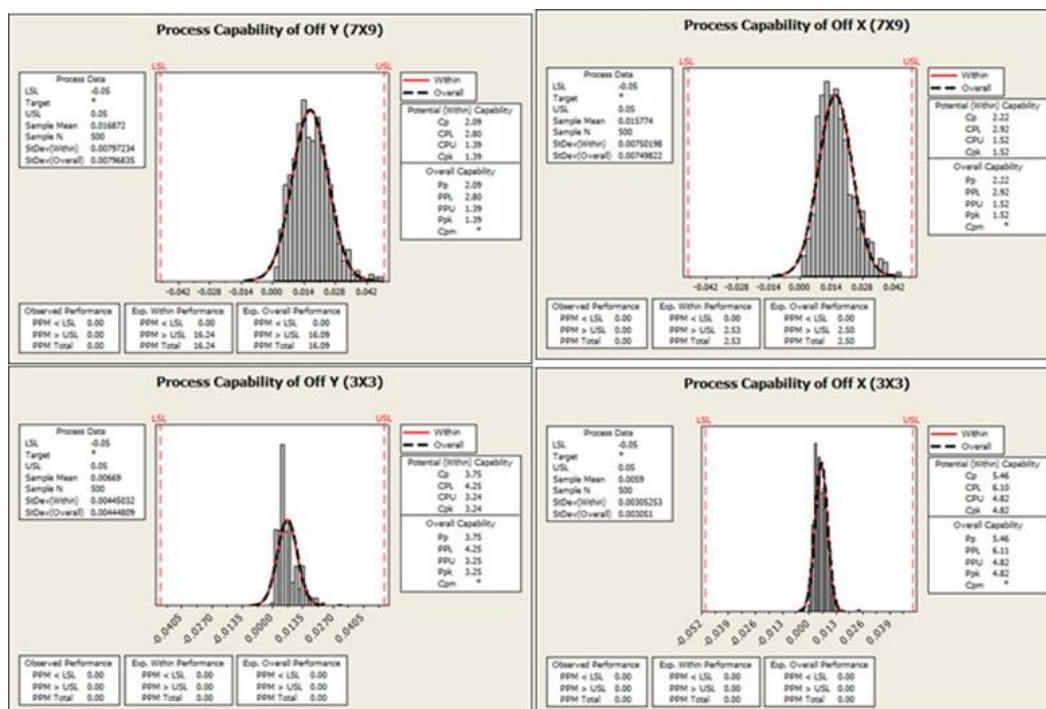


Fig. 2.2.2. CPk del proceso de Singulado en UV tape

2.2.3 Curado Ultravioleta UV

- ✓ La dosis ultravioleta UV fue establecido a 400mJ/cm² debido a los resultados de la menor fuerza de levantamiento de la pieza del aro, tal y como se muestra en el grafico estadístico en la *fig. 2.2.3b*. Esto quiere decir que fue más fácil levantar la pieza del aro en el siguiente proceso.
- ✓ 20% de tolerancia para UV dosis es permitido. No afecta el levantamiento en el equipo filme a filme FF2000
- ✓ CPk a 15% de tolerancia= 2.97; CPk a 20% de tolerancia = 4.36 aceptables tal y como se muestra en la distribución de datos de la *fig. 2.2.3a*.

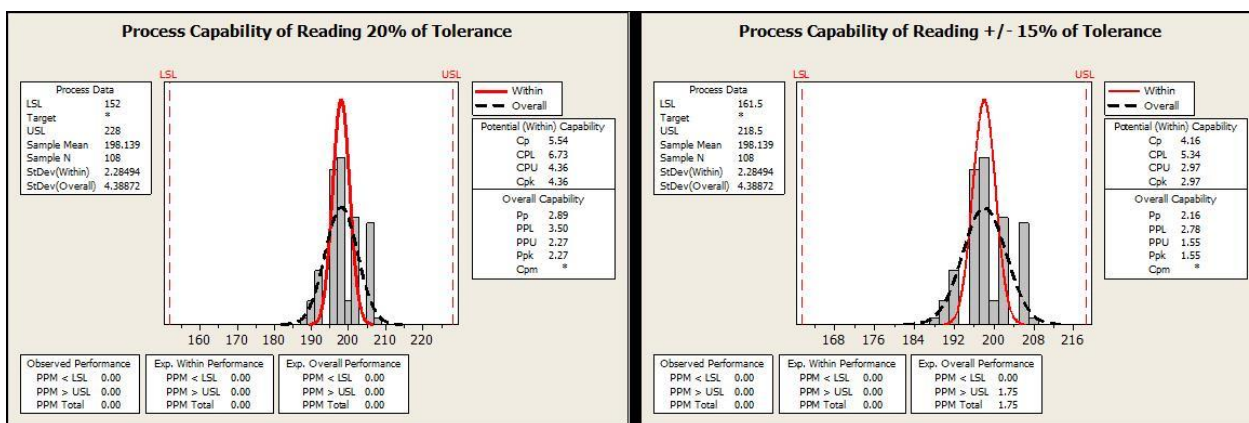


Fig. 2.2.3a. CPk del proceso de Curado UV

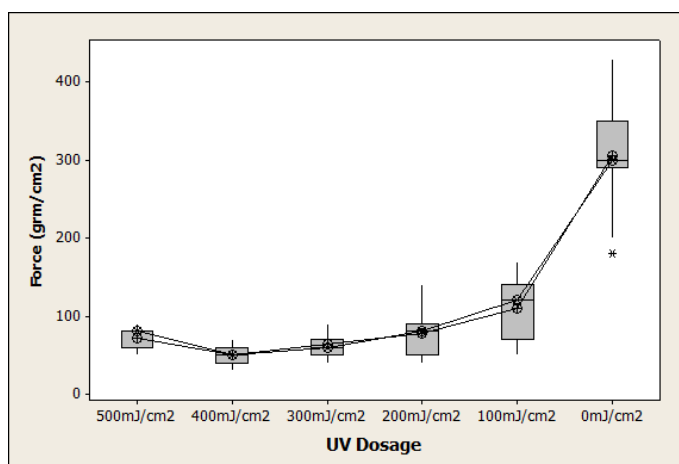


Fig. 2.2.3b. Dosis de UV a diferentes fuerzas

2.2.4 Filme a filme

Evitar cualquier daño en los paquetes, todas las herramientas fueron pulidas. La separación debe ser 1mm +/- 0.2 para que entre el espurreo por la parte lateral del dispositivo. En la parte de abajo muestra que el del recuadro verde tiene una buena colocación en el tape y en el recuadro rojo hay varias piezas mal orientadas señaladas con flechas, no totalmente derechas, pero mientras estén separadas 1mm, el blindaje estará correcto (fig. 2.2.4a). La distribución de separación entre paquetes se ve en el gráfico de la fig. 2.2.4b., donde indica que es mayor al milímetro y con una buena capacidad de proceso.

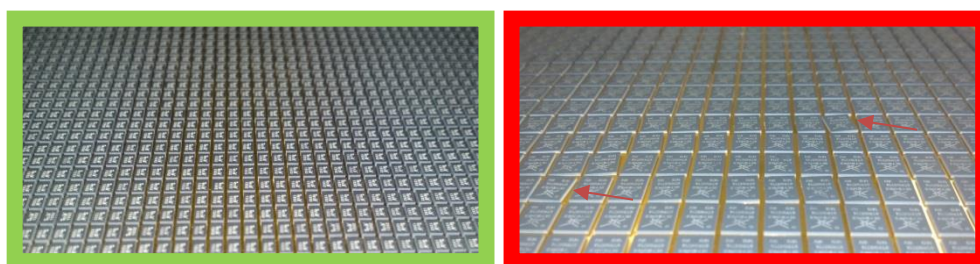


Fig. 2.2.4a. Posición de las piezas en el aro

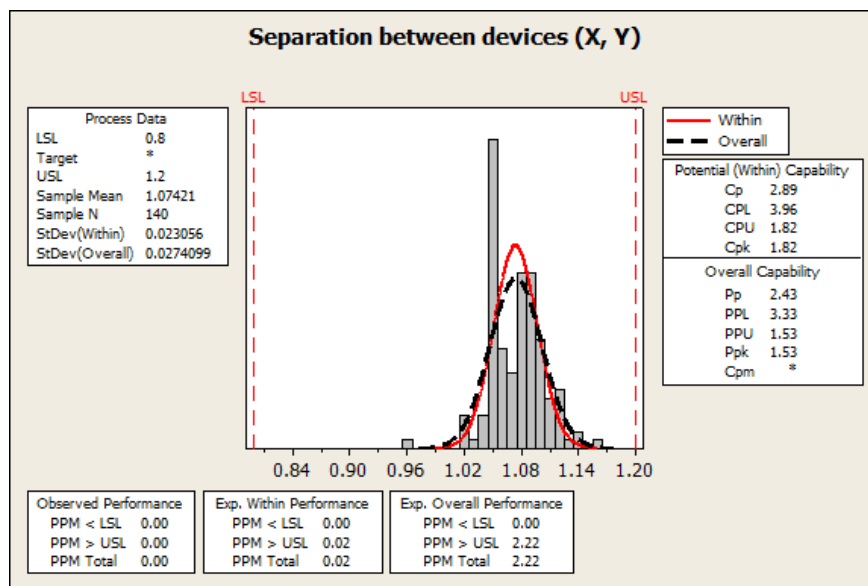


Fig. 2.2.4b. CPk de separación entre paquetes

Las siguientes graficas de la *fig. 2.2.4c*. muestran la distribución de datos de la separación de piezas en las diferentes direcciones dimensionales del paquete, es decir, el milímetro se midió desde la parte inferior, superior, derecha e izquierda en los ejes X y Y, mostrando una estabilidad de datos con ciertos puntos aislados representados por asteriscos, pero aun así dentro de las especificaciones que es de 1 ± 0.2 mm, de hecho, las medias mostradas en los gráficos indican valores apenas por arriba de 1.05 mm, que se denominan por las líneas horizontales en cada rectángulo.

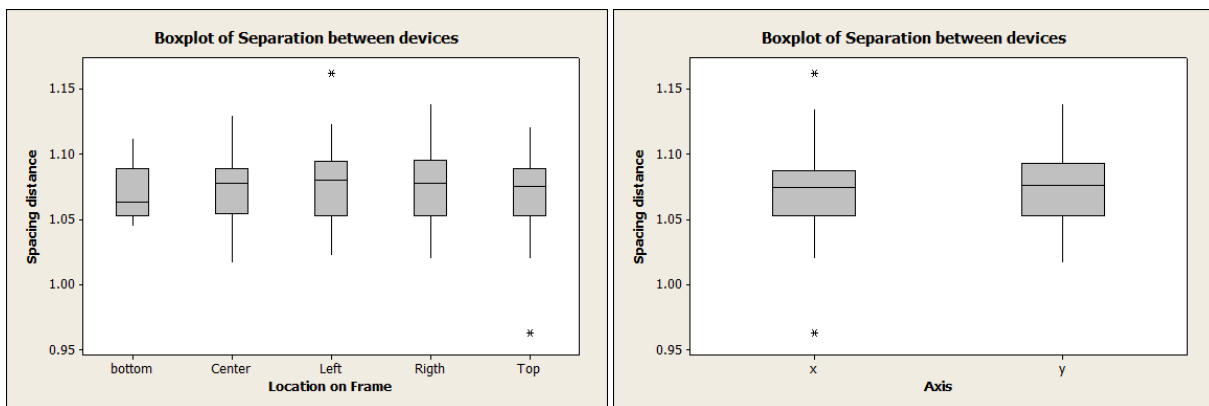


Fig. 2.2.4C. Distribución de datos de separación de piezas en las diferentes direcciones.

Además, este equipo tiene la capacidad de inspeccionar dimensionalmente y para entender su comportamiento se hizo un estudio de repetitividad y reproducibilidad obteniéndose los siguientes resultados mostrados en las *fig. 2.2.4d*. $X=9.2\%$, $Y=7.2\%$. Lo cual es aceptable menor al 10% de acuerdo al estándar de la industria AIAG (Automotive Industry Action Group) y los estándares internacionales de calidad en los semiconductores [21].



Fig. 2.2.4d. Estudios GRR de dimensiones en un equipo FF.

2.2.5 Espurreo

Incluso si no hay problemas con la limpieza con plasma de PVD en la configuración real, la cámara de limpieza ICP en el próximo equipo ayudará a aumentar la adhesión entre la capa de metal y el compuesto de moldeo. Para esto se hicieron pruebas de rayado en 70 piezas tomadas en las diferentes posiciones del aro y todas con buenos resultados. Ver *fig. 2.2.5a*

Scratch Test STR		
Position	Before	After
Center Sample 1		
Left Sample 2		
Right Sample 3		
TOP Sample 4		
		RESULT:

Fig. 2.2.5a. Prueba de rayado

Se midió el espesor del metal con la técnica de XRF a 5 unidades por lote. La cual es un Análisis de Fluorescencia de Rayos X, dispersivo de energía, de acuerdo con las normas DIN ISO 3497 y ASTM B 568. El método de medición de XRF tiene su base en el fenómeno de que, cuando los átomos en una muestra de material son excitados por la radiación X primaria, se liberan electrones de las capas más internas; las vacantes resultantes se llenan con electrones de las capas externas. Tal y como se muestra en la *fig. 2.2.5b*. Durante estas transiciones, se genera radiación fluorescente que es característica para cada elemento. Esto es leído por el detector y proporciona información sobre la composición de la muestra. [22]

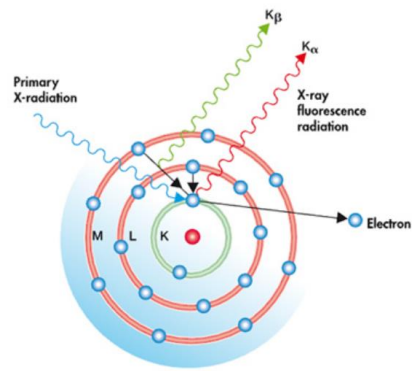
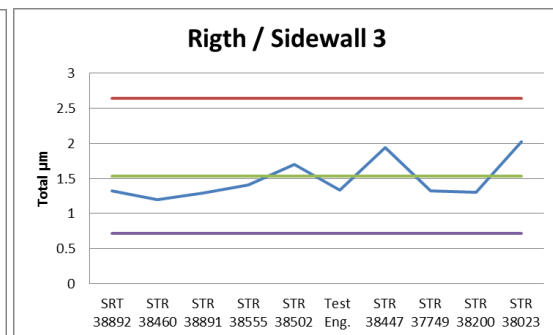
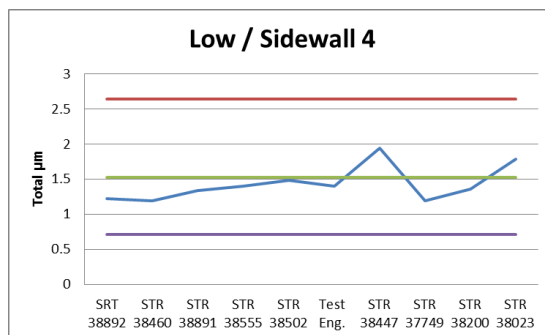
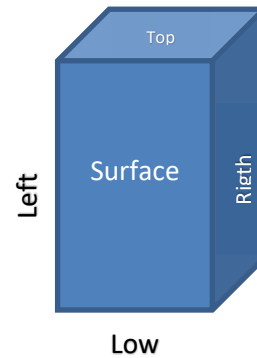
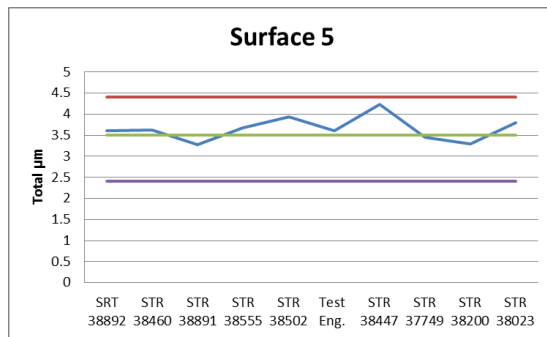


Fig. 2.2.5b. Modelo atómico para el método de análisis XRF

Con este método, se midieron las unidades en la parte superior y los laterales. Los resultados se muestran en los gráficos de control de la *fig. 2.2.5c*. Las especificaciones son

- ✓ Superficie 3.4 +/- 1µm
- ✓ Lateral: 45 +/- 15 % de la superficie



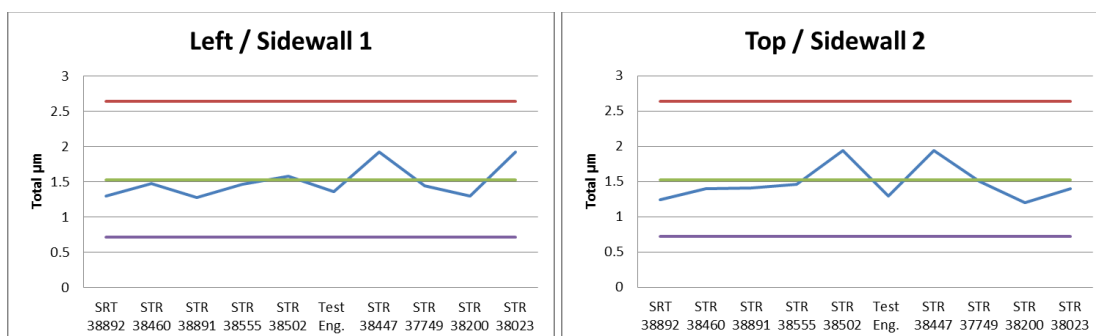


Fig. 2.2.5c. Gráficos de control de las mediciones XRF.

Todas las mediciones XRF estuvieron dentro del límite de especificación tanto en la superficie como en los laterales.

2.2.6 Filme a charola

Se pasa de manera automática de aro a charola, ver *fig 2.2.6a*. una vez ya espurreado. Para evitar cualquier daño en los paquetes, todas las herramientas fueron pulidas. Después se realizó un estudio de visión GR&R < 10%, para la inspección de cualquier defecto físico, es decir por atributos.

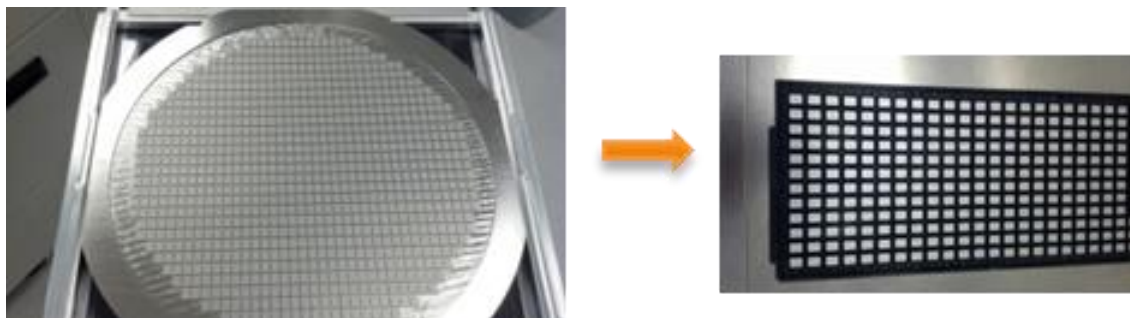


Fig. 2.2.6a. Paso de aro a charola

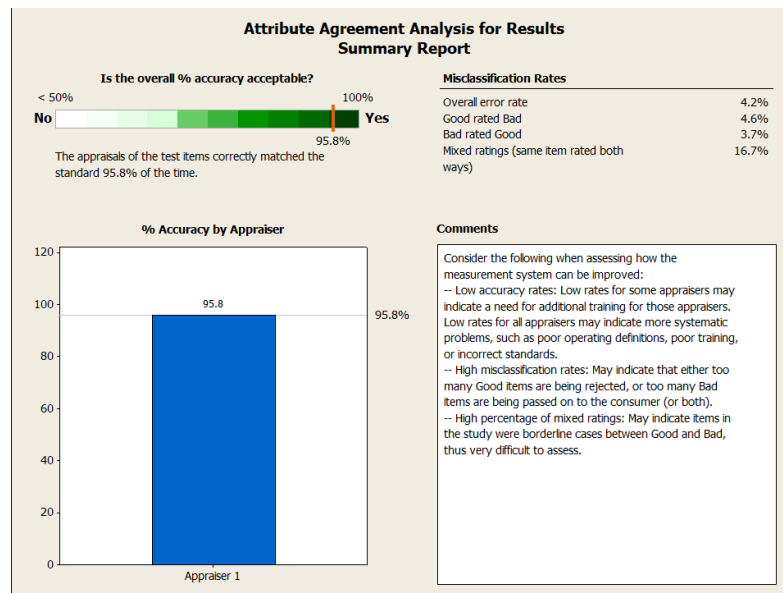


Fig. 2.2.6b. GR&R por atributos de un equipo FT

El estudio de repetitividad y reproducibilidad fue del 4.2% de error, lo cual indica que la inspección está dentro del rango de aceptación para materiales críticos. De acuerdo al resultado de la *fig. 2.2.6b*. Lo relevante aquí es que aún hay un 3.7% de posibilidad de error de un escape, es decir, una pieza que físicamente es mala y dio buenas por el sistema, el cual ese se ve impactado directamente al cliente final, aun cuando aceptan cierto nivel de PPM. Es por eso que se instaló una inspección 100% de todas las piezas buenas entregadas por el equipo. El otro impacto es el sobre rechazo del 4.6%, es decir piezas que el equipo detecto malas y son buenas de acuerdo a la especificación del producto, el cual impacta directamente en el costo.

2.3 Efecto de ablación con una respuesta eléctrica

Basado en una combinación de diferentes parámetros de entrada como los son voltaje, presión y velocidad de la banda en el proceso de ablación utilizaremos diferentes desbastes que van en el actual rango de especificación del proceso. Es decir, de 20um a 60um. Estos datos serán obtenidos con una medición con micrómetro antes y después del desbaste y veremos el grado de exposición de los alambres de cobre. Después seguiremos todos los pasos del proceso de la forma actual, tal y como fue mencionado en el flujo de la *fig. 1.3.1*. Cada condición de la corrida esta especificada en la siguiente tabla:

Corrida	Muestra	Condición de Ablación	Voltaje (volts)	Presión (psi)	Velocidad de la banda (seg) en 10"
A	868	Profundidad 20um	100	55	54
B	868	Profundidad 30um	100	70	54
C	868	Profundidad 40um	100	85	54
D	868	Profundidad 50um	100	2 pasadas a 55 y 70	54
E	868	Profundidad 60um	100	2 pasadas a 55 y 85	54

Fig. 2.3. Tabla de corrida experimental en el proceso de ablación

La tabla de la *fig. 2.3* muestra las 5 corridas experimentales en la cual solo fueron variables dos factores críticos del proceso que fueron profundidad al efectuar ablación de entre 20um y 60 um y la presión de 55 a 85 psi y dos corridas con dos pasadas a diferentes valores. El voltaje y la velocidad de la banda fueron factores fijos a 100 volts y 54 segundos en una distancia de 10" respectivamente.

2.3.1 Resultados del experimento de ablación

A continuación, se muestran unas imágenes de como se ve cada muestra de cada corrida de acuerdo a la tabla mostrada con anterioridad en la *fig. 2.3*, aquí la variable crítica es la cantidad de desbastado que se realizó, que fue desde 20 micrones hasta 60 micrones, dada la especificación total del espesor del producto.



Fig. 2.3.1a. Corrida "A" a 20 um.

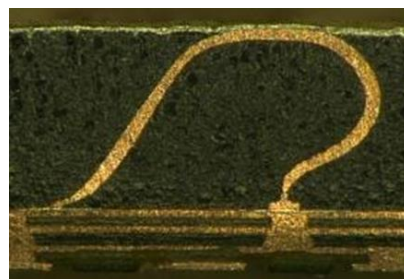


Fig. 2.3.1b. Corrida "B" a 30 um.

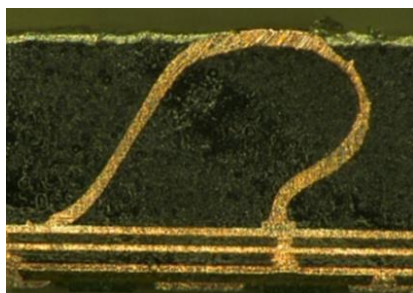


Fig. 2.3.1c. Corrida "C" a 40 um.



Fig. 2.3.1d. Corrida "D" a 50 um.



Fig. 2.3.1e. Corrida "E" a 60 um.

Cada corrida siguió su flujo normal hasta llegar a la prueba eléctrica, obteniéndose los siguientes resultados:

Corrida	Cantidad de entrada	Buenas	Fallas	Tipo de falla	Sistema
A	690	650	40	S21	Credence 32
B	713	708	5	S21	Credence 32
C	799	799	0	No aplica	Credence 32
D	839	836	3	RL_Test_1575	Credence 32
E	774	761	13	RL_Test_1575	Credence 32
Total	3815	3754	61		

Fig. 2.3.1f Tabla de resultados de la corrida experimental de ablación

Se ve en la tabla de resultados de la *fig. 2.3.1f* que las corridas A y B tuvieron un comportamiento eléctrico con fallos en los parámetros S21, que fueron las corridas que no tuvieron exposición de alambre en la superficie que hace contacto con la pintura. También se nota que la corrida C no tuvo ningún fallo, ya que es donde el alambre se ve expuesto, pero sin romper la pintura. Las corridas D y E tuvieron un fallo eléctrico no atribuible al proceso de blindaje sino al fallo de un componente interno. Más adelante se aclara este resultado.

2.3.2 Confirmación de resultados

Se hizo una prueba de confirmación a 30um de ablación obteniéndose los siguientes resultados que se muestran en la *fig. 2.3.2a*:

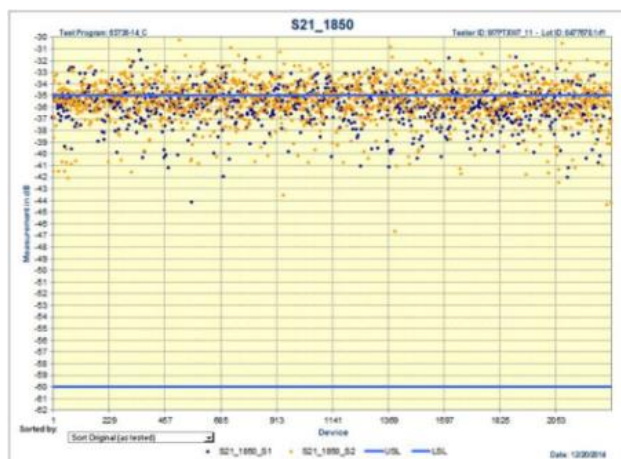


Fig. 2.3.2a Prueba eléctrica S21 a 30um

Las lecturas muestran aproximadamente +2 dB arriba del límite de especificación superior.

La siguiente fue una prueba de confirmación en prueba eléctrica, para el parámetro S21 a 1850 Hz, en la condición entre 40 y 50 μm de ablación, que es en el rango donde se ve claramente un contacto entre el alambre y la capa de pintura de plata, sin llegar a sobre exponerse.

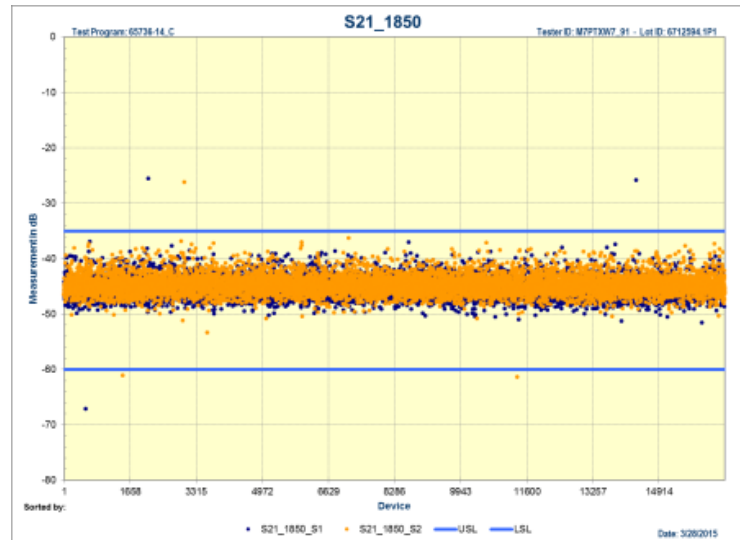


Fig. 2.3.2b Prueba eléctrica S21 entre 40 μm y 50 μm

En la *fig. 2.3.2b* se muestra que casi todas las lecturas están dentro de los límites de especificación, con excepción de unos puntos aislados, que pueden ser efecto ruido por algún otro componente del dispositivo.

Una condición que se encontró es que cuando el alambre está expuesto a más de 50 μm , pierde vacío al momento de desarrollar el proceso de Singulado, es decir, en la transformación de formato sustrato a formato individual. Con valores menores a 30Kpa no es posible cortar el sustrato.

2.3.3 Conclusiones del experimento de desbastado

- Datos de prueba eléctrica determinaron que el parámetro S21 con el proceso de ablación solo se manifiesta si es menor a 40 μm .

- Podemos deducir que el proceso de ablación superior a 40um es suficiente para no generar S21, con los siguientes parámetros de entrada: 100 volts, 85 psi y 54 segundos para el transporte de la banda en un recorrido de 10". Siempre y cuando las condiciones de pintura se den de acuerdo a la especificación actual que es de 30um.
- Debemos de tener cuidado con ablación mayor a 50um ya que perdemos vacío al momento de cortar el sustrato.
- Los parámetros óptimos para no afectar procesos posteriores son entre 40 y 50um de ablación. No se ve afectado el rango de decibeles aceptados para generar el defecto S21 a 1850 MHz en la prueba eléctrica y tampoco se ve afectado el corte del sustrato para generar piezas individuales.

2.4 Efecto de capas de pintura con una respuesta eléctrica

El siguiente se hará en el proceso de pintado, incluyendo como variable la cantidad de pintura a agregar en el dispositivo para hacer contacto con el alambre, que van desde una capa, dos capas y por ultimo una tercera capa. No se pueden agregar más capas ya que saldría fuera de los límites de especificación de espesor requerida por el cliente. El desbastado será igual en cada corrida a 40um. Tal y como se muestra en la siguiente tabla de la *fig. 2.4*.

Corrida	Muestra	Espesor de pintura (tol +/-15)	Condición de Pintado
A	868	15um	Una capa de pintura
B	868	30um	Dos capas de pintura
C	868	45um	Tres capas de pintura

Fig. 2.4 Tabla de factores experimentales en pintura

2.4.1 Resultado capas de pintura con una respuesta eléctrica

Como se puede observar en las siguientes figuras, el alambre esta siempre expuesto, lo único que los distingue es que tanto hace contacto el alambre con la pintura de plata.

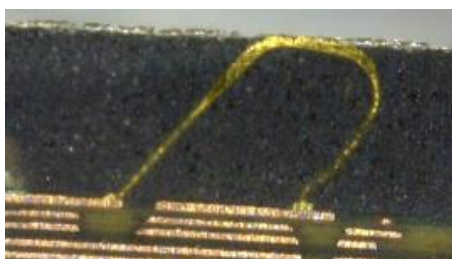


Fig. 2.4.1a. Corrida "A" con una capa.

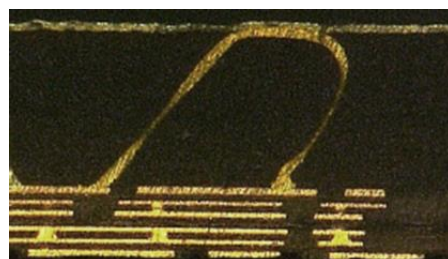


Fig. 2.4.2b. Corrida "B" con dos

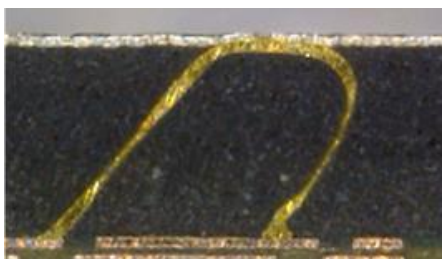


Fig. 2.4.2c. Corrida "C" con tres

El efecto en cada corrida se muestra en la siguiente tabla de la fig. 2.4.2d, donde se ven fallos en las corridas A y B en el parámetro S21, no así en la corrida C.

Corrida	Cantidad de entrada	Buenas	Fallas	Tipo de falla	Sistema
A	868	850	18	S21	Credence 32
B	868	861	7	S21	Credence 32
C	868	868	0	No hubo	Credence 32
Total	2604				

Fig. 2.4.2d Resultados del experimento de pintura

2.4.2 Conclusiones

En conclusión, el punto de contacto es el mismo determinado por la ablación, es decir siempre debe de haber un contacto entre la pintura y el alambre. En este caso, el tener tres capas asegura la suficiente pintura para ese contacto. Pero con una hay buen contacto en términos de eficiencia. Su efecto fue en un parámetro S (S21). Se verificaron que todos los alambres estuvieran previamente expuestos. Es decir, en este experimento no hubo efecto ruido por la ablación, todo es directamente proporcional a la cantidad de capas y su contacto.

2.5 Efecto del EMI

Interferencias causadas por las fuentes externas de impulsos eléctricos que atacan la calidad de las señales eléctricas. Para evitarlo se utilizó el blindaje. Este efecto se puede medir y verificar la interferencia electromagnética. En el siguiente estudio se verifico la atenuación EMI de material sin blindar *fig. 2.5a*, blindado con el procedimiento de pintura de plata *fig. 2.5b* y blindado con conformal *fig. 2.5c*. [13]

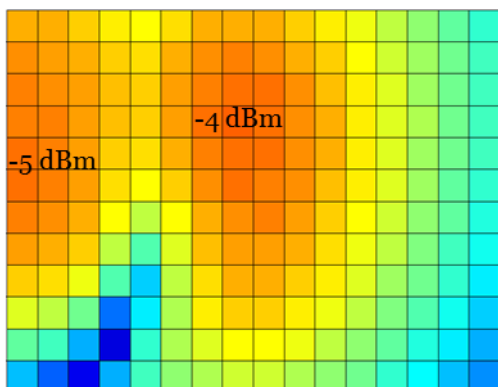


Fig. 2.5a Sin blindaje

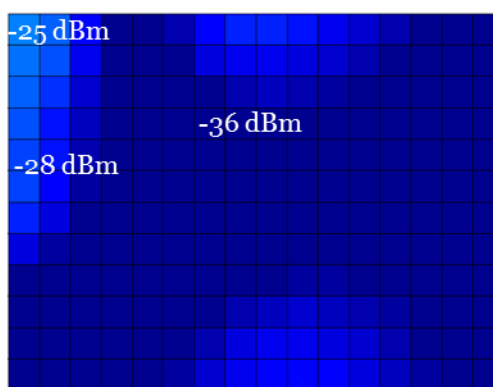


Fig. 2.5b Blindaje con Ag

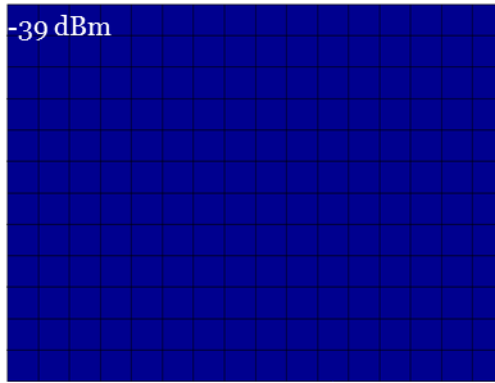


Fig. 2.5c Blindaje conformal

Los resultados se muestran en la siguiente tabla basado en las mediciones de las figuras mostradas con anterioridad.

#	Tipo de Blindaje	Atenuación EMI
1	Sin Blindaje	-4 dBm
2	Blindaje con pintura de plata	-25 dBm
3	Blindaje Conformal	-39 dBm

2.5.1 Conclusión de la medición de EMI

La pérdida de energía por los diferentes tipos de blindaje que existen es debido a que esa señal que viaja a través del dispositivo baja por la imperfección del medio de transmisión, pero si en este caso es el mismo, esa señal se debilita por su tipo de blindado y no permita que interrumpa su función principal. Como se muestra en la tabla de arriba, si no hay blindaje la pérdida es menor, por lo tanto, la atenuación es menor por ser menos negativa, ya que siendo más positiva en lugar de atenuarse se amplifica.

Dependiendo de la aplicación del dispositivo puede utilizarse a mayores frecuencias, por eso se decidió usar más blindaje conformal en la mayoría de los productos fabricados, ya que atenúa mejor la señal.

Sin embargo, es importante señalar que se verifico cuanta interferencia existía en dos diferentes productos con más capas de blindaje, es decir a diferentes espesores, como se muestra en la *fig. 2.5.1*.

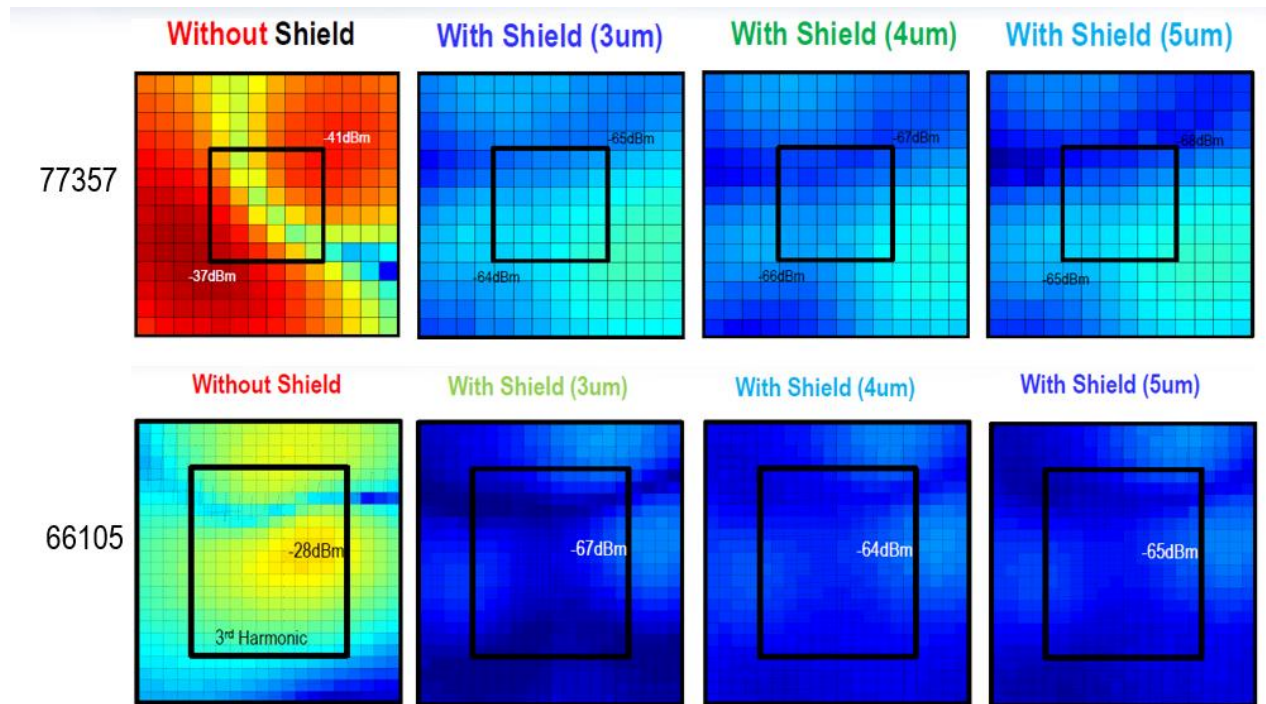


Fig. 2.5.1 Blindaje conformal con diferentes espesores de blindaje

El resultado fue si hay una diferencia si no se le agrega blindaje, pero la diferencia entre un espesor de 3um y 5um no hay diferencia significativa en cuanto al desempeño de la interferencia. Por ello se decidió utilizar la capa menor para mayor ahorro del blanco de Titanio y cobre.

2.6 Efecto de cobertura del blindaje con respecto a EMI

Este experimento se realizó haciendo diferentes tipos de rayones para ver el efecto en cada dispositivo en cuanto a su interferencia electromagnética y su efectividad en el escudo. A continuación, se muestran los tipos de rayones en cuales realizo el estudio



Fig. 2.6a Raya vertical de lado a lado, solo dañando la última capa de titanio

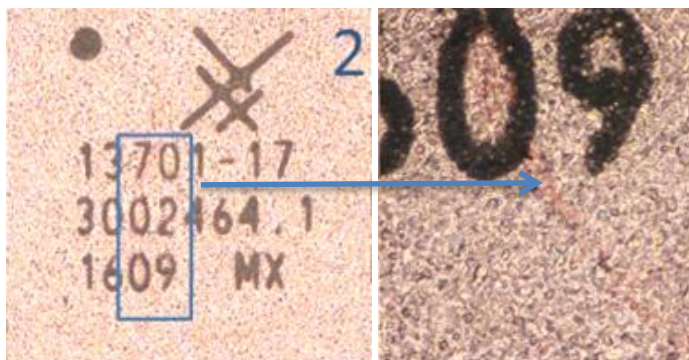


Fig. 2.6b Raya diagonal superficial, solo dañando la última capa de titanio

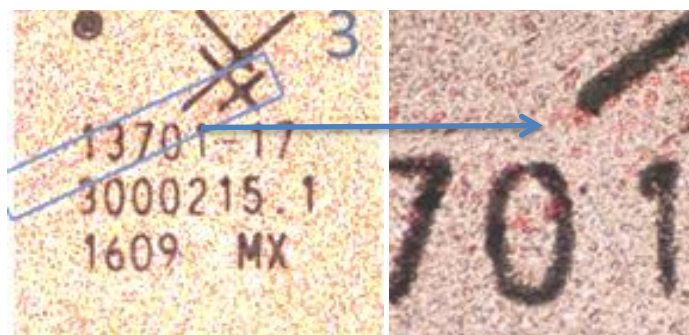


Fig. 2.6c Puntos rojos superficiales ocasionado por rozamiento



Fig. 2.6d Rayones los cuales exponen parcialmente el moldeo

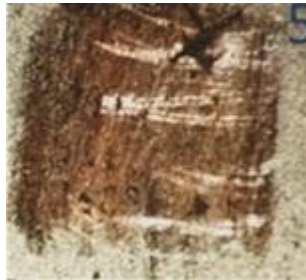


Fig. 2.6e Rayón que solo expone el cobre, pero en toda la superficie

Cada pieza se instaló en un tablero para medir su interferencia electromagnética con una prueba bench como en la *fig. 2.6.1a*. Cada caso fue serializado para su identificación. La prueba se efectuó con la siguiente configuración: En modo de analizador espectro, inicio con una frecuencia de 0.5GHz y paro a 13GHz, con un barrido y los pasos de revisión fueron de 0.5mm para Hx. La pieza # 1 de la *fig. 2.6a* se generó un rayón de lado a lado exponiendo el cobre, es decir solo se atacó la última capa de titanio. La pieza # 2 de la *fig. 2.6b* tuvo un rayón superficial diagonal atacando solo la última capa de titanio. La pieza # 3 de la *fig. 2.6c* tuvo puntos rojos ocasionados por un rozamiento. La pieza # 4 de la *fig. 2.6d* se realizaron rayas horizontales y verticales y en algunos puntos exponiendo moldeo, es decir atacando las tres capas del blindaje. La pieza # 5 de la *fig. 2.6e* se eliminó un 80% de la superficie del titanio. Y por último la pieza #6 fue la de control, es decir sin ningún daño aparente.

2.6.1 Prueba electrica de piezas con daños superficiales

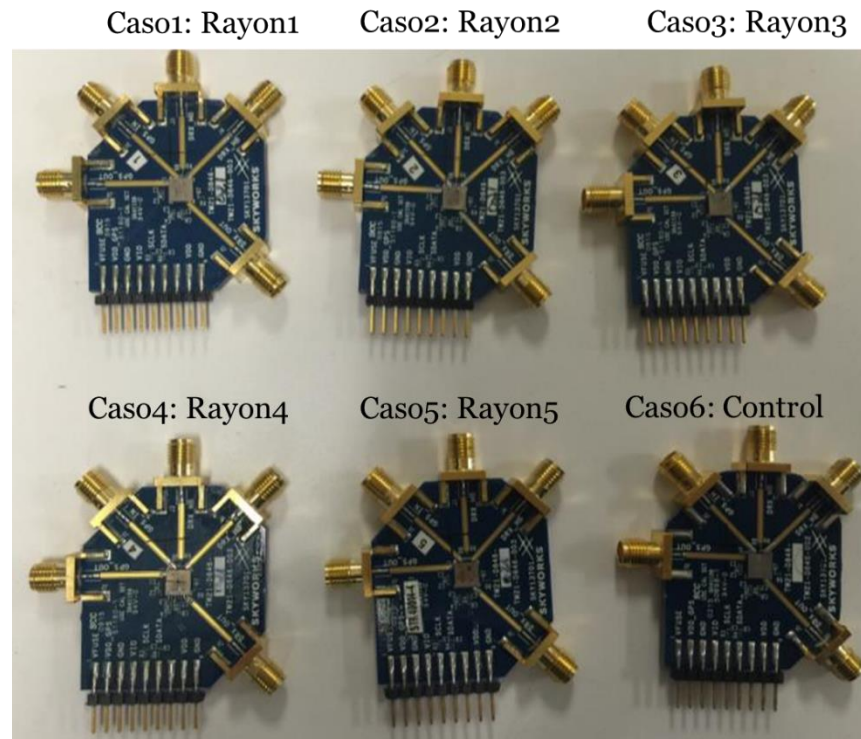


Fig. 2.6.1a Muestras instaladas en tableros para prueba bench

La medición de la efectividad del blindaje en el producto señalado indico no haber diferencias en cada frecuencia indicada en el grafico de la fig. 2.6.1b. Estas fueron en diferentes frecuencias: 1921.88 MHz, 3843.7 MHz y 5764.06MHz.

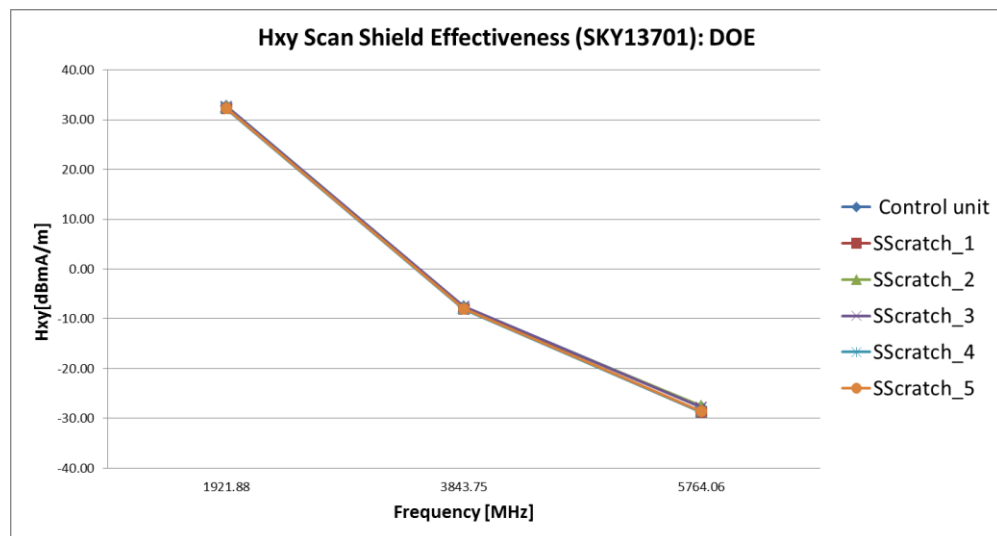


Fig. 2.6.1b Mediciones Hxy de las 6 muestras para medir la efectividad de blindaje

El resultado también se manifestó con gráficos como en la *fig. 2.6.1c*, no encontrándose diferencias entre los espectros de colores definidos en dBm/A/m de cada una de las piezas.

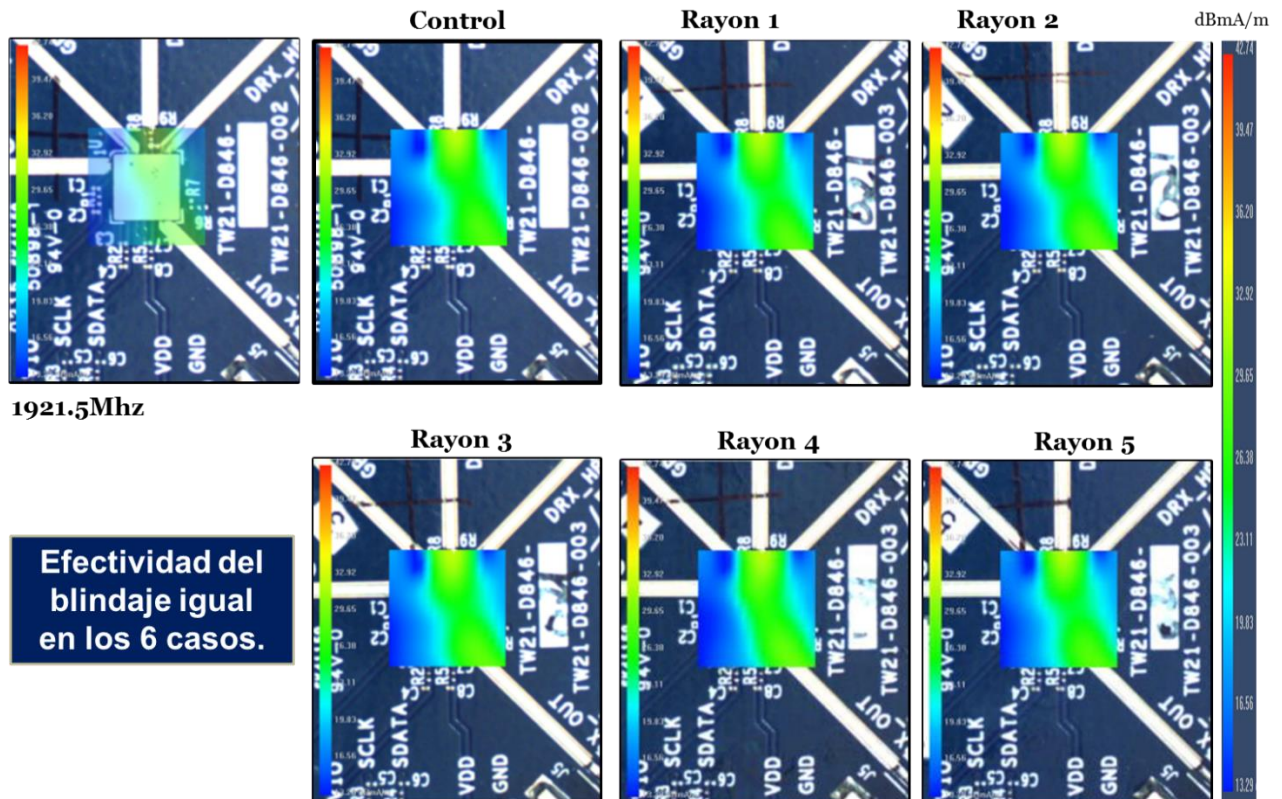


Fig. 2.6.1c Espectros de las 6 muestras

2.6.2 Conclusiones

El agregar más área de contacto mejora los efectos de aislamiento reduciendo el porcentaje de error en las pruebas eléctricas.

Cualquier daño superficial al paquete en las capas de Titanio no afecta al blindaje, ya que los resultados de Interferencia electromagnética fueron similares en todos los casos comparados contra una pieza de control sin daño alguno.

2.7 Efectos físicos del resultado de la prueba eléctrica con el espurreo y su solución

Existió un efecto al obtener un resultado eléctrico denominado RIS en una de sus bandas y se definieron los controles para materiales con una sola línea de cobre que une la metalización para crear el blindaje conformal.

El estudio consiste en el análisis del factor de salida RIS_B26 en relación con las entradas de un proceso de ensamble de blindaje conformal básicamente en espurreo, el cual debe asegurar una eficiencia superior al 97% solo del defecto RIS_B26. El blindaje se logra con la unión de la deposición metálica con la línea de cobre del sustrato (Ver *fig. 2.7*).

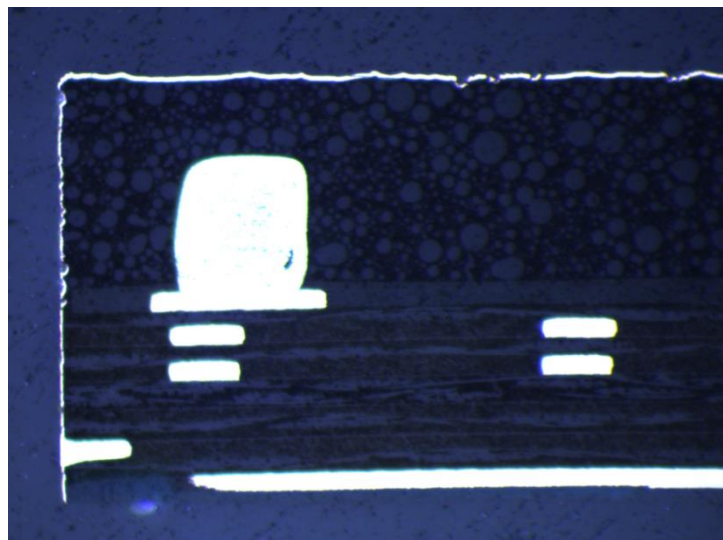


Fig. 2.7 → 3.4 μm : Ti=0.2 μm , Cu=3 μm , Ti=0.2 μm

2.7.1 Efecto # 1: Porosidad de Cu

La causa de la porosidad es el pobre contacto o alta resistencia a tierra. La hipótesis es la elevada temperatura en las cámaras durante el espurreo. Se necesita optimización de receta y control de temperatura ~200C.

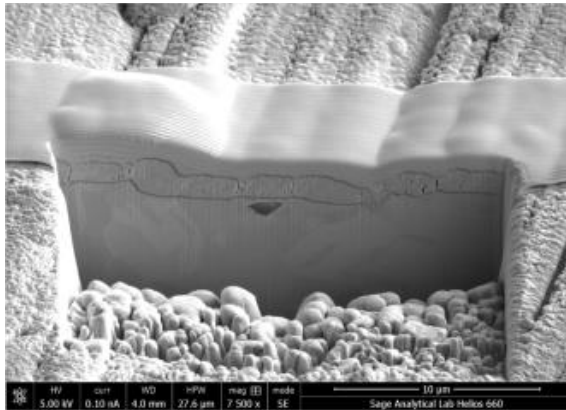


Fig. 2.7.1a. Muestra1 de espurreo con poros

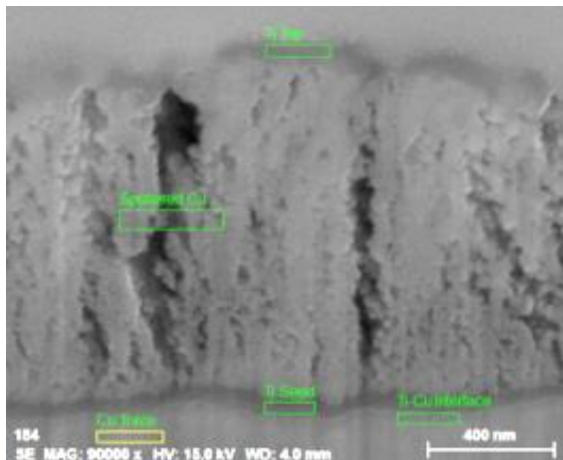
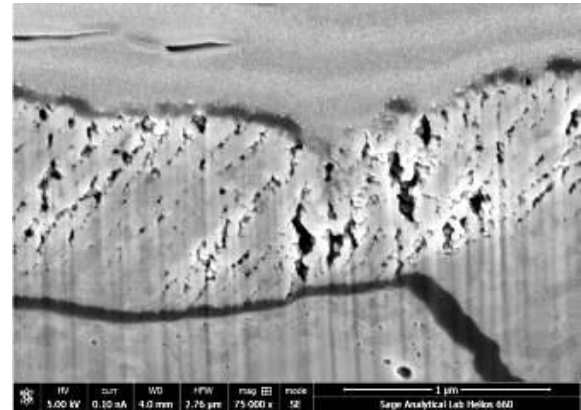


Fig. 2.7.1b. Muestra2 de espurreo con poros

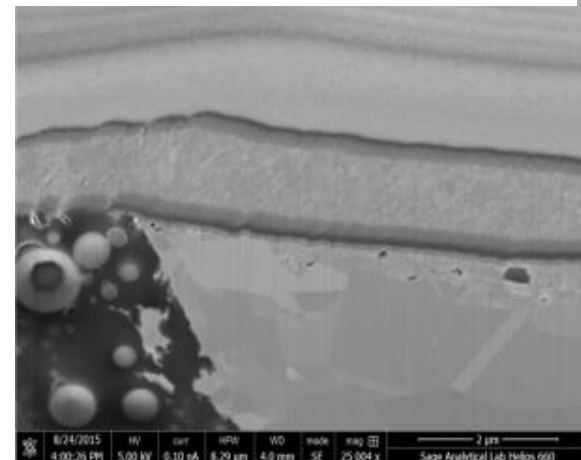


Fig. 2.7.1c. Muestra3 de espurreo sin poros

En la muestra 1 *fig. 2.7.1a* se tiene unas imágenes de un producto procesado con espurreo con plasma acoplado inductivamente (equipos TANGO) mostrando porosidad sobre la capa de cobre causado por temperatura.

En la muestra 2 *fig. 2.7.1b* se tiene una imagen donde se aplicó enfriamiento con gas argón que fue el método para mejorar < 200C. El mismo lote se hizo segundo espurreo para eliminar la porosidad, no tan amorfo.

En la muestra 3 *fig. 2.7.1c* se tiene una imagen de un material procesado en espurreo con plasma acoplado capacitivamente (equipo CNI) típicamente muestra una capa de cobre muy uniforme, no se detectan poros severos. Anda alrededor de 130C.

El resultado de la respuesta eléctrica en la banda 26 con cada una de estas muestras es disminuida a menor temperatura.

Muestra	RIS %
Muestra1 > 200°C (Tango)	30%
Muestra2 < 200°C (Tango)	0.1%
Muestra3 = 130°C (CNI)	0%

Fig. 2.7.1d. Tabla con resultados de RIS% a diferentes condiciones de temperatura

2.7.2 Efecto # 2: Descomposición del tape adhesivo/ contaminación de la línea de cobre

El principal efecto de la descomposición del tape es que este abierto y/o tenga alta resistencia a tierra. La hipótesis es el desprendimiento de gases del tape durante el vacío y calentamiento del re-deposito en la línea de tierra.

La solución es eliminar el proceso de desgasificación y tener un control de temperatura ~200C. En la *fig. 2.7.2a* se muestra estos efectos, donde los colores más oscuros es donde ocurre este fenómeno. Estas figuras son alta magnificación (10000x), pero en la *fig. 2.7.2b* se muestra a gran escala para denotar ese cambio de coloración.

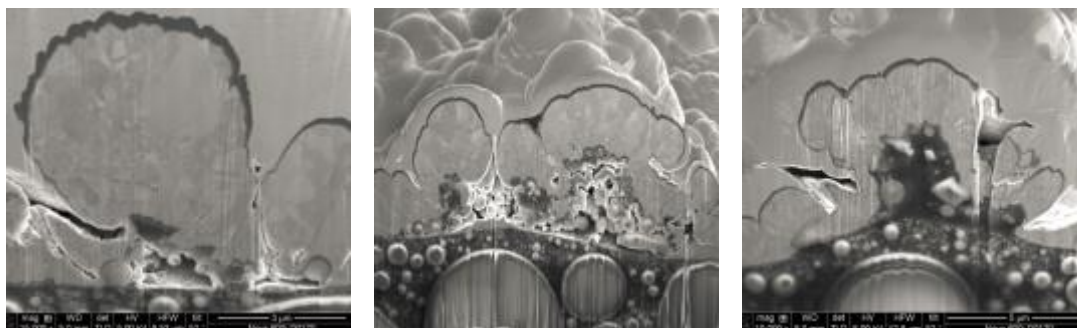


Fig. 2.7.2. Efecto de desgasificación a alta magnificación

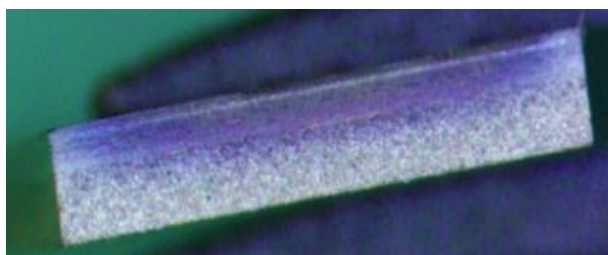


Fig. 2.7.2b. Efecto de desgasificación

Los efectos de sombreado en las figuras de arriba son producidos por desgasificación. Todas las superficies están cubiertas por capas de Ti-Cu-Ti. Requiere horneado el aro. El resultado de la prueba eléctrica es un RIS=8%.

2.7.3 Efecto # 3: Oxidación de la línea de tierra de Cu

El principal efecto de la oxidación es que este abierto y/o tenga alta resistencia a tierra. La hipótesis es el ambiente y condiciones de horneado producidos por diferentes niveles de oxidación. La solución fueron cambios en el perfil de horneado aplicando nitrógeno (N₂) y el uso agresivo del plasma ICP antes de PVD. Por otro lado, sería la optimización del plasma CCP dependiendo por donde se procese el material.

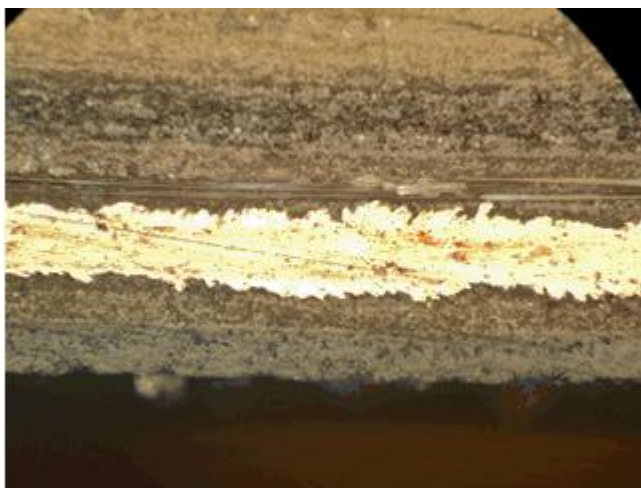


Fig. 2.7.3a. Muestra línea de Cu no oxidada

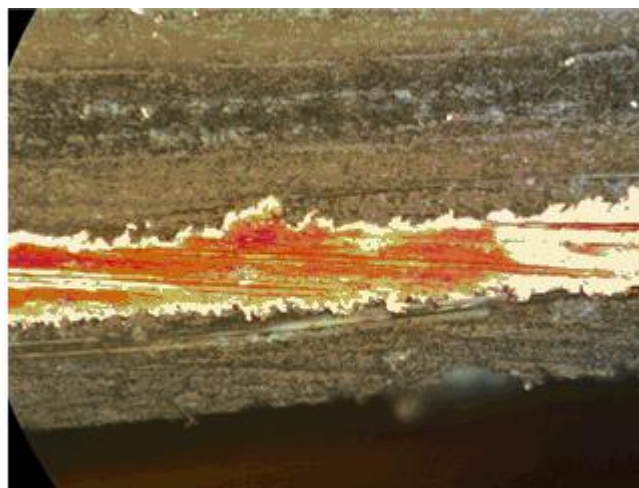


Fig. 2.7.3b. Muestra línea de Cu oxidada

Las *fig. 2.7.3a* muestra la línea de cobre del producto no oxidada por ningún agente externo. Mientras que la *fig. 2.7.3b* muestra oxidación por el claro color rojizo que muestra la línea de cobre. Esto se hace al hornear el producto solo con oxígeno en lugar de nitrógeno. Este efecto tuvo una diferencia en las muestras obtenidas en la prueba eléctrica referente al parámetro RIS en la banda 26, tal y como lo muestra la *fig. 2.7.3c*

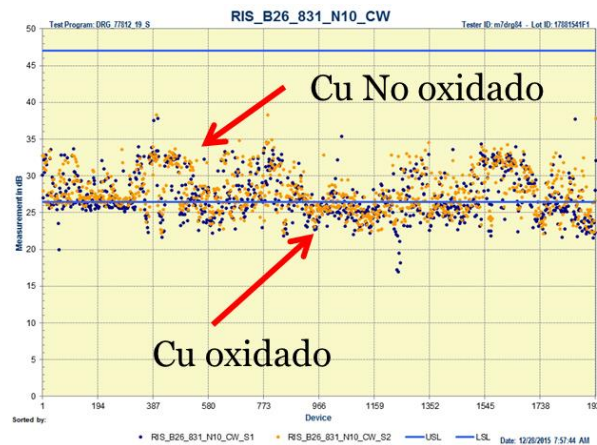


Fig. 2.7.3c. Prueba electrica de material oxidado y no oxidado

2.8 Efectos secundarios al efectuar el espurreo y su solución

Al estar efectuando el proceso de separación de la pieza del aro con tape, una vez espurreada, se empezó a ver un fenómeno, en donde cierta partícula, denominada filamento o hojuela (dependiendo del proceso donde se realizó el espurreo), quedaba adherida en la superficie lateral del paquete. Este filamento o hojuela, que se denominaron así para poder diferenciar de que proceso venia, puede ocasionar un corto después de ser ensamblada en el tablero final, por el contacto que pueda hacer la soldadura de estaño entre dos terminales de entrada y salida de donde se hace contacto a las diferentes funciones del dispositivo.

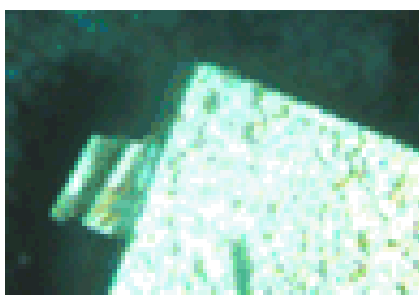


Fig. 2.8a. Hojuela.

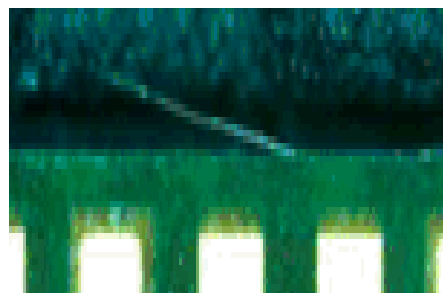


Fig. 2.8b. Filamento.

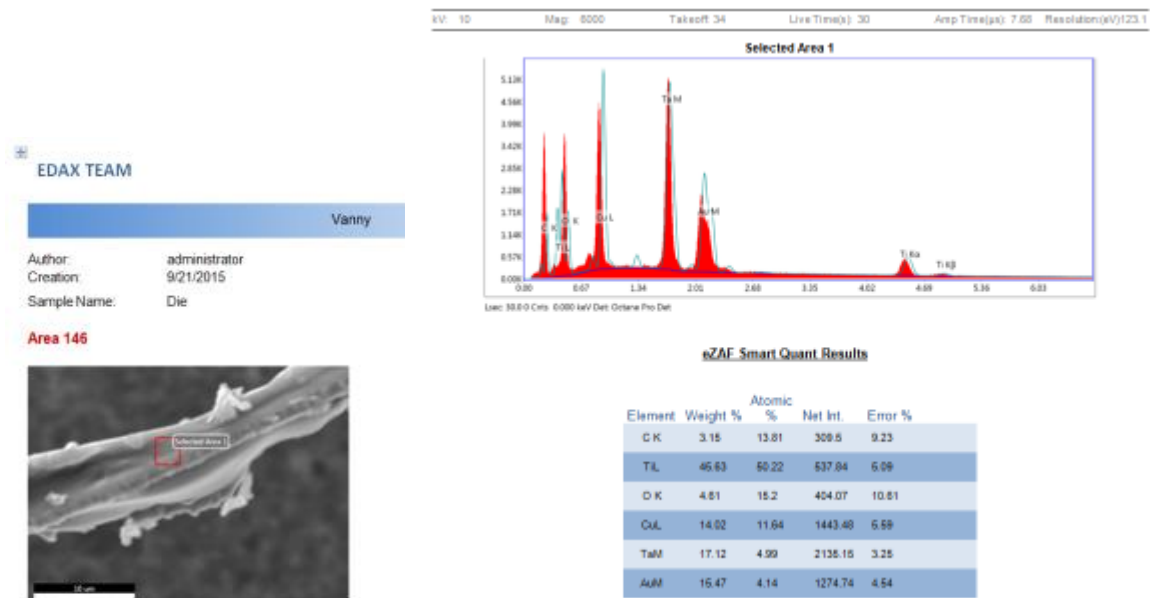


Fig. 2.8c. Análisis de EDX del filamento.

Como se indicó la hojuela producida en espurreo Tango y el filamento producido en espurreo CNI, al efectuar un EDX de esas partículas, se encontró que era el mismo recubrimiento que la superficie del paquete, no hay agentes externos dominantes, tal y como se muestra en la *fig. 2.8c* donde los elementos predominantes fueron Titanio y cobre. [23] [24] [25]

2.8.1 Soluciones

Para las hojuelas, que se definirá así al fenómeno donde ocurre en el proceso de espurreo que tiene un plasma acoplado inductivamente, se desarrolló un método para eliminarlos con diferente enfriamiento y receta de plasma. Esto es debido a que se rompía al levantarlo del plástico. El objetivo fue utilizar un controlador de flujo de masa (MFC) para medir y controlar el flujo de gas, como el de la *fig. 2.8.1a*. Este es un proceso de vacío, el controlador de flujo de masa compensa automáticamente las fluctuaciones de la presión del sistema ayudando al enfriamiento correcto del sistema. Sus ventajas fueron:

- ✓ No se ve afectado por los cambios de temperatura o presión en el flujo de gas

- ✓ Puede funcionar bajo presiones positivas o negativas (vacío)
- ✓ Incorporando elementos de control han llevado a su uso en miles de aplicaciones de flujo de gas

Su funcionamiento consiste de 4 partes básicas: Transductor de presión (Baratron manómetro de capacitancia); Sistema electrónico de control; Válvula de control; Sistema de Presión. Compara la lectura de la presión dada, y la posición de la válvula a mantener. Si la presión es menor abre la válvula y si es mayor la cierra, para el control de flujo del gas.

Baratron® manómetro de capacitancia mide la presión real (definida como fuerza/unidad área). Esto significa que la medición es insensible al tipo de gas que será medido. Otros medidores como Pirani, termocupla y ion gauges, no miden la presión verdadera y por lo tanto sus lecturas serán sensitivas al tipo de gas. [26]

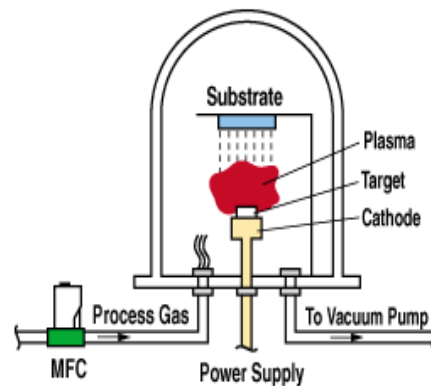


Fig. 2.8.1a MFC.

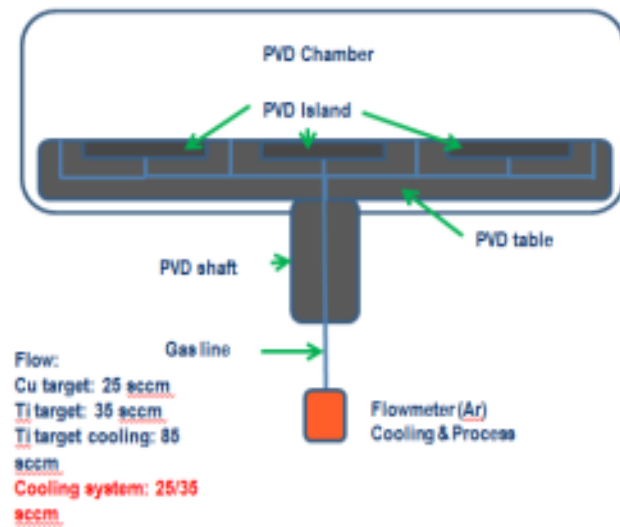


Fig. 2.8.1b Sin MFC (diseño original).

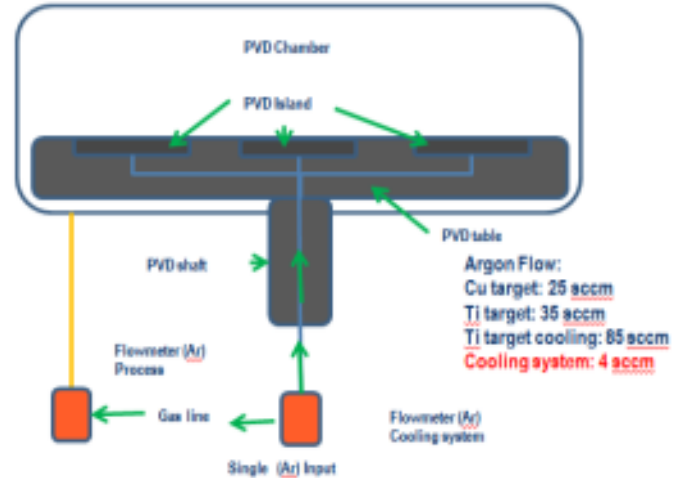


Fig. 2.8.1c Con MFC

En la *fig. 2.8.1b*, se muestra el que fue el proceso original del PVD antes de aplicar más enfriamiento a la cámara de deposición. Para ello se dividió en una segunda línea de gas para enfriar aún más y que al menos alcanzara los 200C en el espurreo en Tango, tal y como se muestra en la *fig. 2.8.1c*.

Para los filamentos, que se refiere al espurreo con plasma acoplado capacitivamente. Se desarrolló un proceso alternativo denominado tape de sacrificio. Este proceso está definido de la siguiente manera:

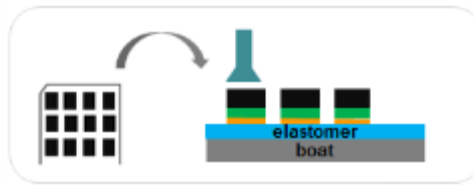
Paso 1: Colocación del tape adhesivo en el producto, que su función es que no traspase la metalización durante el espurreo, tal y como se muestra en las siguientes figuras:



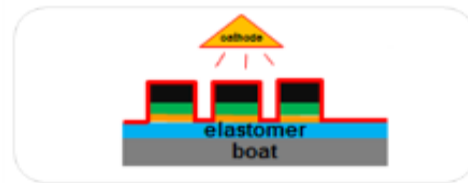
Paso 2: Corte de cada pieza en el proceso de Singulado



Paso 3: Colocación de las piezas de las charolas a los contenedores donde se hace el espurreo.



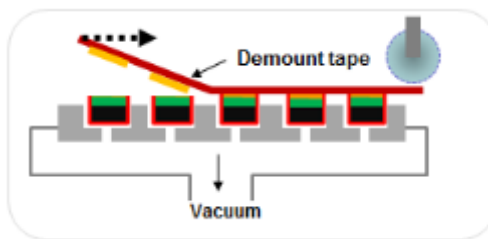
Paso 4: Espurreo de las piezas con todo y el tape



Paso 5: Descarga de los paquetes ya espurreado con tape a charolas de plástico



Paso 6: Desmonte del tape de los dispositivos, mediante vacío generado a la charola por cada una de las piezas.



2.8.2 Resultados

Para las hojuelas. En una primera etapa se definió cuáles serían los parámetros óptimos para no obtener hojuelas. Se definió el tiempo de procesamiento del aro con material dentro de la cámara de espurreo, la velocidad en se estaría aplicando el sólido por medio del magnetrón, el flujo de gas argón que se aplica para chocar con el blanco, ya sea de titanio o de cobre y que no se enlaza con otro elemento por ser un gas noble donde tiene sus niveles de energía completos para compartir o recibir electrones. También se definió la potencia del plasma, el flujo de gas oxígeno en el plasma, que actúa como un agente de oxidación con el titanio para generar mayor adherencia en el sustrato. Sobre esto se hizo un diseño de experimento donde la salida sería reducir significativamente o eliminar las hojuelas en el proceso de espurreo.

Experimento	Tiempo de procesamiento (seg)	Velocidad (mm/seg)	Flujo de gas argón (Ar)	Potencia (watts)	Flujo de gas oxígeno (O2)	Hojuelas (muestra 100 piezas)	Comentarios
Control	120	6	10	600	10	84	Pequeñas hojuelas entre 20 y 40 um
Corrida 1	120	6	5	600	10	36	Hojuela larga hasta de 400 um
Corrida 2	120	6	7.5	600	10	78	Hojuela larga de 250 um
Corrida 3	120	6	10	1200	10	54	Pequeñas hojuelas no más grandes de 20 um
Corrida 4	120	6	7.5	1200	10	12	Hojuelas entre 100 y 150 um
Corrida 5	120	6	5	1500	10	54	Hojuela larga hasta de 400 um
Corrida 6	120	6	10	600	5	48	Hojuelas de 200 um
Corrida 7	120	6	10	600	20	12	Hojuelas de 300 um
Corrida 8	120	6	10	1200	5	0	No Hojuelas
Corrida 9	120	6	10	1200	5	0	No Hojuelas
Corrida 10	120	6	10	1200	5	0	No Hojuelas

Fig. 2.8.2a Tabla de corridas y resultados de los experimentos para eliminar hojuelas

Definitivamente los resultados de la tabla de la *fig. 2.8.2a* muestran una influencia muy importante de la potencia y el flujo de gas de oxígeno para la eliminación de las hojuelas. Pero este resultado no resulta favorable ya que la potencia del plasma está en su máxima capacidad, lo cual ocasionaba paros constantes en el equipo. Pero se entiende perfectamente los factores significativos del proceso. Sin embargo, se usó una alternativa bajo los mismos factores, pero utilizando el controlador MFC. Así que se hizo un experimento más cambiando esa potencia, pero ahora utilizando el controlador.

Maquina	Receta ICP	Condicion de la receta PVD	Hojuelas	Yield
Axcela1, PVD2	600W O ₂	Ar reducido sobre Ti (de 1.5 a 0.4sccm)	0	100%
Axcela1, PVD2	1200W O ₂	Ar reducido sobre Ti (de 1.5 a 0.4sccm)	0	100%

Fig. 2.8.2b Tabla de resultados de hojuelas utilizando MFC

Estos resultados de la *fig. 2.8.2b* muestran que no importa la potencia que se agregue si se tiene un controlador de flujo eliminando las hojuelas. Pero siguen los efectos secundarios en estas recetas. Ya que el utilizar un flujo de gas de oxigeno ocasiona precisamente una contaminación en la cámara que afecta directamente al producto, oxidando las paredes de la cámara que después estas se convierten en una contaminación en el producto. Para ello se diseñó una receta especial de limpieza de cámara, denominada receta de quemado ICP, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Receta de quemado ICP (limpieza de camara debido al uso de O2)					
Paso	Tiempo de procesamiento (sec)	Velocidad de la base	Flujo de gas Ar (sccm)	Potencia de la base (watts)	Potencia del inductor (Watts)
1	120	6	15	1500	300
2	30	6	100	0	0
3	120	6	15	1500	300
4	30	6	100	0	0
5	120	6	15	1500	300
6	30	6	100	0	0
7	120	6	15	1500	300
8	30	6	100	0	0

Para los filamentos, después de ejecutar todo el proceso denominado tape de sacrificio, fue el siguiente en los principales procesos donde podían ocurrir problemas debido a que podían sufrir cambios:

Proceso de colocación del tape				
Descripción	Medición	Objetivo	Valor Actual	Resultado
Adherencia del tape	CPk	2	2.1	Paso
Arrugas del tape	PPM	3.4	0	Paso
Burbujas	PPM	3.4	0	Paso
Partículas	PPM	3.4	0	Paso
Tiempo promedio de cambio	Min	T<25	15	Paso
UPH	PCB/Hr	>=330	424	Paso

Fig. 2.8.2c Tabla de resultados del proceso de colocación de tape

Los resultados en el proceso de tape fueron satisfactorios en todas sus características críticas tal y como lo muestra la tabla de la *fig. 2.8.2c*

Proceso de singulacion				
Descripción	Medición	Objetivo	Valor Actual	Resultado
Residuos de tape	PPM	3.4	400	Fallo
Delaminación	PPM	3.4	0	Paso
Arrugas	PPM	3.4	0	Paso
Filtración de agua	PPM	3.4	0	Paso
Corte incompleto	PPM	3.4	0	Paso
UPH	Piezas/Hr	12248	7873	Fallo

Fig. 2.8.2d Tabla de resultados del proceso de singulado

Los resultados en el proceso de singulado no fueron satisfactorios en todas sus características críticas tal y como lo muestra la tabla de la *fig. 2.8.2d*. Ya que hubo residuos de tape de 400 PPM. Y en cuestión de productividad fueron menos piezas por hora alrededor de 35% comparado contra el objetivo dado.

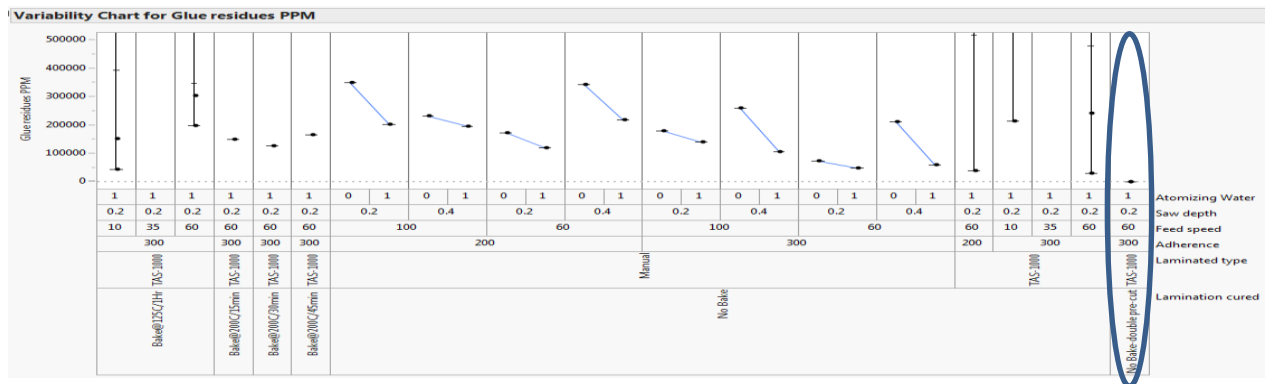


Fig. 2.8.2e Variabilidad de los factores de singulado

Debido a estos residuos se analizaron todos los factores de singulado para entender esa variabilidad, tal y como se muestra en la fig. 2.8.2e. Encontrándose un efecto de mayor variabilidad en la velocidad de corte, en combinación con otros parámetros importantes de singulado, los parámetros que están encerrados fueron los óptimos.

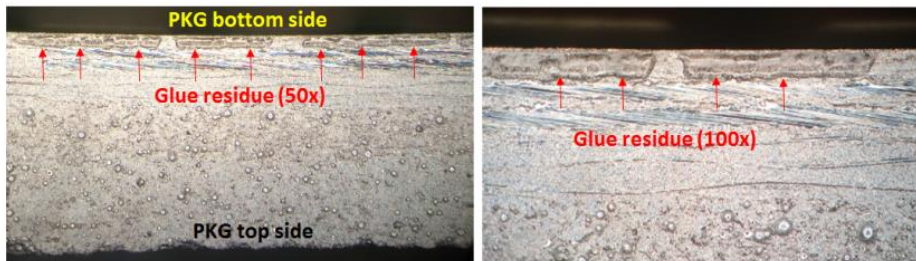


Fig. 2.8.2f Residuos de goma después del corte

Material Singulado tuvo problemas con la pegadura en la herramienta y con la revisión del corte por obstrucción del adhesivo, como se muestra en la fig. 2.8.2f.

2.8.3 Conclusiones

1. Para evitar problemas de hojuelas en la plataforma donde se utiliza plasma acoplado inductivamente es necesario:
 - ✓ Tener activado el controlador de flujo MFC
 - ✓ Es necesario aplicar un proceso de limpieza con argón cada que se aplique oxígeno a la cámara.
 - ✓ El proceso de introducción de oxígeno debe de ser de 5 sccm y con potencia de 600 watts, para evitar daños en el equipo.
2. Para evitar problemas de filamentos en la plataforma donde se utiliza plasma acoplado capacitivamente es necesario:
 - ✓ Aplicar el proceso de tape sacrificio
 - ✓ Para eliminar el problema de residuos de goma se necesitan tener los siguientes parámetros activos en Singulador:
 - ☐ Atomizado de agua encendido
 - ☐ Profundidad del corte de 0.2 mm
 - ☐ Velocidad del corte a 60 mm/seg
 - ☐ Adherencia a 300 mN con tape TAS-1000
 - ☐ No horneado y pre-corte.

2.9 Ventaja del producto conformal en relación a la humedad

En la industria electrónica muchos de los procesos son con ambiente controlado. Sin embargo, los niveles de humedad están presentes todo el tiempo. Existe la problemática, que después del proceso de horneado del producto, está expuesto al ambiente, y de acuerdo a la norma Internacional de “Manejo, Empaque, Embarque y uso de paquetes montados en superficies sensibles a Humedad/Reflujo” (J) solo puede estar 24 horas expuesto al ambiente (ver detalle abajo*). Muchas veces se tarda más de este tiempo el proceso siguiente de prueba eléctrica, causando un re trabajo y costo adicional.

Tiempo de horneado antes de empaque que fue expuesto a condiciones ≤ 60% RH			
Espesor del paquete	Nivel	Horneado 125C	Horneado 150C
≤1.4 mm	2	7 hours	3 hours
	2a	8 hours	4 hours
	3	16 hours	8 hours
	4	21 hours	10 hours
	5	24 hours	12 hours
	5a	28 hours	14 hours

Fig. 2.9a Tabla de requerimiento de horneado dependiendo del nivel MSL

Los requerimientos de secado en los niveles 2a-5a antes de ser sellados están mostrados en la tabla de arriba en la *fig. 2.9a*. El periodo entre secado y sellado no tienen que exceder el tiempo de exposición a la humedad (MET), menos el tiempo permitido para los distribuidores que abren las bolsas y re-empacan partes. Si el MET del proveedor es más que el tiempo normal de 24 horas, entonces el tiempo actual tiene que ser usado. Si la práctica del distribuidor es empacarlo con desecantes, entonces este tiempo no se necesita ser reducido del MET. [27]

La siguiente tabla *fig. 2.9.b* muestra la comparación de absorción entre materiales que tiene blindaje contra los que no tienen. En casi todos ellos hay una clara diferencia de mayor absorción de humedad en productos sin blindaje y la diferencia en aquellos que no hay tanta diferencia es que se utilizó moldeo por compresión en el plástico. La resina en lugar de generar una inyección reduce la porosidad por la cual puede acceder más fácilmente la humedad. De ahí la hipótesis que el blindaje cubre esas entradas micrométricas por la que la humedad accede. En conclusión, producto con blindaje y moldeo por el método de compresión absorbe menos humedad.

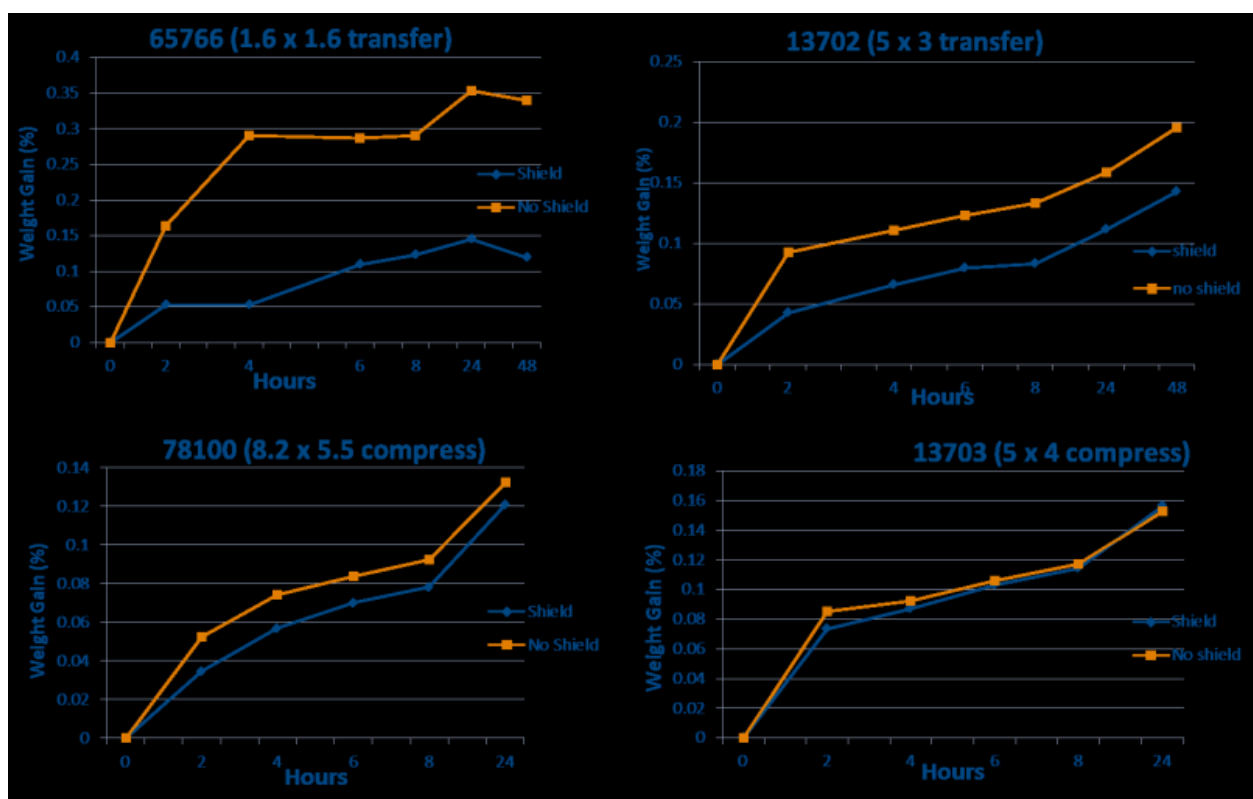


Fig. 2.9b Tabla de absorción de humedad con respecto al tiempo

Pero lo realmente importante era saber en cuanto tiempo el material con blindaje puede absorber la humedad en términos de horas, días, semanas, meses, etc. Para ello se definió un experimento con el siguiente flujo *fig. 2.9c*, el cual se explicará paso a paso:

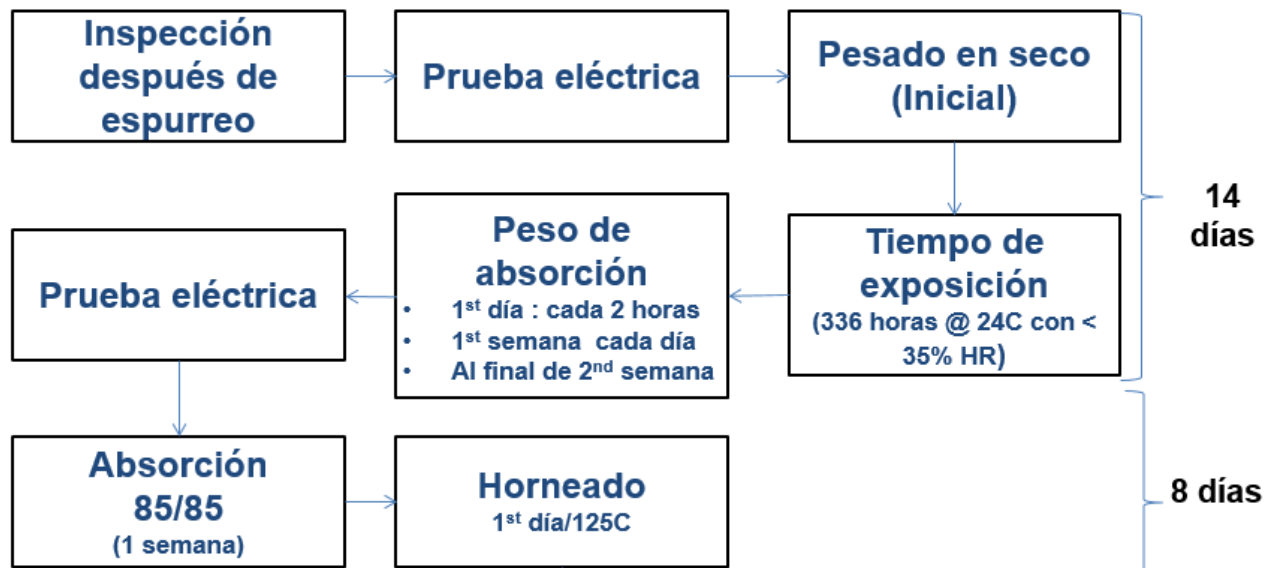


Fig. 2.9c Flujo para análisis de absorción de humedad

El primer paso implica hacer el espurreo y tomar el dato inicial que indique que verdaderamente el material está cubriendo todo el paquete. Después realizar la prueba eléctrica y tomar una muestra significativa de solo piezas buenas. Después se realizó el pesado del producto, pero antes ejecutando un horneado 8 horas a 125C, es decir el pesado inicial del producto fue en seco, esto es para determinar por medio de una balanza electrónica su peso en gramos, ganado por la humedad. El siguiente paso fue dejar el material a temperatura ambiente del edificio donde se encontraban dichas piezas, este tiempo de exposición a la humedad incluyo 336 horas a 24C con 35% de humedad relativa. Pero durante este tiempo se estuvieron pesando las piezas para ver el grado de absorción, primero cada dos horas durante 1 día solo tres muestras. Luego otra muestra de peso tomada cada día durante una semana y solo una muestra más al término de la segunda semana. Al final de este tiempo, que fueron 14 días, se volvieron a probar eléctricamente, con la intención de mandar solo piezas buenas funcionalmente hablando a pruebas de confiabilidad. Es decir, durante una semana se ejecutaron pruebas con estrés en sus límites denominada 85/85. Es decir, 85C la cual es una temperatura baja que batallara para eliminar la humedad del producto y una humedad relativa alta del 85%. Después de eso se horneo durante un día a 125C para retirar la humedad. [28] [29]

El resultado en la *fig. 2.9d* fue que no se ve una medición estable hasta llegar a las 72 horas donde se ve una pequeña rampa. Se encontró que el tercer dato fue erróneo, ya que el técnico ejecutor de la medición cometió un error en la ejecución del uso de la balanza electrónica, que después fue modificada. La lección aprendida fue verificar cada medición y asegurar la correcta ejecución de la misma. Además, que el brinco de 72 a 120 no se ejecutaron mediciones, ya que esos dos días fueron los del fin de semana, donde no se laboró. Sin embargo, se consideraron porque estuvieron absorbiendo humedad, además de que no fue significativo porque no hubo un gran salto en los valores de porcentaje de peso. Al término de la primera semana se vieron valores muy estables, pero después de las 192 horas hubo un salto en el peso. Se verifico si hubo un cambio en los sensores de humedad y temperatura y no los hubo. Por lo tanto, se entendió que este tiempo es determinante para que empiece la rampa de absorción. Al final se hicieron varias pruebas de confiabilidad y estrés para determinar el correcto funcionamiento del dispositivo. [30]

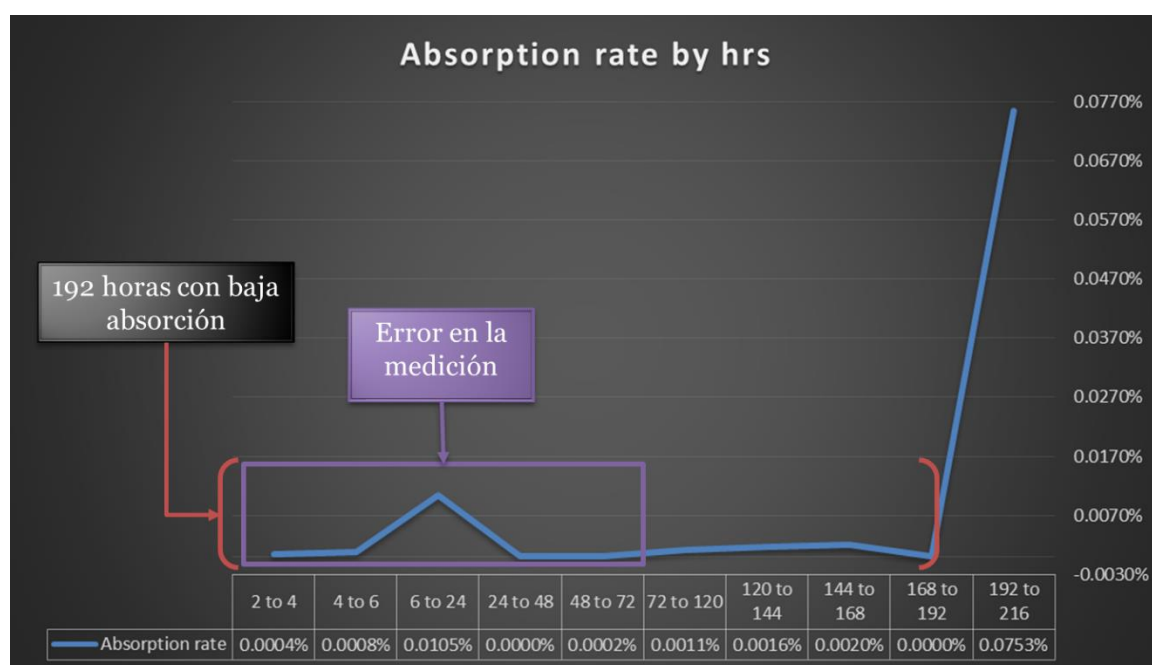


Fig. 2.9d Porcentaje de absorción con el transcurso de las horas

3 Conclusiones finales

Al principio se mencionó la importancia del blindaje en los circuitos semiconductores y como esta ayuda al mejoramiento del desempeño del producto final. Pero lo importante de este documento, es definir su implementación y mejora en un proceso de manufactura. Se plantearon varias hipótesis vividas en un ambiente de producción, ejecución de 24 horas continuas los siete días de la semana. Esto dio para desarrollar muchos experimentos que comprobaron y definieron varias hipótesis y a su vez salieron a relucir varios efectos secundarios que también tuvieron que ser atacados y ser resueltos. No en todos ellos fueron al 100%, pero su tuvieron una mejora importante.

La teoría dice que este blindaje interrumpe señales externas que puedan interferir con la frecuencia de operación. En el punto 2.5.1 se dio una conclusión más detallada de la interferencia electromagnética y se demostró mediante la medición que tipo es más efectivo, en este caso el blindaje conformal. Pero a su vez se hicieron experimentos que donde con una prueba eléctrica se determinó que esa señal eléctrica puede fallar si no se tiene un buen blindaje, tanto en el blindaje rociado por plata como en el blindaje conformal, fallando tanto en los parámetros de dispersión S, como en las pruebas de RIS para conformal.

Dentro de los objetivos, fue entender toda la teoría envuelta en esta investigación y se concluye que sirvió para determinar qué factores fueron los importantes para realizar los diferentes experimentos para cada uno de los procesos de manufactura. Por ejemplo, el plasma y vacío dentro del proceso de espurreo, para evitar contaminantes que influyan en una correcta adhesión del metal al efectuar la deposición de vapor físico. O las especificaciones dadas para los tapes adhesivos para evitar efectos secundarios de hojuelas o filamentos, su temperatura y control de flujo. Así como la condición de la pintura y sus sólidos y la arena y sus tipos para el correcto proceso de blindaje por rociado de plata.

También los análisis de laboratorio efectuado en los diferentes efectos generados en el proceso de blindaje conformal, como lo fueron los poros en la unión de metal con la línea de cobre, su oxidación y la desgasificación y sus efectos eléctricos. Y como su adhesión es importante, determinado por su prueba de rayado, que fue un buen calibrador o método para determinar la adhesión del metal, así como el XRF para el grosor del blindaje. Otro método de medición importante fue la prueba de banco para determinar la diferencia de EMI en los diferentes blindajes y como el blindaje de conformal es más efectivo en términos de atenuación. Y que ese blindaje permite menos la entrada de la humedad al sellar la porosidad del tipo de plástico de moldeo.

Se aceptaron las hipótesis de que factores de entrada como presión, velocidad, voltaje fueron importantes para poner en control los procesos de pintado y ablación. Comprobándolo con gráficos X-R (SPC) en cada variable crítica y su efecto con la respuesta eléctrica en los parámetros S. Y como la exposición del alambre para hacer contacto con la pintura y el grosor de tal pintura hacen una reducción de este defecto eléctrico en la matriz S21.

Fue claro el experimento donde indica que no importa que daño tenga la última capa de titanio en blindaje conformal, el cual NO tiene ningún efecto en el producto final y su señal eléctrica. El cliente final no lo acepta, pero solo es por cuestión cosmética, ya que funcionalmente no tiene ningún efecto. De hecho, si se revisan los desmontajes de los principales proveedores de móviles en el mundo y se revisan a alto enfoque, se verán varios efectos de rayas rojas, donde claramente se ve la exposición del cobre. Pero como se comentó en las pruebas de escaneo no hay diferencia entre una pieza con blindaje total y las piezas con rayas rojas.

4 Contribuciones y/o logros

Con el proceso de blindaje de rociado de plata se presentó a nivel nacional. Se ganó el premio nacional del trabajo 2015. Lo siguiente fue publicado en el diario oficial de la federación 30/11/2015 de la siguiente manera: [31]

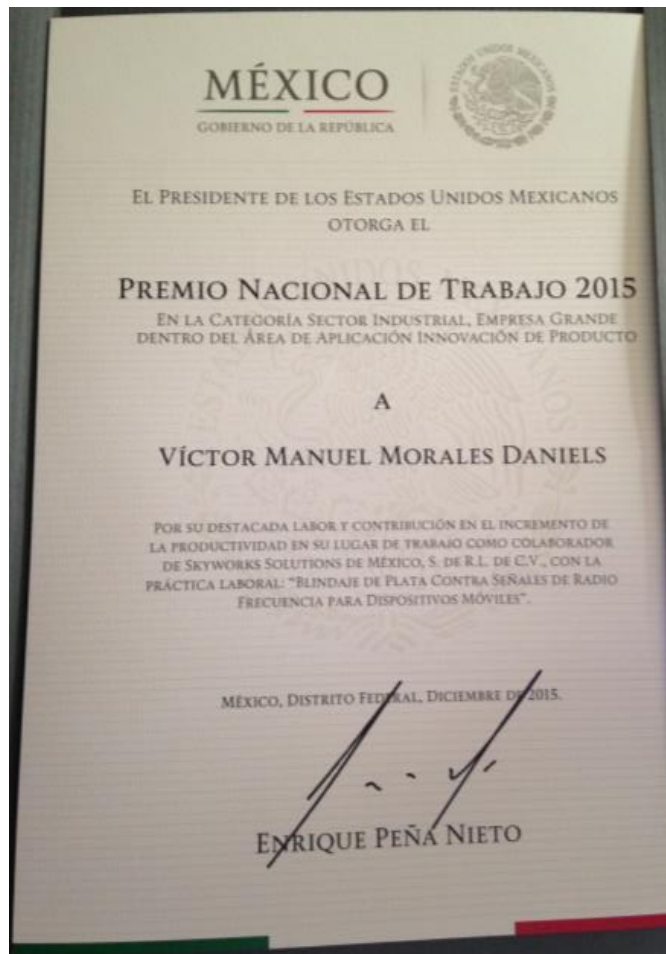
Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos. - Presidencia de la República. ENRIQUE PEÑA NIETO, Presidente de los Estados Unidos Mexicanos, en ejercicio de la facultad que me confiere el artículo 89, fracción I, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, con fundamento en los artículos 2, 3, 5, 6, fracción VII, 11, 33, y 68 al 71 de la Ley de Premios, Estímulos y Recompensas Civiles, y 40 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, y CONSIDERANDO, que el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, establece en su meta nacional "México Próspero", promover el crecimiento sostenido de la productividad en un clima de estabilidad económica y mediante la generación de igualdad de oportunidades, considerando que una infraestructura adecuada y el acceso a insumos estratégicos fomentan la competencia y permiten mayores flujos de capital y conocimiento hacia individuos y empresas con el mayor potencial para su aprovechamiento; Que elevar la productividad del país es un medio para incrementar el crecimiento potencial de la economía y así el bienestar de las familias; Que el Premio Nacional de Trabajo es el reconocimiento que confiere el Estado a las personas que por su capacidad organizativa o por su eficiente y entusiasta entrega a su cotidiana labor, mejoren la productividad en el área a que estén adscritos y sean ejemplo estimulante para los demás trabajadores; Que de conformidad con lo dispuesto en la Ley de Premios, Estímulos y Recompensas Civiles, el Jurado del Premio Nacional de Trabajo 2015 formuló mediante dictamen las proposiciones que el Consejo de Premiación ha sometido a la consideración del Ejecutivo Federal a mi cargo, he tenido a bien expedir el siguiente acuerdo:

Primero. - Se otorga el Premio Nacional de Trabajo 2015, a las personas en las categorías y áreas de aplicación que a continuación se mencionan

Empresa Grande.

Área de aplicación: Innovación de producto.

Trabajadores: Erick Fernando García Morales
Sergio Joaquín González Flores
Óscar Martínez Rangel
Víctor Manuel Morales Daniels
Heliodoro Osuna Araujo
Yolanda Saraí Ustoa Román



5 Bibliografías, Citas o Referencias

- [1] N. Instruments, "Wireless Standards - National Instruments," 2012. [Online]. Available: ftp://ftp.ni.com/pub/branches/taiwan/351345A-01_05267_RF_ill_final.pdf.
- [2] «Tech Insights,» Apple iphone 5S teardown, 2017. [En línea]. Available: <http://www.techinsights.com/about-techinsights/overview/blog/apple-iphone-5s-teardown/>.
- [3] Skyworks Solutions de Mexico, «Flujo de Manufactura de blindaje con pintura en circuitos semiconductores. TRB # 0809,» Heliodoro Osuna, Mexicali, B.C, 2013.
- [4] Skyworks Solutions de Mexico, «Flujo de Manufactura de blindaje conformal TRB #0834,» Heliever Armenta, Mexicali, B.C., 2015.
- [5] B. Cheney, «Introduction to Scanning Electron Microscopy».
- [6] R. a. D. F. Coughlin, Semiconductor Fundamentals, Englewood, NJ: Prentice Hall, Inc., 1976.
- [7] R. A. S. & C. Vuille, Fundamentos de Fisica, Mexico,DF: 9na edicion Cengage Learning, 2012.
- [8] S. M. S. a. K. K. Ng, Physics of Semiconductor Devices., John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [9] J. L. & A. Page, Electromagnetismo y semiconductores, Universidad Politecnica de Valencia.
- [10] M. Grundmann, The Physics of Semiconductors, Third Edition, ISBN 978-3-319-23879-1., Heidelberg: Springer, 2016.
- [11] B. G. S. & S. K. Banerjee, Solid State Electronic Devices Sixth Edition, New Jersey: Prentice Hall Series in Solid State Physical Electronics, Nick Holonyak, Jr.,Series Editor, 2006.
- [12] T. M. B. y. A. S. Fernandez, «Electrostatica-Jaula de Faraday,» Página de la Universidad Politécnica de Madrid, España, [En línea]. Available: <http://acer.forestaes.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/electro/jaula.html>.
- [13] R. Getz y B. Moeckel, «Understanding and Eliminating EMI in Microcontroller Applications,» Texas Instruments. Literature Number: SNOA382, Dallas, Texas, August 1996.
- [14] A. A. N. A. 154, «S-Parameter Design,» Agilent Technologies.
- [15] S. M. Rossnagel, «Sputter deposition for semiconductor manufacturing,» *IBM Journal of Research and Development* 43,, pp. pp. 163-179 , 1999.

- [16] R. C. Jaeger, Introduction to microelectronic fabrication, 2nd Ed, 2002.
- [17] B. &. Forrest, Plasmas en el laboratorio y en el cosmos.
- [18] E. J. E. Vázquez, Seis-Sigma 2da Edicion, Mexico, D.F.: Limusa, 2013.
- [19] «La Microscopia,» [En línea]. Available:
<http://www.medic.ula.ve/histologia/anexos/microscopweb/MONOWEB/capitulo3.htm>.
- [20] F. M. D. A. Wilson T., «Basics of Light Microscopy & Imaging. GIT VERLAG GmbH & Co. KG.,» [En línea]. Available:
http://www.medic.ula.ve/histologia/anexos/microscopweb/MONOWEB/anexos/Olympus_Sonderheft.pdf.
- [21] e. a. Wortman, CSSBB Primer, West Terre Haute: Quality Council of Indiana, 2008.
- [22] «<http://www.fischer-technology.com/en/united-states/knowledge/methods/coating-thickness-measurement/x-ray-fluorescence2/>,» Fischer. [En línea].
- [23] A.-R. y. D.C.Bell, Energy-Dispersive X-Ray Analysis in the Electron, (BIOS Scientific, 2003.
- [24] L. E. Murr, Electron and Ion Microscopy and Microanalysis : Principles and, MARCEL DEKKER, INC, 1991.
- [25] D. B. W. y. C. B. Carter, Transmission Electron Microscopy - libro IV:, Plenum Press, 1996.
- [26] O. o. t. CTO, «MKS Instruments Handbook - Semiconductor Devices and Process Technology,» MKS Instruments, 2017. [En línea]. Available: <https://www.mksinst.com/docs/ur/barainfo1.aspx>.
- [27] JEDEC IPC Committee, JEDEC- J-STD-033B Handling, Packing,, Arlington, Virginia,: JEDEC, Enero 2007.
- [28] JEDEC IPC Committee group, IPC/JEDEC J-STD-020D.1. Moisture/Reflow, Arlington, Virginia: JEDEC, March 2008.
- [29] JEDEC IPC Committee group, JESD22-A120A Test Method for the Measurement of, Arlington, Virginia: JEDEC Solid State Technology Association, Enero 2008.
- [30] JEDEC ICP Committee Group, JESD22-A108C . Temperature, Bias, and Operating Life, Arlington, Virginia: JEDEC Solid State Technology Association, June 2005.
- [31] DOF, «Premio Nacional del Trabajo 2015,» *Diario oficial de la federacion*, p.
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5417936&fecha=30/11/2015&print=true, 2015.

6 Abreviaturas

- i. ICP: Inductively Coupled Plasma → Plasma Acoplado Inductivamente
- ii. CCP: Capacitive Coupled Plasma → Plasma Acoplado Capacitivamente
- iii. HVAM: High Viscosity Adhesive Material → Material Adhesivo de Alta Viscosidad
- iv. SEM: Scanning Electron Microscope → Microscopio Electrónico de barrido
- v. EDX: Energy Dispersive X-Ray spectroscopy → Dispersión de Energías de Rayos X
- vi. PVD: Physical Vapor Deposition → Deposición de Vapor Física
- vii. CVD: Chemical Vapor Deposition → Deposición de Vapor Química
- viii. XRF: X-Ray Fluorescence → Fluorescencia de Rayos X
- ix. CPk: Process Capability → Capacidad del proceso k
- x. EMI: Electromagnetic Interference → Interferencia electromagnética
- xi. RFI: Radio Frequency Interference → Interferencia de radio frecuencia
- xii. MFC: Mass Flow Controller → Controlador de flujo de masa
- xiii. MET: Moisture Exposure Time → Tiempo de exposición a la humedad
- xiv. MCM: Multi Chip Module → Módulo de circuito integrado múltiple
- xv. AIAG: Automotive Industry Action Group → Grupo acción de la industria automotriz
- xvi. JEDEC: Joint Electron Device Engineering Council → Consejo conjunto de ingeniería de dispositivos electrónicos