

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**PAUTAS PARA EL RETRABAJO DE ENSAMBLES ELECTRONICOS
CON PROCESO LIBRE DE PLOMO**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:
JULIO ALFONSO ANCALLE DE LA CRUZ**

PROMOCIÓN

2002-II

LIMA-PERÚ

2013

**PAUTAS PARA EL RETRABAJO DE ENSAMBLES ELECTRONICOS CON PROCESO
LIBRE DE PLOMO**

A mi familia por
su apoyo permanente para poder
completar el presente informe

SUMARIO

El presente informe se basa en el desarrollo de un procedimiento para el retrabajo de montajes electrónicos que usan procesos libres de plomo.

Dentro de este informe se describirá los materiales, métodos, aceptabilidad, equipamiento, criterio de desecho y control de procesos para un nivel 3 de reparación.

Para la realización de este informe nos basaremos principalmente en los estándares IPC-A-610 Rev E Acceptability of Electronics Assemblies, IPC-7711B/7721B Rework of Electronics Assemblies. Se describira tambien conceptos relacionados con la soldadura libre de plomo, estación de trabajo, entre otros.

Se realizará el diseño de un módulo de retrabajo que cumple los estándares.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivos Generales.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Limitaciones del informe.....	4
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	5
2.1 Transición a la soldadura sin plomo.....	5
2.2 Directivas Europeas.....	5
2.2.1 Directiva WEEE.....	5
2.2.2 Directiva RoHS.....	6
2.3 IPC.....	6
2.3.1 Estándares IPC.....	7
2.3.2 Certificación IPC.....	7
2.4 Control de Estática y Sobrecarga.....	9
2.4.1 Prevención de EOS/ESD.....	10
2.4.2 Acciones correctivas contra EOS/ESD.....	12
2.5 Soldadura en retrabajo.....	21
2.5.1 Retrabajo.....	23
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	30
3.1 Alternativa de solución.....	30
3.2 Solución del problema.....	30
3.2.1 Requerimientos.....	30
3.3 Presentación de resultados.....	34
3.4 Indicadores de Producción.....	34
CAPÍTULO IV	
ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	38
4.1 Costos de Equipamiento y Capacitación.....	38

4.2	Cronograma de Implementación	41
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
	ANEXO A	
	GLOSARIO DE TÉRMINOS	44
	ANEXO B	
	MODELO DEL CUERPO HUMANO PARA ESD	48
	BIBLIOGRAFÍA	51

INTRODUCCIÓN

La elaboración del presente informe surge de la necesidad de implementar un módulo de retrabajo nivel 3 para un centro de servicio especializado en teléfonos móviles, y puede aplicarse a cualquier centro que utilice soldadura libre de plomo en sus procesos.

Usamos los estándares internacionales aplicados a esta industria, exigidos por Operadores de servicio y Fabricante.

Para poder cumplir con el propósito planteado, nuestro informe consta de cuatro capítulos, conclusiones, recomendaciones y anexos.

En el primer capítulo, se describe y evalúa el problema, se establecen las limitaciones del trabajo y se detalla el objetivo del mismo.

En el segundo capítulo el marco teórico conceptual, se refiere a los conceptos teóricos en los que se basa el presente informe, desarrollan temas como Soldadura Libre de Plomo, protección contra descargas electrostáticas, implementación de la mesa de trabajo, entre otros,

En el tercer capítulo, se presenta la propuesta de solución al problema planteado, así como la metodología a utilizar, que consiste en la implementación de una estación de trabajo estándar para retrabajo en nivel 3, se detallan especificaciones de materiales y químicos usados, equipos, mantenimiento y control, protección contra ESD, consideraciones para el retrabajo, inspección, criterio de rechazo.

En el cuarto capítulo, se detalla el costo y el tiempo que requirió la implementación.

Finalmente, se presentan las conclusiones finales y recomendaciones del informe.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En nuestro país ingresan cada año un número creciente de equipos electrónicos, solo en teléfonos se consumen 7 millones de teléfonos cada al año (Referencia Diario Gestión 23-Setiembre-2013). Esta situación es fuente de preocupación y oportunidades.

Una preocupación por la proliferación de residuos de equipos electrónicos, que contienen en algunos casos sustancias catalogadas como peligrosas según directivas establecidas, y que requieren manejo especial.

La oportunidad radica en que podemos contribuir a disminuir estos efectos en gran medida, a la vez que generamos beneficios) por la acción del reciclaje y en nuestro caso: en el desarrollo de sectores de la industria electrónica dedicada a la reparación de equipos electrónicos.

Este último sector ha crecido en los últimos años por la gran demanda de equipos electrónicos, y la necesidad de diversos fabricantes (de teléfonos móviles, línea blanca, línea marrón) y operadores de servicios (de telefonía móvil, tiendas de departamentos).

Por esta razón se necesitan centros de servicios de reparación locales, ya que los costos se incrementan cuando el servicio de reparación se realiza en el extranjero. Estas empresas deben cumplir tanto las exigencias de los operadores de servicios como de los fabricantes, razón por la cual se requiere que los procesos sigan procedimientos estándares aplicados a esta industria, con el fin de asegurar la calidad de la reparación.

Solo en teléfonos móviles, tenemos que ingresan el 3% de los equipos vendidos (Referencia de estadística de fallas manejada por los fabricantes, este % no debe ser sobrepasado por cualquier modelo de teléfono). Esto significa aproximadamente 210 000 equipos que se atienden cada año.

Si tenemos en cuenta que 1 hora técnico equivale a la reparación de 3 equipos (Referencia tomada de un centro de servicio de reparación especializado en teléfonos móviles), podremos apreciar que tenemos 70 000 horas de mano de obra cualificada cada año.

Muchas de estas reparaciones requieren un nivel de calificación superior de la mano de obra, por ejemplo el cambio de componentes electrónicos mediante soldadura.

Si imaginamos el total de equipos electrónicos que se envían a centros de reparación, nos daremos cuenta que representan una oportunidad para las empresas, además de una enorme fuente de empleo, por los procesos colaterales, como la logística, administración, etc.

Si no contamos con la conformidad de estos 2 grupos (Operador y Fabricante), podemos perder este nicho, ya que en otro caso, estas reparaciones se envían al extranjero.

Es necesario por consiguiente estandarizar nuestros procedimientos y equipamiento de acuerdo a las especificaciones de las organizaciones involucradas.

En la figura 1.1 se muestra un resumen de la generación de horas hombre para esta industria para el caso de teléfonos móviles.

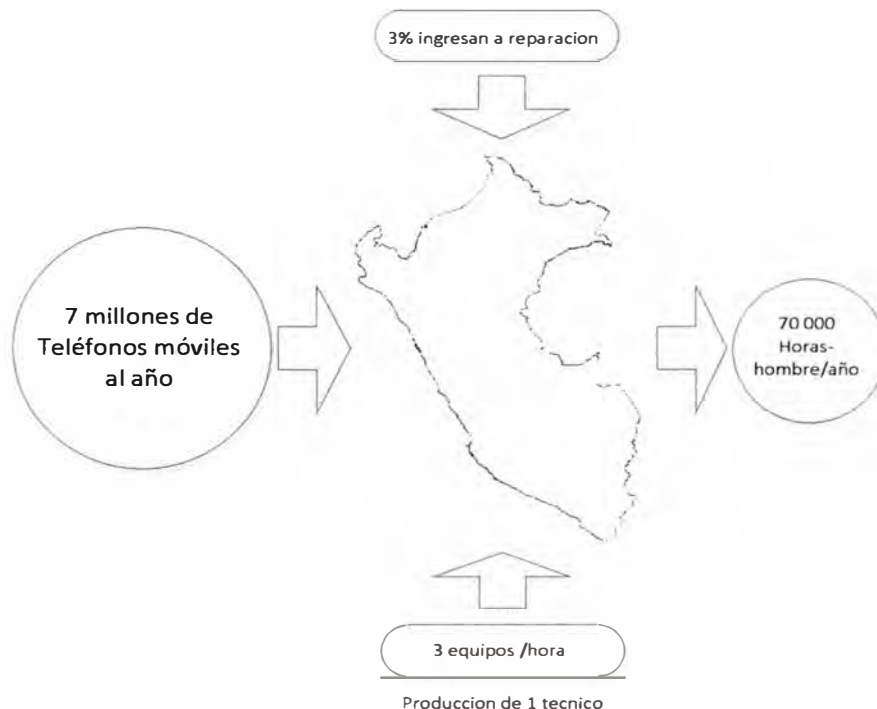


Figura 1.1 Horas hombres en reparación de teléfonos móviles (Elaboración propia)

1.2 Objetivos

Los objetivos del presente trabajo están divididos en objetivos generales y objetivos específicos, los cuales señalamos a continuación.

1.2.1 Objetivos Generales

- Aprovechar la oportunidad de negocio que ofrece el servicio de reparación de los equipos electrónicos que ingresan al país, diseñando una propuesta técnica que cumpla los estándares aprobados por el operador y fabricante.

- Incrementar el beneficio de un centro de servicio mediante el retrabajo de PCBAs en nivel 3.

- Contar con una propuesta económica y fácil de implementar.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1 Transición a la soldadura sin plomo

El plomo es un veneno que puede afectar seriamente nuestro sistema nervioso central.

El plomo se puede absorber respirando partículas en humo o por ingestión, la ingestión es la ruta más probable de entrada cuando ensamblamos productos electrónicos.

En 1970 el plomo fue reconocido como un peligro potencial para la salud y fue eliminado de la gasolina y pintura.

El cambio a la soldadura sin plomo mantendrá el plomo fuera de los basureros y de los incineradores lo cual es mucho mejor para nuestro medio ambiente y nuestra salud.

2.2 Directivas Europeas

Una transición conveniente hacia la electrónica libre de plomo ha sido necesaria para a mayoría de sectores de la industria electrónica, considerando las directivas europeas WEEE y RoHS. Ambas directivas entraron en vigor en Julio del 2006.

2.2.1 Directiva WEEE

La directiva de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (The Waste of Electrical and Electronic Equipment directive), requiere que los fabricantes reduzcan la eliminación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos a través de la reutilización, reciclado y otras formas de recuperación.

En la figura 2.1 se observa el símbolo de esta directiva.



Figura 2.1 El Símbolo de la Directiva 2012/19/EU.(RAEE/WEEE)

1.2.2 Objetivos Especificos

- Elaborar un procedimiento para el retrabajo de montajes de circuito impreso PCBA, este incluirá: Especificaciones acerca de los materiales y químicos usados, requerimiento de equipos, mantenimiento y control, protección contra ESD, consideraciones para el retrabajo, requerimientos de inspección, criterio de rechazo.

- Elaborar una propuesta técnico económica para la implementación de un módulo de retrabajo de nivel 3 de reparación para un centro de servicio especializado en teléfonos móviles, este incluirá materiales, equipamiento, protección ESD, entrenamiento del personal, etc.

1.3 Limitaciones del informe

La propuesta técnica económica define un centro de servicio que puede realizar retrabajo hasta nivel 3. (El nivel de reparación se especifica en el Anexo), niveles superiores como el 4, requieren equipamiento especializado adicional.

La razón de esta decisión tiene su origen en la relación costo-beneficio, debido a que el número de reparaciones de nivel 4 son menores en comparación a niveles inferiores.

2.2.2 Directiva RoHS

La legislación "Restriction of Hazardous Substances (RoHS)" de Restricción del uso de ciertas sustancias peligrosas en equipos eléctricos y electrónicos, restringe el uso del plomo así como cadmio, mercurio, cromo hexavalente, y dos retardantes de llama que contienen haluro, es decir los bifenilos polibromados (PBB) y éteres difenil polibromados (PBDE).

En la figura 2.2 se observa el símbolo de esta directiva.



Figura 2.2 El Símbolo de la Directiva 2002/95/EC.(RoHS)

En la figura 2.3 se muestra un resumen de estas directivas.

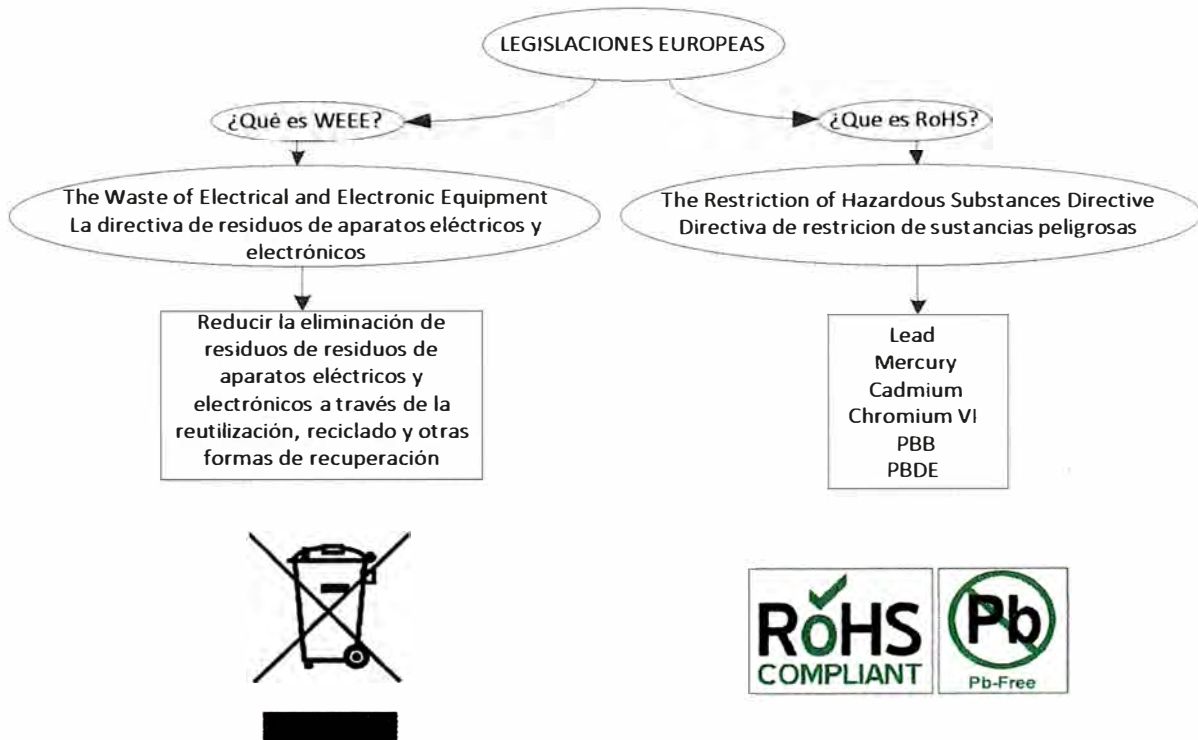


Figura 2.3 Resumen de directivas (Elaboración propia)

2.3 IPC.

Historicamente viene de: Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits.

Actualmente: Association Connecting Electronics Industries.

IPC es una asociación global dedicada a la excelencia competitiva y logro financiero de sus compañías miembro, las cuales representan todas las facetas en la industria de interconexión electrónica, incluyendo diseño, manufactura de circuito impreso y montaje electrónicos.

2.3.1 Estándares IPC.

IPC está acreditado por la ANSI (Industria de Estándares Nacional Americana, por sus siglas en inglés) como una organización de desarrollo de estándares.

Entre los que estudiaremos están.

IPC-A-610E Aceptabilidad de Ensamblados Electrónicos

IPC-7711B/7721B Retrabajo, Modificación y Reparación de montajes electrónicos.

2.3.2 Certificación IPC.

IPC tiene una serie de programas desarrollados y aprobados por la industria que garantizan el entendimiento de criterios en los documentos más utilizados de la industria. Esta capacitación lleva a una certificación trazable de la industria para instructores, equipo de calidad, gestión y operadores de los diferentes estándares desarrollados por IPC.

Existen varios niveles de certificación:

- Certified Master IPC Trainer (MIT)
- Certified IPC Trainer (CIT)
- Certified IPC Specialist (CIS)

Se especifica que los MIT entrenan a los CIT y estos a los CIS, pudiendo los últimos dar entrenamiento y certificación a gerentes, y supervisores, inspectores de calidad, administradores de programas de calidad, operadores y cualquier otra persona que necesite un conocimiento consistente del criterio.

Hay de 2 tipos de evaluación dependiendo del estándar a entrenar.

- Habilidades de Evaluación Técnica (por ejemplo el IPC-A-610E).
- Habilidades de destreza manual - workmanship (por ejemplo el IPC-7711B/7721B).

Algunas características de la Certificación que podemos mencionar son:

- La duración de la certificación es 2 años (se puede solicitar una extensión de 90 días).
- La credencial es personal y portátil.

La Figura 2.4 y 2.5 muestran los certificados aprobatorios de un entrenamiento de la Normas IPC-A-610E e IPC-7711B/7721B.

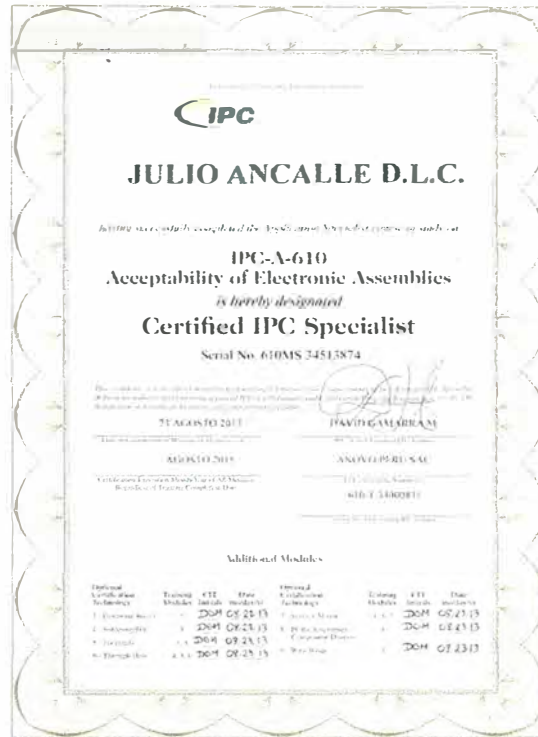


Figura 2.4 Certificado IPC-A-610E de IPC.



Figura 2.5 Certificado IPC-7711B/7721B de IPC.

La Figura 2.7 resume las actividades de IPC.

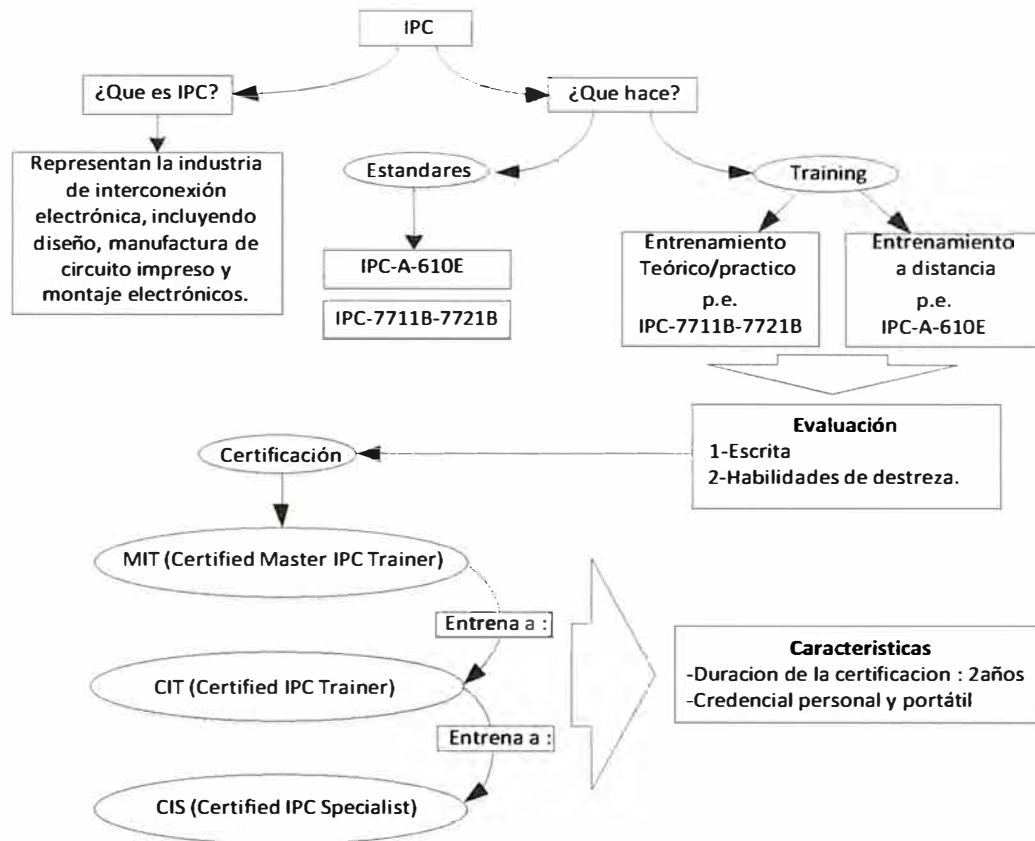


Figura 2.6 Actividades de IPC (Elaboración propia)

2.4 Control de Estática y Sobrecarga

a. Términos

a.1. Descarga electrostática (ESD)

ESD, que significa Electrostatic Discharge, es una descarga rápida de energía que fue creada por fuentes electrostáticas a diferente potencial. Cuando la energía entra en contacto; o incluso se encuentra cerca de un componente sensible, puede causarle daño.

a.2. Sobrecarga eléctrica (EOS)

EOS, que significa Electrical Over Stress, es el resultado interno causado por la aplicación de una energía eléctrica indeseable y que provoca daños a los componentes. Este daño puede provenir de diferentes fuentes, tales como equipos alimentados con energía eléctrica o eventos de ESD ocurridos durante el manejo o proceso.

a.3. Componentes Sensibles a la Descarga Electrostática (ESDS).

ESDS, que significa Electrostatic Discharge Sensitive son esos componentes que son afectados por estos altos niveles de impulsos de energía. La sensibilidad relativa de un componente al ESD depende de su construcción y su material. Al hacerse mas pequeños los componentes y operar mas rápido, la sensibilidad aumenta.

Los componentes ESDS pueden dejar de operar o cambiar su valor como resultado de un manejo o proceso inapropiado. Estas fallas pueden ser inmediatas o latentes. El resultado de una falla inmediata puede ser una serie de pruebas adicionales, el retrabajo o el rechazo. Sin embargo las consecuencias de una falla latente son las más serias, ya que aún y cuando el producto haya pasado la inspección y prueba funcional este puede fallar después de que haya sido entregado al cliente.

Es importante que los artículos ESDS solamente sean retirados de sus paquetes protectores en estaciones de trabajo seguras contra EOS/ESD y estas a su vez se encuentren dentro de áreas seguras contra electroestática.

2.4.1 Prevención de EOS/ESD

a.1. Origen del EOS/ESD – Sobrecarga Eléctrica (EOS).

Los componentes electrónicos pueden ser dañados por energía eléctrica indeseada proveniente de diversas fuentes. Esta energía eléctrica indeseable puede ser el resultado de potenciales de ESD o el resultado de “picos” eléctricos ocasionados por las herramientas con las que trabajamos, como cautines, extractores de soldadura, instrumentos de prueba y otros equipos eléctricos. Algunos componentes son más sensibles que otros. El grado de sensibilidad depende del diseño de cada componente. Generalmente, los dispositivos de menor tamaño y mayor velocidad son más susceptibles de ser dañados que sus predecesores más grandes y lentos. El propósito de un dispositivo también influye en la sensibilidad del componente. Esto es debido a que el diseño del componente lo hace reaccionar a fuentes eléctricas más pequeñas o a un rango de frecuencias más ancho. Tomando en cuenta lo anterior, podemos observar que los daños causados por la EOS son más serios de lo que eran hace algunos años y lo serán aún más en el futuro.

Cuando se considera la sensibilidad de un producto, es necesario considerar la sensibilidad del componente más sensible del ensamble. La aplicación de una energía eléctrica indeseable puede ser comparada al proceso mediante el cual una señal es aplicada al circuito durante su funcionamiento.

Antes de manejar o procesar componentes sensibles, las herramientas y los equipos deben ser probados cuidadosamente para asegurar que no generan “picos” que causen daños. Investigaciones recientes indican que niveles de “pico” menores a 0.5 V son aceptables. Sin embargo, un número cada vez mayor de componentes extremadamente sensibles requieren que los cautines, extractores de soldadura, instrumentos de prueba y otros equipos de contacto directo no generen “picos” de más de 0.3 voltios.

Tal y como lo piden las especificaciones para ESD, pruebas periódicas deben ser exigidas para evitar daños ya que el equipo sufre degradaciones en su desempeño con el

paso del tiempo. Los programas de mantenimiento también son necesarios en los equipos del proceso ya que es la única forma de asegurar un desempeño óptimo y evitar así los daños causados por EOS.

El daño por EOS es similar en naturaleza al daño provocado por la ESD, ya que el daño es producto de una energía eléctrica indeseable.

a.2. Origen de EOS/ESD – Descarga Electroestática (ESD).

La mejor prevención contra la ESD es una combinación de prevención de cargas estáticas y la eliminación de cargas estáticas si estas ocurren. Todas las técnicas de protección contra ESD abordan una o ambas de las opciones anteriores.

El daño por ESD es causado por una energía eléctrica generada en una fuente estática, ya sea que ésta haya sido aplicada o por la cercanía a dispositivos ESDS. Las fuentes estáticas se encuentran a todo nuestro alrededor. El grado de estática generada depende de las características de la fuente. Para generar la energía, el movimiento es requerido. Este puede ser por contacto, separación, o roce del material.

Los materiales más dañinos son los aislantes, ya que estos concentran la energía en el lugar en donde fue generada o aplicada en lugar de distribuirla a través de la superficie del material. Ver Tabla 2.1 Materiales comunes como bolsas plásticas o contenedores de hule espuma son grandes generadores de estática y nunca deben permitirse en áreas de proceso especialmente en aquellas a salvo de la estática o Áreas Protegidas contra la electroestática (EPA). El desenrollar una cinta adhesiva se puede generar hasta 20,000 voltios. Incluso, las boquillas de la línea de aire comprimido que mueven aire sobre superficies aislantes y generan cargas.

Tabla 2.1 Fuentes Típicas de Carga Electroestática (Fuente: Estandar IPC-A-610E)

Áreas de Trabajo	Superficies enceradas, pintadas o barnizadas Plásticos, viniles y vidrio sin tratamiento
Pisos	Concreto sellado Madera encerada o con acabado Pisos de cerámica y alfombrados
Ropa y Personal	Batas sin protección ESD Materiales sintéticos Zapatos sin protección ESD Cabello

Tabla 2.1 Fuentes Típicas de Carga Electroestática (Fuente: Estandar IPC-A-610E)

Sillas	Madera con acabado Vinil Fibra de vidrio Con ruedas no conductivas
Empaque y manejo de materiales	Bolsas plásticas, envoltorios, sobres Envoltura de burbuja, espuma Hule espuma Contenedores, bandejas, cajas, recipientes sin protección contra ESD
Herramientas para ensamble y materiales	Rociadores presurizados Aire comprimido Brochas sintéticas Pistolas de calentamiento Copiadoras, impresoras

Cargas estáticas destructivas son inducidas frecuentemente en conductores cercanos, como en la piel humana, y son descargadas en forma de chispas entre conductores. Esto puede ocurrir cuando un ensamble de circuito impreso es tocado por una persona que posee una carga electroestática potencial. El ensamble electrónico puede ser dañado cuando la descarga pasa a través de la pista conductora al componente sensible a la electroestática. Las cargas estáticas pueden ser muy leves para ser sentidas por humanos (menos de 3,500 voltios) y aún así dañar los componentes sensibles a ESD.

Las fuentes típicas de generación de voltajes estáticos se incluyen en la Tabla 2.2

Tabla 2.2 Generación de Voltaje Estático Típico (Fuente: Estandar IPC-A-610E)

Fuente	10-20% humedad	65-90% humedad
Caminar en Alfombra	35,000 voltios	1,500 voltios
Caminar en piso de vinil	12,000 voltios	250 voltios
Trabajador en banco de trabajo	6,000 voltios	100 voltios
Sobres de Vinil (Instrucciones de Trabajo)	7,000 voltios	600 voltios
El recoger una bolsa de plástico de la Mesa de Trabajo	20,000 voltios	1,200 voltios
Silla de trabajo acojinada	18,000 voltios	1,500 voltios

2.4.2 Acciones correctivas contra EOS/ESD

Podemos prevenir y corregir este problema mediante 4 acciones:

- a. Uso de las etiquetas de alerta (señalización).
- b. Uso de materiales de protección.
- c. Uso de equipo de protección personal.
- d. Uso de equipamiento para el área de trabajo.
- e. Estación de Trabajo Segura al EOS/ESD.

a. Prevención de EOS/ESD – Etiquetas de Alerta

Existen etiquetas de alerta que se pueden colocar en edificios, componentes, ensambles, equipo y paquetería para prevenir a la gente de la posibilidad de causar daño por descargas eléctricas a los componentes que se están manejando. Las etiquetas más frecuentes se muestran en la Figura 2.7.

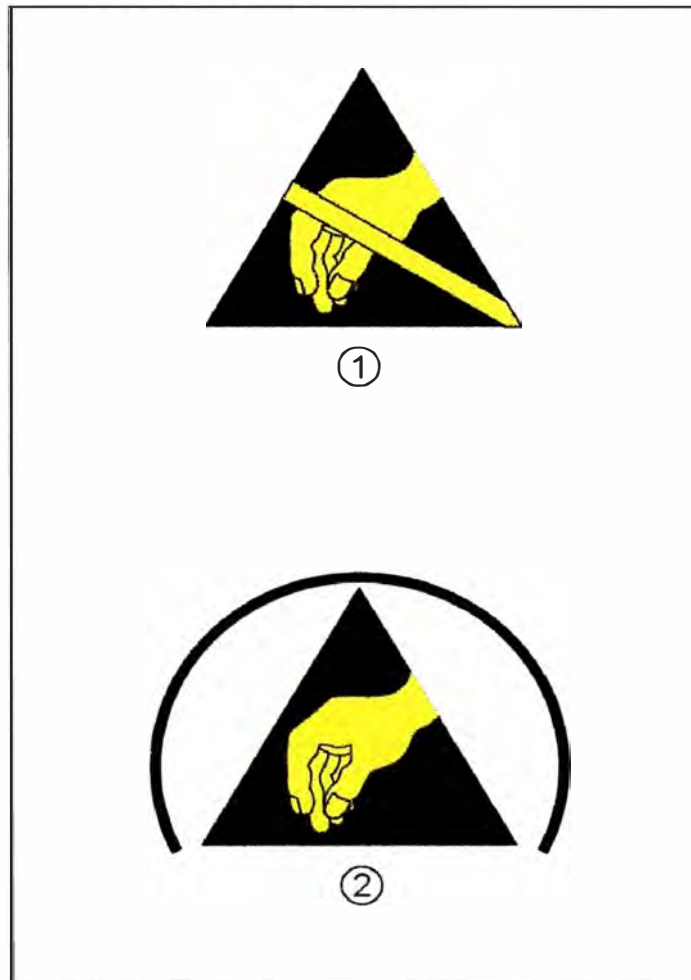


Figura 2.7 Etiquetas de Alerta (Fuente: IPC-A-610E)

1. Símbolo de Susceptibilidad ESD
2. Símbolo de Protección ESD

Símbolo (1) símbolo de sensibilidad a ESD. Un triángulo con una mano que parece tratar de tomar algo y con una línea diagonal cruzándolo. Este símbolo se usa para indicar que un componente o ensamble electrónico es susceptible a daño por un evento

de ESD.

Símbolo (2) símbolo de protección contra ESD. Este símbolo es diferente al símbolo de sensibilidad a ESD porque tiene un arco alrededor del triángulo y no tiene la línea diagonal. Se usa para identificar elementos que son diseñados específicamente para proporcionar protección contra ESD a ensamblajes y componentes sensibles a ESD.

Los símbolos (1) y (2) identifican a componentes o ensamblajes que contienen componentes sensibles a ESD, y que deben de ser manejados de tal forma. Estos símbolos son aceptados por la asociación de ESD y están descritos en el estándar EOS/ESD S8.1 así como en la Asociación de Industrias Electrónicas (EIA) en los estándares EIA-471 e IEC/TS 61340-5-1 y otros.

Cuando exista duda sobre la susceptibilidad de un ensamblaje, se debe de manejar como componente sensible hasta que se pruebe lo contrario.

b. Prevención EOS/ESD – Material de Protección

Los productos y ensamblajes sensibles a la ESD deben ser protegidos de fuentes estáticas cuando no se trabaje con ellos en un ambiente seguro o en estaciones de trabajo seguras. Esta protección puede ser proporcionada por cajas, bolsas o envolturas que sean conductoras y bloqueadoras de la estática.

Los elementos sensibles a la ESD deben ser retirados de sus empaques protectores sólo en estaciones protegidas contra la estática.

Es importante entender la diferencia entre los tres tipos de materiales protectores contra la estática: (1) bloqueadores de estática (o empaque de barrera), (2) antiestáticos, y (3) materiales disipadores de estática.

b.1 Bloqueadores de estática. Estos materiales evitan que las descargas electroestáticas pasen a través del empaque al ensamblaje, causando daño.

b.2 Materiales para empaques antiestáticos (carga mínima). Estos materiales se utilizan para proveer acolchonamiento barato y sirven de protección intermediaria para elementos sensibles a ESD. Los materiales antiestáticos no generan cargas cuando un movimiento es aplicado. Sin embargo, si ocurre una descarga electroestática, ésta podría atravesar el empaque y causar daño de EOS/ESD en componentes sensibles a ESDS.

b.3 Materiales disipadores de estática. Estos materiales poseen suficiente conductividad como para permitir que las cargas aplicadas sean disipadas sobre la superficie, que atenúa las zonas conflictivas de energía.

c. Prevención de EOS/ESD- Uso de equipo de protección personal

c.1 Talonera Antiestatica

En inglés (anti-static foot strap), es una correa para el talón del pie, que permite

disipar a través del piso antiestático, la carga estática corporal que se genera cuando nos movilizamos en un área protegida contra ESD.



Figura 2.8 Talonera antiestática (Fuente: Poirot S.A. www.poirot.cl)

c.2 Pulsera antiestática

En ingles (anti-static wrist strap) Es una correa que tiene una banda tejida con nylon elástico para proveer completa conductividad y comodidad mientras conduce la estática rápida y continuamente.

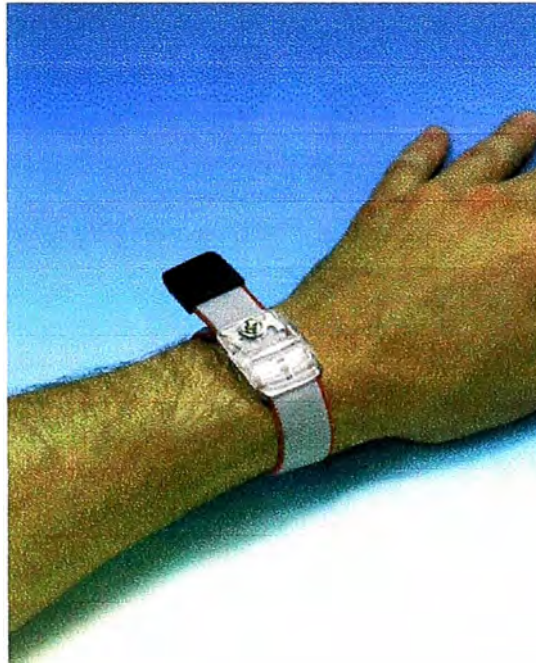


Figura 2.9 Pulsera antiestática (Fuente: Poirot S.A. www.poirot.cl).

c.3 Cable de conexión a tierra

En ingles (anti-static grounding), sirven para unir la pulsera antiestática a un punto de protección (Punto común de aterramiento para la descarga).



Figura 2.10 Cable de puesta a tierra (Fuente: Poirot S.A. www.poirot.cl)



Figura 2.11 Configuración de conexión a tierra para la pulsera (Fuente: Poirot S.A.)

c.4 Mandil antiestático

En ingles (Antistatic workwear clothes), facilitan que la estatica que se acumula en la indumentaria, al contacto con el cuerpo humano se drene a traves de la pulsera y talonera.



Figura 2.12 Mandil antestático (Fuente: Poirot S.A. www.poirot.cl)

c.5. Guantes antiestáticos

En ingles (antistatic gloves), sirven para proteger los elementos que tocamos de las descargas electrostáticas ESD. Junto con la pulsera se encargarán de descargar cualquier acumulación de carga a un punto de tierra.

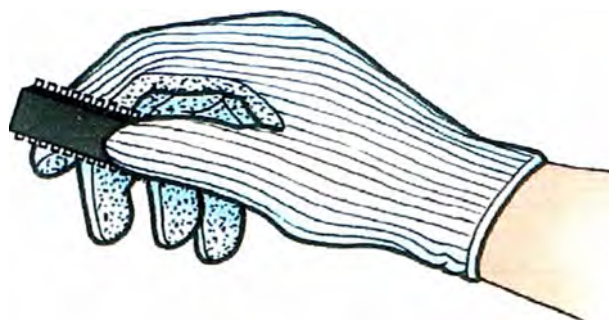


Figura 2.13 Guantes antiestáticos (Fuente: Poirot S.A. www.poirot.cl)

d. Prevención de EOS/ESD- Uso de equipamiento para el area de trabajo.

d.1 Manta o tapete antiestático para mesa y para piso.

Se usa para acondicionar la superficie de la mesa estación de retrabajo y que ésta disipe la estática, con el fin de poder colocar sobre ella partes sensibles a ESD, la función para el tapete de piso es similar.

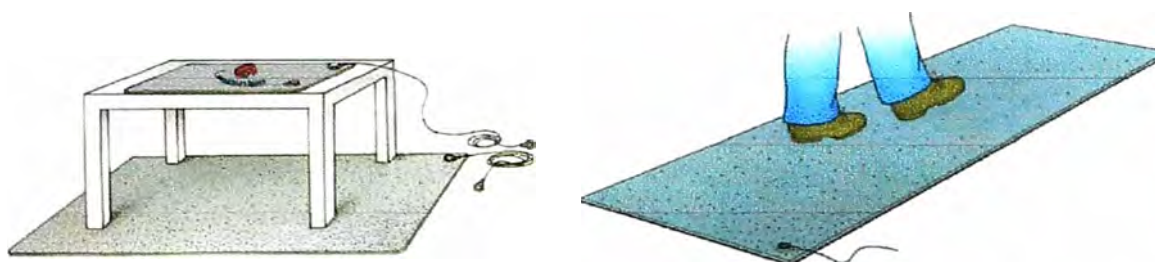


Figura 2.14 Manta antiestática para mesa y piso (Fuente: Poirot S.A. www.poirot.cl)

d.2. Cable de punto a tierra

Se usa para conectar la manta o la alfombra antiestatica a puntos a tierra.



Figura 2.15 Cable de punto a tierra (Fuente: Poirot S.A. www.poirot.cl)

d.3. Punto de Tierra

Puntos comunes a los que se conectan las muñequeras, para proteger al operador.



Figura 2.15 Punto de tierra (Fuente: Poirot S.A. www.poirot.cl)

d.4 Cinta de señalización

Sirve para señalar las áreas protegidas de ESD.



Figura 2.16 Cinta de señalización (Fuente: Poirot S.A. www.poirot.cl)

d.5 Mesa de trabajo

Mesa diseñada con materiales que no generan estática (estructura, pinturas, etc)



Figura 2.17 Mesa de trabajo ESD (Fuente: Poirot S.A. www.poirot.cl)

d.6 Carro de transporte protegido contra ESD

Es un carro que sirve para transportar elementos protegidos contra ESD, todo el carro desde las ruedas a los niveles estan hechos de materiales que no generan carga en el movimiento o roce.



Figura 2.18 Carro de transporte (Fuente: Poirot S.A. www.poirot.cl)

e. Prevención EOS/ESD – Estación de Trabajo Segura al EOS/ESD/EPA.

Una estación de trabajo segura contra EOS o ESD previene el daño a componentes

sensibles a picos y descargas estáticas durante las diferentes operaciones de trabajo.

Una estación de trabajo segura debe incluir prevención de daños por EOS y se deben de eliminar picos generados en reparaciones, equipo de manufactura y prueba. Cautines, extractores de soldadura e instrumentos de prueba pueden generar niveles suficientes de energía como para destruir componentes extremadamente sensibles y dañar seriamente a otros.

Para la protección contra ESD, se debe instalar una conexión a tierra para neutralizar las cargas estáticas que de otra forma se descargarían en un componente o tarjeta de circuitos impresos. Estaciones de trabajo seguras contra ESD en Áreas Protegidas contra la Electroestática (EPA) cuentan con superficies disipadoras de estática o superficies antiestáticas conectadas a una tierra común. Se deben tomar prevenciones para que la piel del operador haga tierra preferentemente con una pulsera antiestática para eliminar las cargas generadas por la piel o ropa.

También, el sistema de aterrizaje debe proteger al trabajador contra circuitos activos que resulten por descuidos o fallas del equipo. Esto generalmente se logra mediante una resistencia en la misma línea que la vía a tierra, la cual también retarda el tiempo de descarga y previene así chispas o aumentos de energía de fuentes de ESD. Así mismo, se debe llevar a cabo un estudio de las fuentes de voltaje disponibles en la estación de trabajo para proteger al operador de riesgos eléctricos. Para tiempos de descarga y resistencia máximas permitidas para operaciones seguras contra estática, ver Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Máximas resistencias y tiempos de descarga permitidas para operaciones de estática sin riesgo

Lectura de Operaciones entre el Operador y	Tolerancia Máxima de Resistencia	Máximo Tiempo de Descarga Aceptable
Tapete de piso a tierra	1000 megaohms	Menos de 1 seg.
Tapete de mesa a tierra	1000 megaohms	Menos de 1 seg.
Pulsera a Tierra.	100 megaohms	Menos de .1 seg.

Nota: La selección de valores de resistencia debe estar basada en los voltajes disponibles en la estación para asegurar la integridad del operador así como proveer un tiempo adecuado para la descarga de potenciales ESD.

Ejemplos de estaciones de trabajo aceptables se muestran en las Figuras 2.19 y 2.20. Cuando sea necesario, un abanico de aire ionizado puede ser usado para aplicaciones más sensibles. Es necesario además:

- Mantener las estaciones de trabajo libres de materiales generadores de estática tales

como hule espuma, extractores de soldadura de plástico, sobres de vinil o papel para ordenes de trabajo, protectores de hojas, carpetas de plástico o cuadernos, y objetos personales de los operadores.

- Revisar periódicamente las estaciones de trabajo/EPAs para asegurar su buen funcionamiento. Daños a ensamblajes sensibles a EOS/ESD o al personal, pueden ser causados por métodos inadecuados de hacer tierra o por la oxidación de los conectores a tierra. Herramientas y equipos deben ser revisados y recibir mantenimiento periódicamente para asegurar su buen funcionamiento.

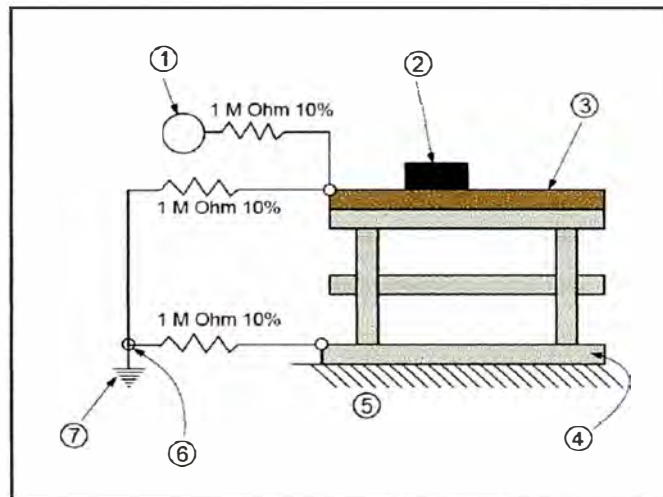


Figura 2.19. Pulsera Conectada en Serie (Fuente: IPC-A-610E)

1. Pulsera Personal
2. Charolas de Protección EOS, puentes, etc.
3. Material de Protección EOS para superficies de la mesa
4. Material de Protección EOS para pisos /tapetes
5. Piso del Edificio
6. Puntos de Tierra Común
7. Conexión a Tierra

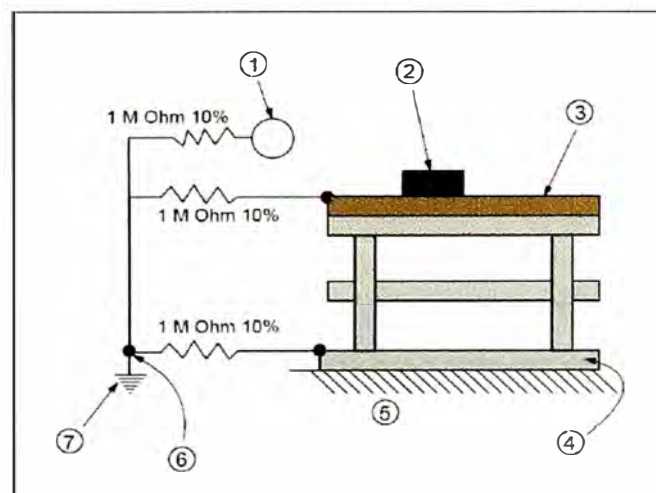


Figura 2.20. Pulseras Conectadas en Paralelo (Fuente: IPC-A-610E)

1. Pulseras personales
2. Charolas de Protección EOS, puentes, etc.
3. Material de Protección EOS para superficies de la mesa
4. Tapete de piso de protección EOS
5. Piso del Edificio
6. Puntos de Tierra Común
7. Conexión Tierra

2.5 Soldadura en retrabajo.

a. Soldadura Estaño Plomo

Es una aleación consistente en estaño-plomo en la proporción Sn63Pb37 que significa 63% de Estaño y 37% de Plomo, tiene una temperatura de fusión de 183°C. Las conexiones típicas de estaño-plomo tienen un lustre desde brillante a mate, generalmente apariencia suave y exhiben mojado como se ejemplifica por un menisco cóncavo entre los objetos. En la figura 2.21 se muestra la forma de la unión con el menisco cóncavo.



Figura 2.21 Menisco cóncavo (Fuente: Estandar IPC-A-610E)

b. Soldadura libre de Plomo

Es una aleación que no contiene Plomo, debido al cumplimiento de la directiva RoHS, la soldadura libre de plomo más utilizada en electrónica reemplaza el plomo por cobre y plata resultando Sn96.5Ag3Cu0.5, que significa 96.5% de Estaño, 3% de Plata y 0.5 % de Cobre, su punto de fusión es de 217°C. Las conexiones aceptables pueden tener una superficie aspera (granulada o mate), ángulo de mojado de contacto mayor.

c. Diferencia entre la soldadura Estaño-Plomo y la libre de Plomo

Teniendo en cuenta que la electrónica basada en plomo ha estado en uso por más 40 años, la adopción de la tecnología libre de plomo (lead-free) representó un cambio dramático. La industria adoptó diferentes materiales de soldadura electrónica, metalurgia de terminación de componentes y terminaciones de circuitos impresos.

El desafío estuvo acompañado por la necesidad de recalificar los montajes tarjeta-componente y los procesos de retrabajo, así como implementación de pruebas, inspección, y documentación de procesos. En adición, la tecnología lead-free está asociada con un incremento en el costo de los materiales, diseño, y manufactura.

El uso de materiales y procesos lead-free también provocó nuevas preocupaciones de confiabilidad, como resultado de diferentes aleaciones metalúrgicas y temperaturas más altas en los procesos de montaje con respecto a la soldadura Estaño-Plomo.

Algunas diferencias que podemos mencionar:

- La temperatura de fusión de la soldadura estaño-plomo Sn63Pb37 es 183°C, mientras que la soldadura libre de plomo más utilizada Sn96.5Ag3Cu0.5, sube a 217°C.
- El mojado (adherencia de la aleación) en las superficies metálicas es más pobre en la soldadura libre de plomo, dicho en forma tienen ángulos de mojado mayores, como se muestra en la Figura 2.22.

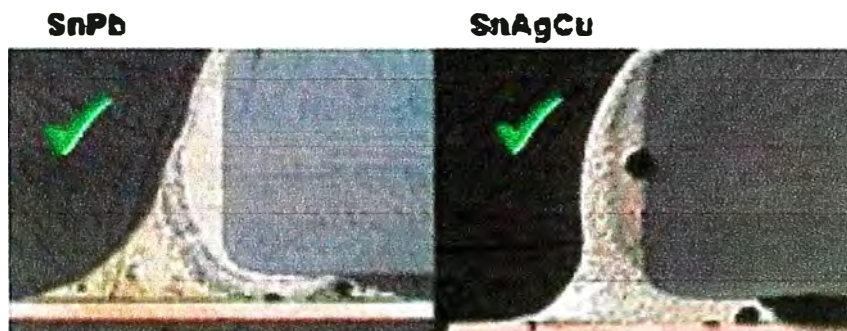


Figura 2.22 Mojado en aleaciones (Fuente: Revista Electroindustria Junio-2005)

- La ventana de sobrecalentamiento (diferencia de temperatura entre el punto de fusión de la aleación y el límite máximo permisible del montaje) de la soldadura en estado líquido necesaria para obtener el mejor material intermetálico de la unión (véase la figura 2.23), es decir, la mejor resistencia mecánica al desgarre, es más estrecha en la soldadura libre de plomo, pues el límite superior para no dañar los componentes ni las tarjetas es prácticamente el mismo. (Aproximadamente 20°C para Lead-Free y 54°C para SnPb).
- El aspecto de la soldadura Estaño Plomo tiene un lustre brillante a mate, y la libre de plomo aspera y granulada.

Por lo tanto, las herramientas, máquinas soldadoras y los sistemas de reparación de soldaduras deben ser capaces de soldar a estas mayores temperaturas, lo cual exige una mayor potencia térmica y una mayor precisión en su control para así lograr dichas temperaturas. Esto, sin sobrecalentar ni los componentes ni la tarjeta a niveles que signifiquen riesgo de daños de los mismos ni afectar la calidad de la unión soldada.

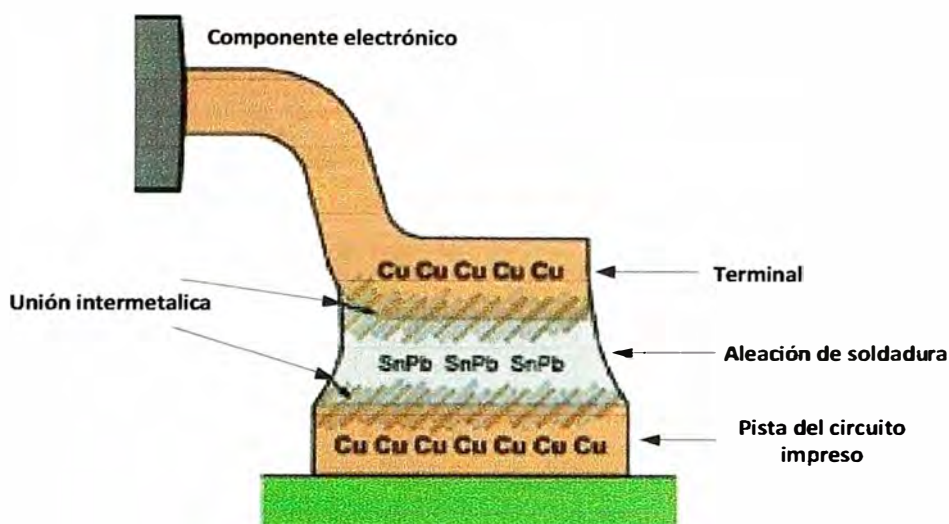


Figura 2.23 Unión intermetálica (Fuente: Artículo de Luis Lund –Poirot S.A.)

Complementando lo anteriormente descrito, se hace más necesaria una mejor capacidad de inspección de la unión soldada, ya que como se ha mencionado, los estrechos márgenes de trabajo de la soldadura libre de plomo comprometen la calidad de la unión.

Podemos agregar que estas condiciones limitantes en la soldadura lead-free, llevaran a calificar de manera distinta una unión (una unión de aspecto aceptable en Lead-free, no necesariamente hubiera sido aceptable en uniones estaño-plomo).

La siguiente tabla (Tabla 2.4) resume las características mencionadas arriba.

Tabla 2.4 Resumen de diferencias entre aleaciones de soldadura (Elaboración propia)

Característica	Estaño Plomo	Lead Free
Aleación	Sn63Pb37	Sn96.5Ag3Cu0.5
Temperatura de Fusión	183°C	217°C
Mojado	Bueno	Pobre
Ventana de sobrecalentamiento	54°C	20°C
Aspecto	Lustroso	Aspero, granulado

2.5.1 Retrabajo

Únicamente personal de reparación certificado debiera ejecutar la reparación en soldadura sobre cualquier PCBA. Los requerimientos de certificación están basados sobre el nivel de servicio.

En la figura 2.24 se observa una PCBA con los niveles de servicio para varios componentes especificados en la tabla superior para un modelo de teléfono móvil específico de un fabricante.

	Área no retrabajable
	L4 Nivel de Servicio – Reparación Automática requerida
	L3.5 Nivel de Servicio – Reemplazo Manual
	L3 Nivel de Servicio – Reemplazo Manual

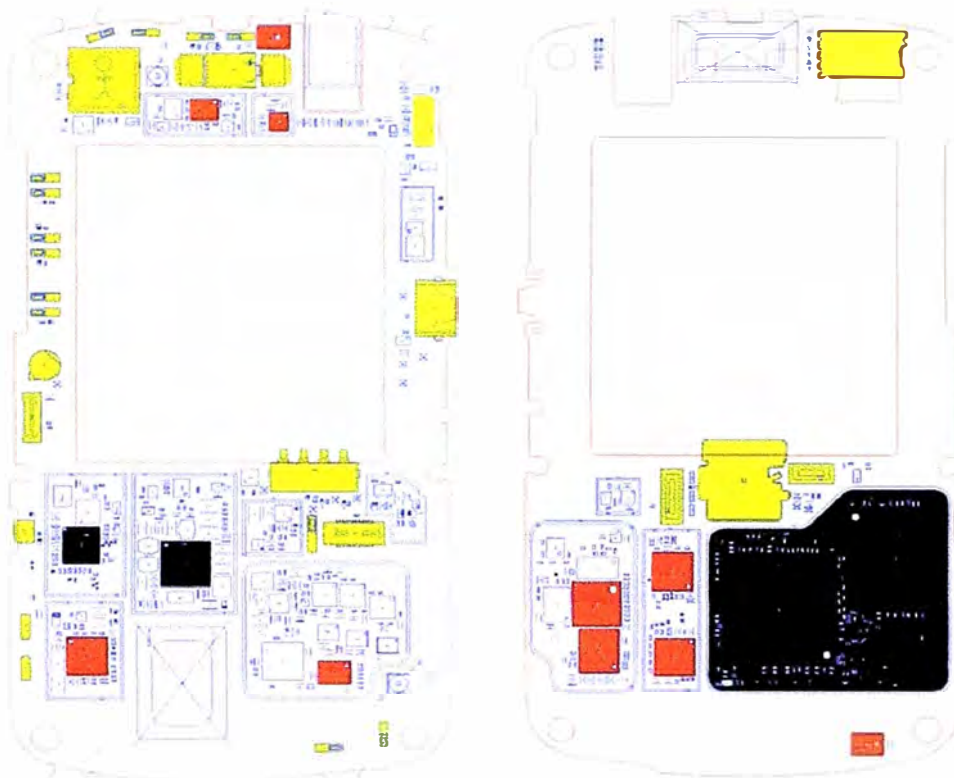


Figura 2.24 PCBA con niveles de servicio indicados (Fuente: Fabricante)

Todas las actividades de soldadura deben cumplir con el estándar IPC-7711B/7721B.

Todas las uniones de soldadura, PCB e integridad de componentes deben cumplir el estándar IPC-A-610E (Acceptability of Electronic Assemblies).

Todos los productos son clasificados como "Clase 2", el cual está definido como Productos Electrónicos de Servicio dedicado en el estándar IPC-A-610E. Sección 1.4.1 Clasificación.

Descargar el supercap antes de retrabajar (Supercap, es una pequeña pila que está presente en todas la tarjetas, su función es alimentar el reloj del sistema aun cuando no esté presente la batería), de no descargarse se corre el peligro de explosión del componente cuando se caliente la tarjeta.

a. Recomendaciones de Soldadura

- Use la boquilla apropiada de la estación de aire caliente cuando este retrabajando componentes pequeños.
- Cuando este reparando alguna unión de soldadura no aplique la punta del Cautín al componente y pista por más 5 segundos consecutivos. Espere 5 segundos antes de volver a aplicar el calor. El calor y la presión pueden causar pistas levantadas. Nunca use

el Cautín para retirar o mover un componente.

- Una vez que la soldadura ha fluído alrededor del componente y la pista, retire el alambre de soldadura y punta del cautín. Añada solo la suficiente soldadura para cubrir el componente y la pista.
- Cuando este ejecutando algún retrabajo sobre blindajes, use un cautín donde sea posible.
- Cuando este retirando/reemplazando blindajes con pistola de aire caliente, siempre asegúrese que la pistola de aire caliente este en constante movimiento. El movimiento de la pistola deberá seguir la circunferencia del blindaje uniformemente asegurándose un flujo correcto de la soldadura.
- Examinar la integridad de los componentes adyacentes, asegúrese que no haya efectos de detrimento en los componentes alrededor del área de retrabajo.
- Los residuos de soldadura vieja que permanecen en las pistas pueden ser removidas usando la malla de desoldado y el cautín, debe tener cuidado de evitar presión o calor excesivo, esto causara pistas levantadas y destruirá la integridad del PCBA.
- Los escudos térmicos (heat shield) serán usados para proteger componentes que puedan ser dañados mientras otros componentes están siendo retrabajados. Son también llamados blindajes o carcasas de protección contra el calor (ellos protegerán los componentes cercanos, especialmente plásticos contra el calor).

b. Extracción de Humos y Gases.

El ambiente de trabajo, a menudo expone a los técnicos a humos y gases potencialmente peligrosos. El desecho y liberación de ciertos materiales, puede tener un importante impacto ambiental. El uso de sistema de extracción instalados, dispositivos de control ambiental y otros tipos de equipo de protección personal, pueden ser necesarios y obligatorios para cumplir con los requerimientos de la ficha de datos de seguridad MSDS (Material safety data sheet) y otras leyes locales.

c. Precalentamiento

Algunas veces se recomienda el precalentamiento de circuitos impresos, para evitar choque térmico a los materiales y componentes sensibles a la temperatura. El precalentamiento también eleva la masa térmica del ensamblaje, para permitir que el proceso de retrabajo se realice en un tiempo aceptable. El precalentamiento puede ser ejecutado, usando ya sea un horno, una lámpara de calor, un plato caliente (hot plate), o un sistema de calentamiento infrarrojo o de convección.

d. Perfil Térmico de Soldadura

Un perfil térmico es un conjunto de datos de temperatura – tiempo, asociados al calentamiento y enfriamiento de una tarjeta dentro del proceso de soldadura.

Todas las configuraciones de perfiles de soldadura deben reunir los requerimientos estándares sin importar el tipo de máquina de sistema de soldadura o herramientas estén siendo usadas. Estas especificaciones de perfil de soldadura están basadas en especificaciones de los proveedores de pasta de soldadura y componentes.

Hay 2 tipos de perfil de soldadura que detallamos a continuación.

d.1 Rampa-remojo-Pico (Ramp-Soak-Spike - RSS)

Este perfil tiene una etapa de remojo (Soak) que estabiliza y empareja la temperatura de todo el PCB. En la figura 2.25 se muestra las características principales del perfil de soldadura RSS.

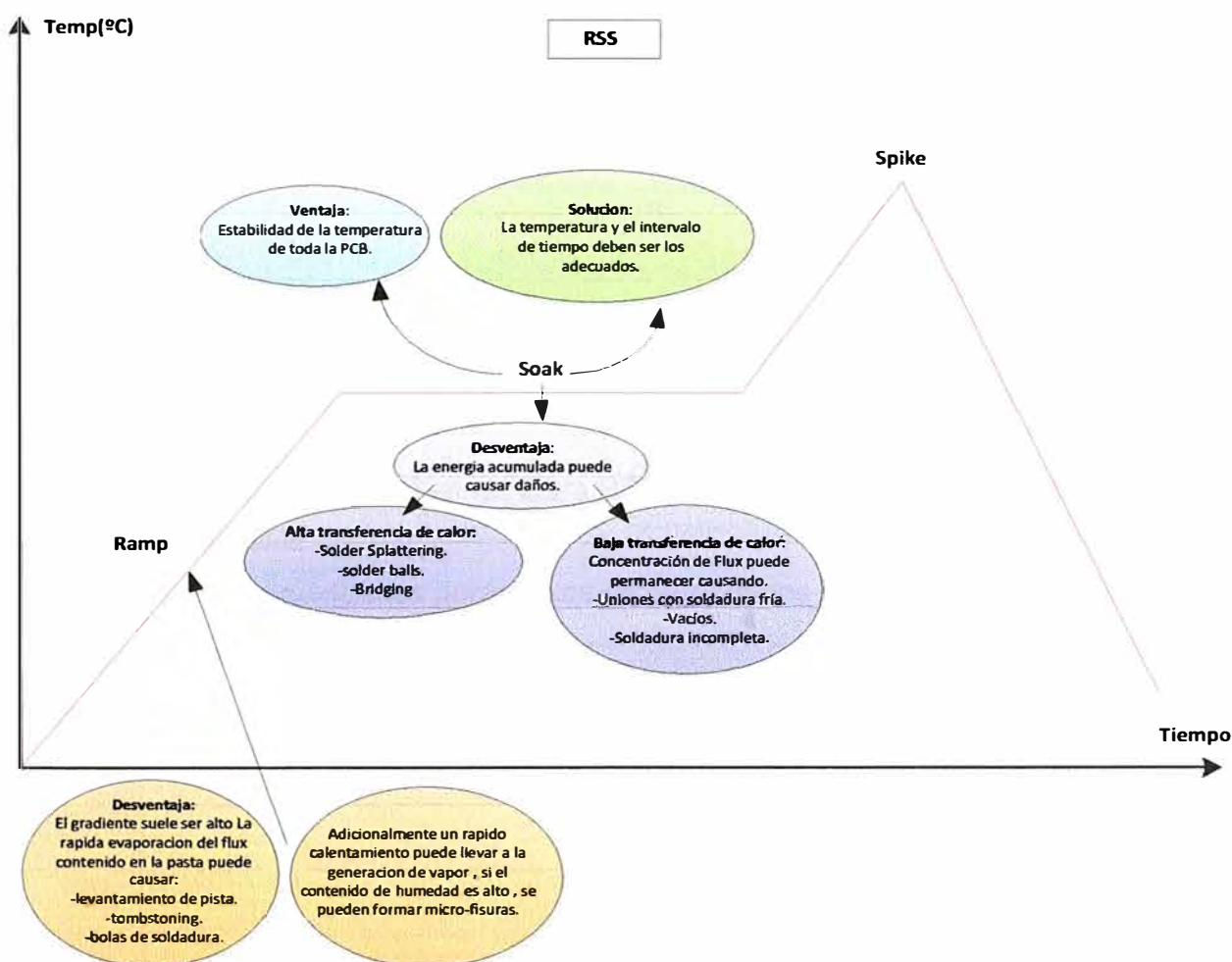


Figura 2.25 Perfil de Temperatura RSS. (Fuente: Elaboración propia)

d.2 Rampa a Pico (Ramp-to-Spike - RTS)

Es una línea con un gradiente constante de temperatura de 1-2 °C que finaliza en la temperatura pico. El perfil térmico RTS Rampa a Pico (Ramp to Spike) es el recomendado por el fabricante para el retrabajo. Definimos algunos variables:

Tiempo por encima del líquido (Time Above Liquidus – TAL): Es el tiempo por encima de la temperatura líquido (217 °C), en la que los cristales coexisten con la masa fundida en equilibrio termodinámico, por debajo de esta temperatura se empiezan a

formar cristales.

Temperatura Pico: Es la especificación pico del fabricante (de pasta o componentes) que viene con el valor “No exceder” (Do not Exceed), esto garantiza un trabajo parejo de soldadura, manteniendo mínimo el número de defectos.

En la figura 2.26, se muestra el perfil de temperatura RTS

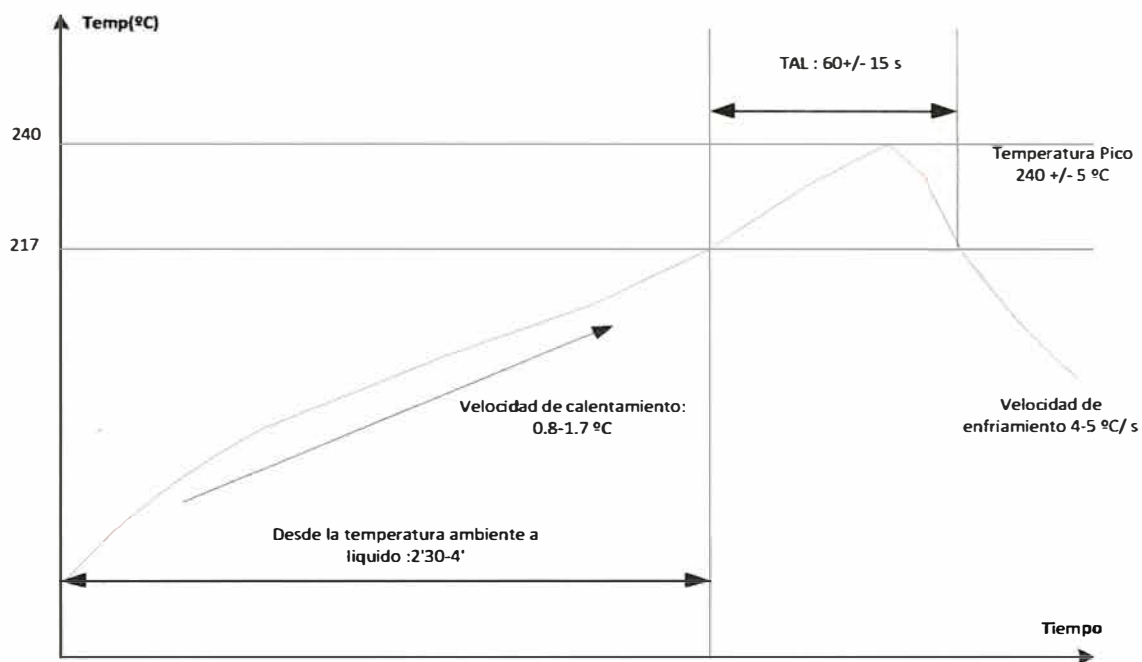


Figura 2.26 Perfil de Temperatura RTS (Fuente: Especificación de fabricante)

d.3 Parametros IEEE

La Figura 2.27 muestra los parámetros recomendados por el IEEE para lead-free.

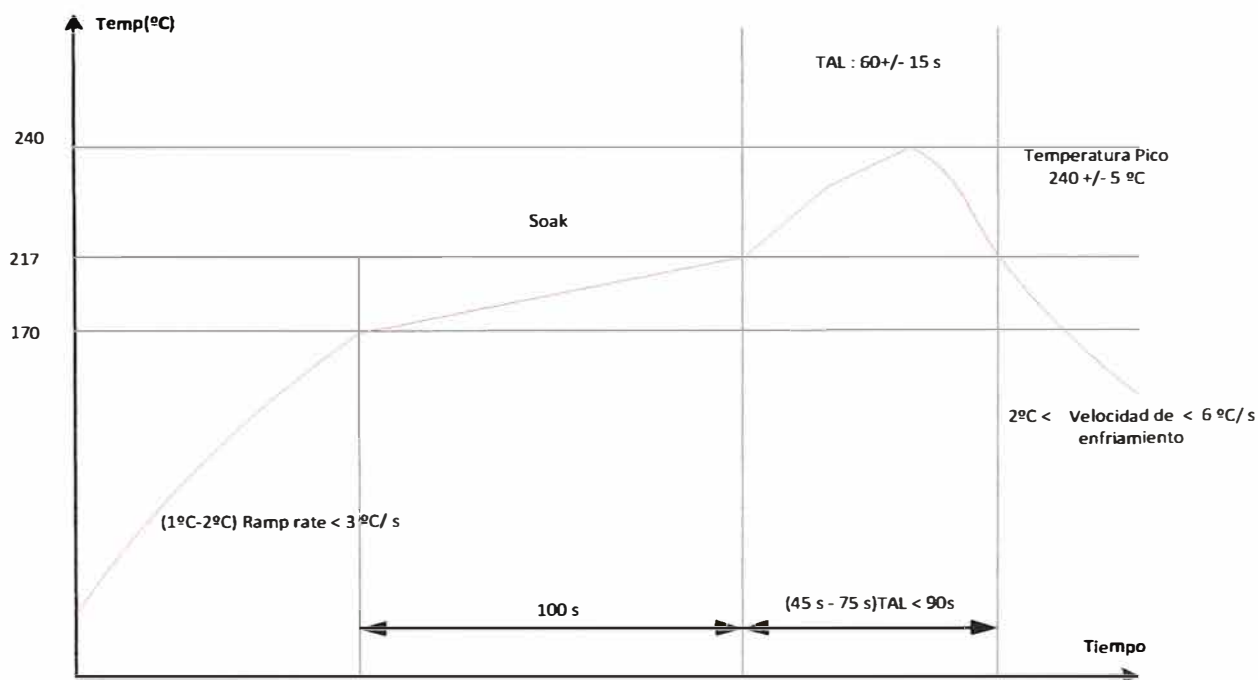


Figura 2.27 Perfil de Temperatura IEEE (Fuente: Transactions CPMT)

d.4 Requerimientos de limpieza de la PCBA.

- La PCBA debe ser limpiada después del retrabajo. Debemos usar los químicos especificados por el fabricante.
- Es permitido usar el Alcohol Isopropilico para la limpieza de la PCBA.
- Los criterios de limpieza deben estar de acuerdo con el estándar IPC-A-610 Rev. E Sección 10.6 Limpieza.

d.5. Requerimientos de Inspección.

- La inspección visual debe ser realizada en un 100% para todos los niveles de reparación.
- Se deben usar el microscopio y la magnificación adecuada para la inspección visual.
- La iluminación necesita ser adecuada para el uso de las ayudas de aumento.
- Los criterios de inspección deben estar de acuerdo con el estándar IPC-A-610 Rev. E, el estándar extiende ampliamente la inspección de la PCBA para diferentes condiciones.
- Las condiciones de arbitraje son utilizadas para verificar productos rechazados bajo el aumento de inspección. Para ensambles con pistas y terminaciones mixtas, el aumento mayor es el que se usa para todo el ensamble.

En la tabla 2.5 se muestra los requisitos de aumento necesarios para la inspección de acuerdo al ancho de la pista.

Tabla 2.5 Aumentos de inspección (IPC-A-610 E-Sección 1.8 Ayudas de aumento)

Ancho de Pista o Diámetro de Pista	Potencia de ampliación	
	Rango de Inspección	Arbitraje máximo
>1.0 mm [0.0394 in]	1.5X a 3X	4X
>0.5 to ≤1.0 mm [0.0197 to 0.0394 in]	3X a 7.5X	10X
≥0.25 to ≤0.5 mm [0.00984 to 0.0197 in]	7.5X a 10X	20X
<0.25 mm [0.00984 in]	20X	40X

d.6. Iluminación

Los ensambles necesitan ser iluminados con suficiente luz para permitir ver los artículos y las variaciones de color. El nivel mínimo típico de nivel aceptable de iluminación, es de por lo menos 1000 Lm/m². Para seleccionar la fuente de iluminación, la temperatura del color de la luz tiene una importante consideración. La luz tiene rangos de 3000-5000°K, que permite a los usuarios diferenciar entre varias aleaciones de metales y contaminantes. Una luz negra, ayuda a identificar residuos de flux y la presencia de recubrimientos de conformal.

d.7 Criterio de desecho.

La PCBA deberá ser rechazada si alguna o más de los siguientes criterios son

alcanzados y la PCBA continúa fallando en las pruebas.

- Todos los criterios de defectos para IPC Clase 2 están dentro del estándar IPC-A-610 Rev. E, especialmente en las secciones 10.1 a 10.4.
- 10 o más reparaciones de nivel 2 o 3 realizados.
- Las especificaciones del operador de servicios pueden llegar a ser más estrictas, por ejemplo un operador especifica que no se permiten más de 2 reparaciones dentro del mismo año de garantía, ni tampoco más de 1 en la misma falla, todos estos casos se resuelven con un cambio de equipo al cliente.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

3.1 Alternativa de solución

Una alternativa de solución para aprovechar esta la oportunidad de negocio que se presenta en la necesidad de los Operadores y fabricantes de reparar sus equipos electronicos es ofrecer una propuesta que asegure una reparación con calidad y que cumple procedimientos estandares.

Para el caso que un centro de servicio solo este autorizado para dar servicio en reparaciones hasta nivel 2, es una oportunidad de incrementar sustancialmente sus beneficios mediante la ampliación de su nivel de reparación a 3. Esto debido a los mayores costes asumidos asumidos por los clientes, debido al mayor grado de dificultad y especializacion que se requiere.

3.2 Solución del problema

Para la solución del problema se plantea la implementación de un módulo de retrabajo para reparaciones de PCBAs en nivel 3, que podra asumir reparaciones que no eran posibles con niveles inferiores.

Nuestra Implementación cuenta basicamente con 3 elementos:

- Estudio de los Requerimientos tecnicos para un módulo de trabajo, analizando todos los requerimientos que afectan su funcionamiento correcto.
- Consideraciones para el desempeño del modulo y su equipamento.
- Una propuesta tecnico-economica para la implementación física del modulo de retrabajo.

3.2.1 Requerimientos

a. Materiales y químicos usados en el proceso de retrabajo

Todos los productos químicos que entren en contacto con las tarjetas del fabricante deberan ser aprobadas antes de su uso.

En este caso, el fabricante especificó marcas y numeros de partes especificos, este tipo de especificaciones los encontraremos frecuentemente en esta industria, donde por la gran variedad de materiales de soldadura, los fabricantes investigan exigen el uso de determinados productos para sus procesos, debido a que estos entraran en contacto con la PCBA. En la Tabla 3.1 Detallamos a continuación una lista aprobada por un fabricante.

Tabla 3.1 Requerimientos de químicos (Fuente: especificación de fabricante)

Numero de Parte	Descripción Original	Traducción /Especificación	Modelo
Solder Wick	Chemtronics Solder Wick Lead Free SD	Malla de desoldado	SW 14025
Solder paste	Alpha Metals - OM-338 SAC305 Particle Size 3 Solder Paste	Pasta de Soldadura	OM338
Solder Wire	AIM SAC305 Solder	Alambre de soldar	SAC305
Flux Liquido	NR205 No-Clean Flux Pen	Flux liquido	NR205
Gel Flux	ALPHA Flux Gel ALP-OM338-30CC	Flux en gel	OM338
Flux Cleaner	Zestron Vigon EFM flux remover	Limpiador de flux	EFM
Generic Cleaner	Alcohol Isopropilico de cualquier fabricante	Alcohol Isopropilico	-

b. Requerimiento de Equipamiento en el proceso de retrabajo

En la tabla 3.2, detallamos los requerimientos funcionales especificados por el fabricante.

Tabla 3.2 Requerimientos de equipos (Fuente: especificación de fabricante)

Equipamiento	Requerimientos
Soldering Iron	Este deberá reunir los requerimientos de sistema de soldadura manual en IPC J-STD-001 Apendice B. Este deberá estar habilitado para calentar rápidamente el área de conexión y no causar ningun daño o detrimento sobre el PCBA.
Hot Air Gun	Este deberá reunir los requerimientos de sistema de soldadura manual en IPC J-STD-001 Apendice B. Este deberá estar habilitado para calentar rápidamente el área de conexión y no causar ningun daño o detrimento sobre el PCBA.
Preheater	Este deberá ser capaz de precalentar la PCBA y mantener la temperatura de la PCBA en el rango de 93-121 °C (200-250 °F).
Fridge	Este deberá ser capaz de mantener una temperatura (se usará para el almacenaje de los materiales de Soldadura: soldadura en pasta, flux liquido).
Tip Temperature Measurement Thermometer	Este deberá ser capaz de realizar mediciones de temperatura hasta los 454°C (850°F).
Microscope for inspection	Este deberá ser un microscopio estereo y su magnificación máxima debiera ser igual o mayor a 40X.

Se encontró en el mercado muchas alternativas, que cumplen estos requerimientos,

en la tabla 3.3 se detalla las marcas y modelos que se elijieron.

Tabla 3.3 Detalle del equipamiento que se cumple los requerimientos del fabricante

Numero de Parte	Descripción Original	Traducción /Especificación	Modelo
Soldering Iron	HAKKO FX-888 Estación de Soldar	Estación de soldar	FX-888
Hot Air Gun	HAKKO FR-801 SMD estación de aire caliente	Estación de aire caliente	FX-801
Preheater	HAKKO FR-830 SMD-BGA	Precalentador	ELESTECH
Fridge	DAEWOO Fridge	Mini Refrigerador	FR-063RS
Tip Temperature Measurement Thermometer	HAKKO FG 101 Soldering iron tester	Medidor de temperatura de punta	FG 101
Microscope for inspection	Motic SMZ-140-N2GG 10X-40X Zoom Stereo Microscope	Microscopio de inspección	SMZ-140-N2GG

c. Mantenimiento del equipamiento y control.

Todos los equipos debran ser operados de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes y calibradas cuando sean necesarias para mantener las especificaciones de los fabricantes.

La temperatura de la punta de la estación de soldadura deberá ser controlada de tal manera que sea capaz de calentar el área de conexión rápidamente sin detrimento o daño a la PCBA.

- Los límites de control deberán ser configurados para los propósitos de control de procesos.
- La temperatura de la punta deberá ser medida en forma regular (diaria) y registrada apropiadamente.
- Cuando la punta es reemplazada, la nueva punta deberá ser medida y registrada apropiadamente.
- La temperatura del precalentador debara ser mantenida indefinidamente en el rango de temperatura de 93-121°C (200-250°F).
- La temperatura del precalentador deberá ser medida mensualmente y registrada apropiadamente.

d. Requerimiento ESD para la estación de Retrabajo.

- La manta ESD es requerida para cubrir toda el área de la estación de trabajo y deberá estar apropiadamente aterrada.
- La muñequera deberá estar conectada a un sistema de monitoreo funcional y usada

todo el tiempo mientras este manipulando cualquier producto en cualquier estado del proceso.

- El alfombrado ESD deberá ser instalado en todas las áreas críticas.
- La talonera deberá ser usada todo el tiempo y examinada regularmente.
- Las Bolsas antiestáticas deberán ser usadas para el transporte y almacenaje de las tarjetas electrónicas y componentes sensible a la ESD. Bandejas y /o carros seguros a la ESD deberán ser usados como portadores si es necesario.

e. Requerimiento de materiales para la protección contra ESD.

En las tablas 3.4, 3.5 y 3.6 referimos los materiales, muebles, y herramientas para asegurar los requerimientos de seguridad contra ESD.

Tabla 3.4 Materiales para protección ESD

Descripción Original	Traducción /Especificación	Modelo
ANTI-STATIC FOOT STRAP	Talonera antiestática	FT-ESD-S12
ANTI-STATIC WRIST STRAP	Pulsera antiestática	PVC 1.8m LEKO
ANTI-STATIC GROUNDING	Cable de puesta a tierra	FT-ESD-S21
ANTISTATIC WORKWEAR CLOTHES	Mandil antiestático	M-C/WHITE
GLOVES NITRILE	Guante antiestático	SIZE M
ESD Floor mat, 1m*10m*2mm	Tapete para piso ESD	ELESTECH
ESD Table mat, 1m*10m*2mm	Tapete para mesa ESD	ELESTECH
Ground cord	Cable para punto a tierra	ELESTECH
Ground socket	Punto de tierra	ELESTECH
ESD warning tape, plastic core 45mm*18m	Cinta de señalización ESD	ELESTECH

Tabla 3.5 Muebles con protección ESD.

Descripción Original	Traducción /Especificación	Modelo
ESD Work bench	Mesa de Trabajo	ESD WORKBENCH
ESD Cart, 2 layers, chrome plating	Carro de 2 niveles	ELESTECH

Tabla 3.6 Herramientas con protección ESD.

Descripción Original	Traducción /Especificación	Modelo
Torque Driver CLT-60	Destomillador Electrico	ELESTECH
Punta de Torx 04	Punta de Torx 04	ELESTECH
Punta de Torx 05	Punta de Torx 05	ELESTECH
Punta de Torx 06	Punta de Torx 06	ELESTECH
Smoke Absorber	Extractor de Humo	ELESTECH
ESD Alcohol Bottle, 120ml, blue polyester+2% conductive yarn	Dispensador de Alcohol ESD	ELESTECH
	Trapo limpia pelusa	ELESTECH
Stainless precision tweezer	Pinzas de Presición tipo ST-11	ELESTECH

3.3 Presentación de resultados.

Las figuras 3.1 y 3.2 muestran la implementación en un centro de servicio especializado en celulares local. En la parte superior del módulo se observa 2 diagramas correspondientes a la posición de las herramientas y equipos cuando se “esta trabajando” y cuando “no se esta trabajando”. Esta politica proviene de las “5 S” japonesa, cuyo objetivo es trabajar en orden.



Figura 3.1 Vista superior del módulo de trabajo dedicado a Retrabajo Nivel 3.



Figura 3.2 Vista inferior del módulo de trabajo dedicado a Retrabajo Nivel 3.

3.4 Indicadores de Producción

Hemos tomado como muestra: El ingreso a laboratorio de un modelo de teléfono móvil perteneciente a un fabricante en particular. La muestra consiste en 681 equipos.

a. Centro de Servicio calificado hasta Nivel 2 de reparación

Veamos la situación antes: Donde el laboratorio no estaba autorizado a reparar en nivel 3. Muchos equipos con posible solución con retrabajo se hubieran enviado a proceso de cambio de fabricante (swap). En la Tabla 3.7 se muestra los niveles de reparación con el costo que paga el fabricante por la realización del trabajo para cada nivel correspondiente, así como la cantidad de equipos clasificados por el nivel de reparación que se requirió para ser procesados.

Tabla 3.7 Equipos y niveles de reparación en el caso que no se realiza nivel 3

Nivel de reparación	Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	SWAP
Costo por Nivel (\$)	2	5	10	0
Cantidad de equipos	97	132	342	110

b. Centro de servicio calificado con Nivel 3 de reparación

Ahora en el caso de que el laboratorio ha sido autorizado a reparar en nivel 3. Se observa que una gran cantidad de equipos antes swap ahora se han convertido en equipos reparados en nivel 3.

Tabla 3.8 Equipos y niveles de reparación cuando se realiza nivel 3.

Nivel de reparación	Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	SWAP
Costo por Nivel (\$)	2	5	10	15	0
Cantidad de equipos	97	132	342	70	40

En la figura 3.3 se muestra las reparaciones realizadas en esta nueva situación, se observa que las reparaciones nivel 3, representan un 10% del total de equipos reparados. Esta cifra influye en la contratación de mano de obra, pues se requerirá que un 10 % aproximadamente de las horas hombre se dediquen a este nivel.



Figura 3.3 Reparaciones realizadas hasta nivel 3. (Elaboración propia).

En la Figura 3.4 se muestran los costos por nivel asumidos por el fabricante en la

reparación de los equipos en garantía. Como se observa el nivel swap tiene un valor de \$ 0.0 USD dolares, debido a que no se realizó ninguna reparación.

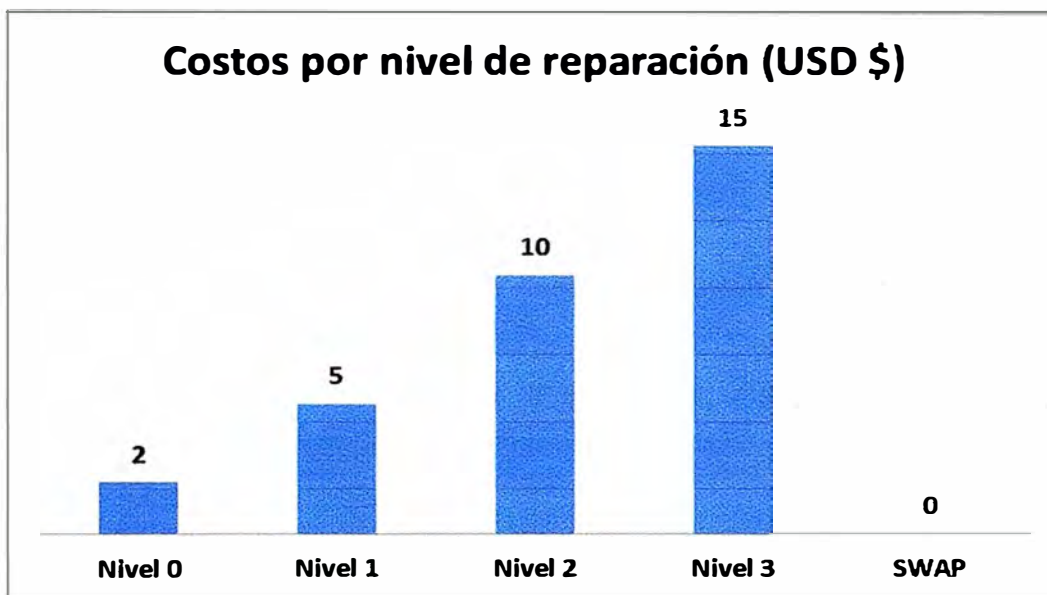


Figura 3.4 Costo de las reparaciones asumidas por el fabricante (Elaboración propia).

En la figura 3.5 se muestra el beneficio por nivel de reparación, se observa que el nivel 3 representa el 19 % del beneficio percibido por el centro de servicio.

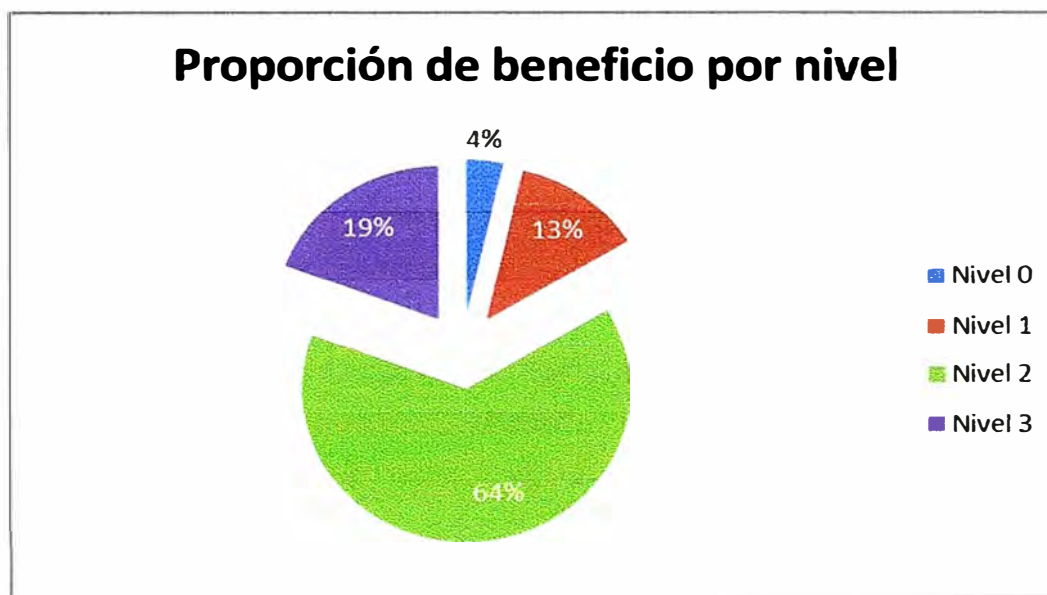


Figura 3.5 Beneficio por niveles de reparación (Elaboración propia).

c. Beneficios después de adoptar la calificación de nivel 3.

- El número de equipos reparados aumento en un 12%, esto se denomina “Taza de reparabilidad”.

Este es un poderoso indicador que interesa bastante al Operador de Servicio, pues indica la capacidad que tiene el centro de Servicio de resolver las necesidades de sus abonados, tanto en los equipos dentro de garantía como los que están fuera de garantía

por fecha de compra.

Es una medida nos pone en posición ventajosa en el momento de renegociar los contratos de servicio a nuestro favor o para la extensión de ellos para para el centro de servicio.

La tasa de reparabilidad es igual a la demanda de mano de obra calificada que se necesitara, para asumir el nivel 3. Esta tasa contribuye a la generación de empleo cualificado en el Perú.

- El número de cambios de fabricante (swap), también es denominado “Tasa de cambios” disminuyó en un 64%.

Este es un poderoso indicador para el fabricante, pues indica la capacidad que tenemos de evitar consumir el lote (Seed Stock) de equipos nuevos del fabricante para el caso de reparaciones en garantía.

Esta cifra nos convierte en referencia de excelencia para el fabricante cuando se compare nuestro desempeño con otros centros de servicio en el mundo.

Se debe tener en cuenta que el desempeño de los centros de servicio especializado en celulares está continuamente monitoreado, por medio de seguimiento de muchas bases de datos, esto tiene como fin mejorar contiuamente los procesos productivos.

Cada mes los fabricantes elaboran una clasificación (ranking) de los centros de servicio, asignando conformidades o realizando observaciones dependiendo en la posición en la que estemos ubicados.

El retrabajo en nivel 3 nos facultad de tener acceso a diversas primas de nuestros clientes (bonos), por el mejor desempeño.

- El beneficio aumento en 23%

Esto tiene mucha importancia en la toma de decisiones dentro de la gerencia financiera y es un fuerte estímulo para aprobar un proyecto de esta clase.

Este es uno de los objetivos claves con que se orientó ese informe, demostrando su viabilidad económica.

En la tabla 3.9 se muestra un resumen de los beneficios de adoptar esta solución.

Tabla 3.9 Indicadores de producción después de incrementar su nivel de reparación.

Indicador de Calidad	Variación (%)
Taza de reparabilidad	12%
Disminución del número de cambios (swap)	63%
Beneficio económico	23%
Generación de empleo	12%

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se tocan los temas involucrados al presupuesto y al cronograma del informe.

4.1 Costos de Equipamiento y Capacitación

En el análisis de costos no consideraremos los costos de construcción, así como tampoco de las instalaciones eléctricas, aire acondicionado, luminarias, etc. Partimos de la consideración que estamos adicionando un módulo de retrabajo para la calificación Nivel 3 de un centro de servicio especializado en teléfonos móviles.

Comenzamos enumerando las ítem indispensables solicitadas por un fabricante para la calificación de retrabajo nivel 3. Los pedidos en este caso han de ceñirse a las especificaciones propias.

En las siguientes tablas se muestran las órdenes de compra para los requerimientos de equipos y capacitación.

Tabla 4.1 Equipos para módulo de trabajo

Nombre del parte (fabricante)	Descripción Original	Traducción /Especificación	Modelo	Costo por unidad (\$)
Soldering Iron	HAKKO FM-203 Module Station.	Estación de soldar	FX-888	550
Hot Air Gun	HAKKO FR-801 SMD estación de aire caliente	Estación de aire caliente	FX-801	245.07
Preheater	HAKKO FR-830 SMD-BGA	Pre calentador	ELESTECH	425
Fridge	DAEWOO Fridge	Mini Refrigerador	FR-063RS	150
Tip Temperature Measurement Thermometer	HAKKO FG 101 Soldering iron tester	Medidor de temperatura de punta	FG 101	900
Microscope for inspection	Motic SMZ-140-N2GG 10X-40X Zoom Stereo Microscope	Microscopio de inspección	SMZ-140-N2GG	500

Para el caso de limpiador genérico se especifica Alcohol Isopropilico sin ninguna indicación adicional, lo que indica que podemos usar de cualquier fabricante. Es el único químico sin indicación por parte del fabricante.

Tabla 4.2. Materiales y químicos usados en el proceso de retrabajo

Nombre del Parte (fabricante)	Descripción Original	Traducción /Especificación	Modelo	Costo por unidad (\$)
Solder Wick	Chemtronics Solder Wick Lead Free SD	Malla de desoldado	SW 14025	1.5
Solder paste	Alpha Metals - OM-338 SAC305 Particle Size 3 Solder Paste	Pasta de Soldadura	OM338	210
Solder Wire	AIM SAC305 Solder	Alambre de soldar	SAC305	56
Flux Liquido	NR205 No-Clean Flux Pen	Flux líquido	NR205	12
Gel Flux	ALPHA Flux Gel ALP-OM338-30CC	Flux en gel	OM338	44.5
Flux Cleaner	Zestron Vigon EFM flux remover	Limpiador de flux	EFM	45
Generic Cleaner	Alcohol Isopropilico de cualquier fabricante	Alcohol Isopropilico	-	23

Tabla 4.3 Protección contra ESD

Descripción Original	Traducción /Especificación	Modelo	Costo por unidad (\$)
Anti-static foot strap	Talonera antiestática	FT-ESD-S12	0.78
Anti-static Wrist strap	Pulsera antiestática	PVC 1.8m LEKO	0.32
Anti-static grounding	Cable de puesta a tierra	FT-ESD-S21	0.29
Antistatic workwear	Mandil antiestático	M-C/WHITE	2.45
Gloves Nitrile	Guantes antiestático	SIZE M	0.1
ESD Floor mat, 1m*10m*2mm	Tapete para piso ESD	ELESTECH	142.5
ESD Table mat, 1m*10m*2mm	Tapete para mesa ESD	ELESTECH	75
Ground cord	Cable para punto a tierra	ELESTECH	1
Ground socket	Punto de tierra	ELESTECH	1.2
ESD warning tape, plastic core 45mm*18m	Cinta de señalización ESD	ELESTECH	2

Tabla 4.4 Muebles

Descripción Original	Traducción /Especificación	Modelo	Costo por unidad (\$)
ESD Work bench	Mesa de Trabajo	ESD WORKBENCH	450
ESD Cart, 2 layers, chrome plating	Carro de 2 niveles	ELESTECH	86

Tabla 4.5 Herramientas y Equipo adicional

Descripción Original	Traducción /Especificación	Modelo	Costo por unidad (\$)
Torque Driver CLT-60	Destornillador Eléctrico	ELESTECH	240
Punta de Torx 04	Punta de Torx 04	ELESTECH	2.5
Punta de Torx 05	Punta de Torx 05	ELESTECH	2.5
Punta de Torx 06	Punta de Torx 06	ELESTECH	2.5
Smoke Absorber	Extractor de Humo	ELESTECH	28
ESD Alcohol Bottle, 120ml, blue	Dispensador de Alcohol ESD	ELESTECH	1.35
polyester+2% conductive yarn	Trapo limpia pelusa	ELESTECH	1.2
Stainless precision tweezer	Pinzas de precisión tipo ST-11	ELESTECH	1

Capacitación del Personal

Se requerirá la capacitación de los técnicos en los estándares IPC-A-610E e IPC-7711B/7721B, los cuales son requeridos obligatoriamente por el fabricante para la manipulación de sus equipos en Nivel 3.

En la siguiente tabla se detallan tanto la capacitación como la compra de materiales.

Tabla 4.5 Capacitación de Personal

Detalle	Costo por unidad (\$)
Libro IPC A-610E	105
Libro IPC 7711/7721B	105
Certificado para especialista IPC en IPC-A-610E	30
Certificado para especialista IPC en IPC 7711/7721B	30
Entrenamiento a cargo de Entrenador Certificado IPC (CIT)	1000

Se debe tener en cuenta que se deben capacitar 2 técnicos, para asegurar el respaldo y la continuidad de la operación, por lo que el gasto total en capacitación ascenderá a USD \$ 2540.

La inversión total asciende a USD \$ 6742.76.

En la figura se observa la distribución de gastos en la inversión. Deducimos de este: que el recurso humano para esta implementación es parte importante del capital de centro de servicio, por lo que es necesario asegurar su permanencia.

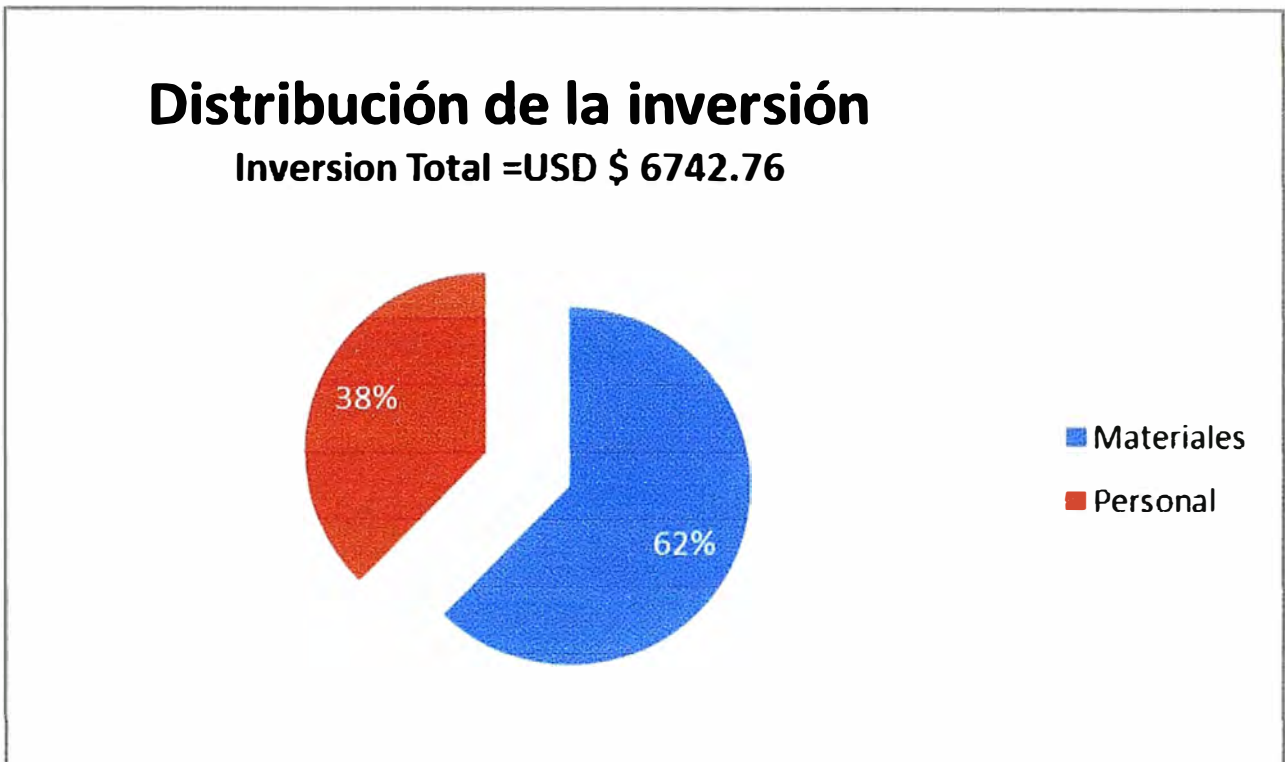


Figura 4.1 Distribución de gastos en la inversión. (Elaboración Propia)

4.2 Cronograma de Implementación

En la tabla 4.5 se muestra el cronograma de implementación, mediante el diagrama de Gantt.

Se añadió una columna de especificación de responsable a fin de especificar que sección de la empresa tenía la mayor responsabilidad en la actividad especificada.

Es importante resaltar que la función del “Ingeniero de calidad” ha estado presente en todas las etapas, ya sea, en la totalidad del diseño, en apoyo de la adquisición e instalación, así mismo en la capacitación informando detalles del fabricante no especificados en las normas IPC, así mismo está presente en las pruebas y evaluación del fabricante tomando nota de las observaciones del fabricante o evaluador contratado por el, a fin de corregir cualquier falla a la brevedad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se recuperan muchos teléfonos móviles extendiendo su vida útil, mejorando la economía del usuario, y protegiendo el medio ambiente.
2. Con la calificación de reparación en nivel 3, aumenta la tasa de reparación en 12%, disminuye la tasa de cambios (no reparados) en 63%, el beneficio aumenta en 23%, generándose un 12 % de nuevos empleos.
3. Al emprender el retrabajo en nivel 3, el centro de servicio incrementará su competitividad con respecto a otros centros, esto le abrirá las puertas a nuevos contratos. Los métodos presentes en los estándares IPC han disminuido las condiciones que originan las fallas latentes.
4. El seguimiento de prácticas de los estándares WEEE y RoHS que son parte del retrabajo con soldadura libre de plomo, asegura la protección del trabajador por medio del uso de insumos no dañinos a la salud humana y nos facilitan calificar para otros estándares de calidad como el ISO 9001.

Recomendaciones

1. Los centros de servicio nivel 2 deberían adoptar esta implementación para incrementar su nivel de reparación. Con el fin de aumentar sus beneficios y competitividad.
2. Los centros de reparación deberían seguir los métodos de trabajo de los estándares IPC, pues sus ellos han sido ampliamente probados y documentados en la industria electrónica, esto ahorra numerosos y costosos ensayos. A su vez, la estandarización de los procesos ayuda en gran medida a ordenar y asegurar un producto de calidad.
3. Un sistema de extracción de humos con salida hacia el exterior protegería mejor a nuestros técnicos de los humos y gases del proceso de soldadura.
4. A fin de aliviar el seguimiento del perfil de temperatura de soldadura, se recomienda utilizar un sistema de soldadura a máquina (Machine Soldering System), que puede programar el perfil deseado, para automatizar el proceso. El precio de estos equipos es desde USD \$ 1500.

ANEXO A
GLOSARIO DE TÉRMINOS

BGA

Arreglo cuadrado de esferas (Ball Grid Array), son conexiones de soldadura que unen un componente a la placa base mediante bolitas de aleación libre de plomo.

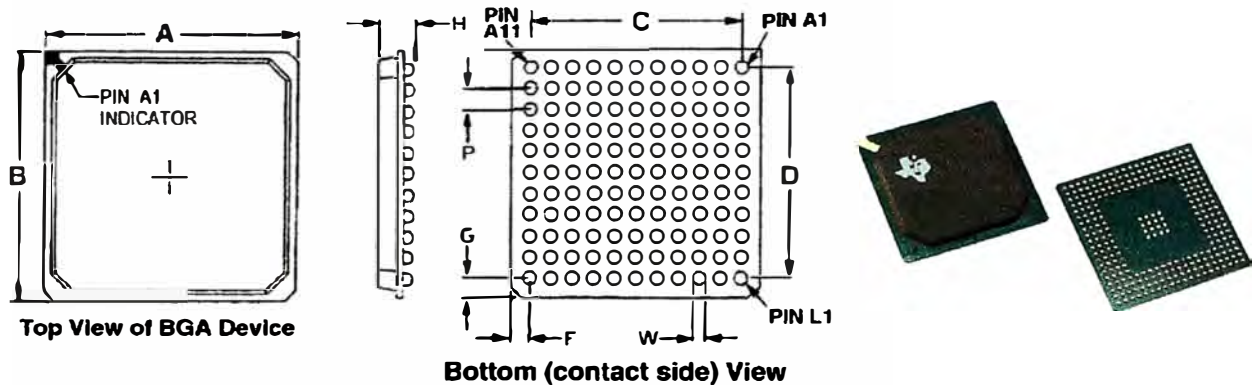


Figura 1. Componente BGA (Fuente IPC-7351)

Clasificación de Producto

Es una escala según el desempeño que se exige al equipo electrónico, se usa también para evaluación. El teléfono móvil está en clase 2.

Clase 1 – Productos Electrónicos en General

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

Clase 2 – Productos Electrónicos de Servicio Especializado

Incluye productos de funcionamiento continuo de larga duración sean requeridos, y en los cuales, el servicio ininterrumpido es deseable pero no crítico. Típicamente, su uso no causará fallas.

Clase 3 – Productos Electrónicos de Alto Rendimiento

Incluye productos cuyo alto rendimiento continuo o el rendimiento requerido inmediato es crítico, interrupciones no son tolerables, el uso final puede ser muy severo al producto y el equipo debe de funcionar cuando se le requiere, tal como soporte de vida u otro sistema crítico.

Falla latente

Fallas que pasan el control de calidad, y se presentan luego durante el uso del equipo, estas fallas pueden presentarse antes del vencimiento del tiempo de garantía de reparación, por la misma falla u otras fallas.

Garantía - Invalidación

Se da por 3 motivos: Manipulación interna por personal ajeno al centro de servicio autorizado, golpes fuertes, e ingreso de líquido.

En los casos donde el equipo está fuera de garantía, la reparación no es asumida por el

fabricante.

Garantía de reparación

Es el tiempo que como mínimo debe soportar una reparación. Este tiempo depende del acuerdo entre operador de servicio y el centro de servicio. Un tiempo usual es 6 meses.

Garantía por fecha de compra

El fabricante ofrece a todos los equipos un periodo de garantía de un año a partir de su fecha de compra (Algunas tiendas de departamentos ofrecen una extensión de esta, sin intervención del fabricante), al cumplirse el año, automáticamente esta fuera de garantía por este motivo.

En el periodo de garantía la reparación es asumida por el fabricante, pues es muy probable que la falla se deba a fallas de fábrica. (Defectos en algún componente debido a lote fallado, etc.)

Nivel de Reparación

Es una escala que indica la cantidad de esfuerzo que se realizó durante la reparación de un equipo.

Nivel 0	No presenta falla, irreparable (líquido, golpes, manipulación).
Nivel 1	Reparaciones realizadas por actualización del software del equipo.
Nivel 2	Cambio de piezas mecánicas que no requieren soldadura.
Nivel 3	Cambio de componentes con soldadura.
Nivel 4	Retrabajo o reemplazo de BGA. (No es tratado en este informe)
Nivel swap	Cambio de equipo al no poder ser reparado por el nivel del centro.

PCB

Tarjeta de circuito impreso (Printed Circuit Board). Es la tarjeta electrónica sin componentes.

PCBA

Montaje de tarjeta de circuito impreso (Printed Circuit Board Assembly). Es la tarjeta electrónica con los componentes soldados.

Retrabajo

El acto de reprocesar artículos que no cumplen con requerimientos, mediante el uso de procesos iguales al original o su equivalente, de tal manera que se asegure el cumplimiento del artículo con los dibujos o especificaciones aplicadas. (ejemplo: cambiar componentes defectuosos dejándolo como si hubiera salido de fábrica, etc)

Soldadura-Flux

Un químico que tiene un componente activo que cuando es calentado, promueve la fusión de la soldadura a una temperatura menor, a la vez que limpia el área de soldadura.

Soldadura-Pasta de Soldadura

Partículas de soldadura divididas finamente, con aditivos de flux, cuya función es reemplazar el alambre de soldadura en procesos de retrabajo especializado (por ejemplo retrabajo en PCBAs de teléfonos móviles).

ANEXO B
MODELO DEL CUERPO HUMANO PARA ESD

Modelo del cuerpo humano para ESD

El Modelo de Cuerpo Humano (Human-body model HBM) es el circuito eléctrico equivalente que simula la descarga de una persona hacia un dispositivo y es el modelo más usado para el testeo de la sensibilidad de un dispositivo a ESD, se usa también para diseñar la protección. En la figura 1 se muestra el circuito equivalente.

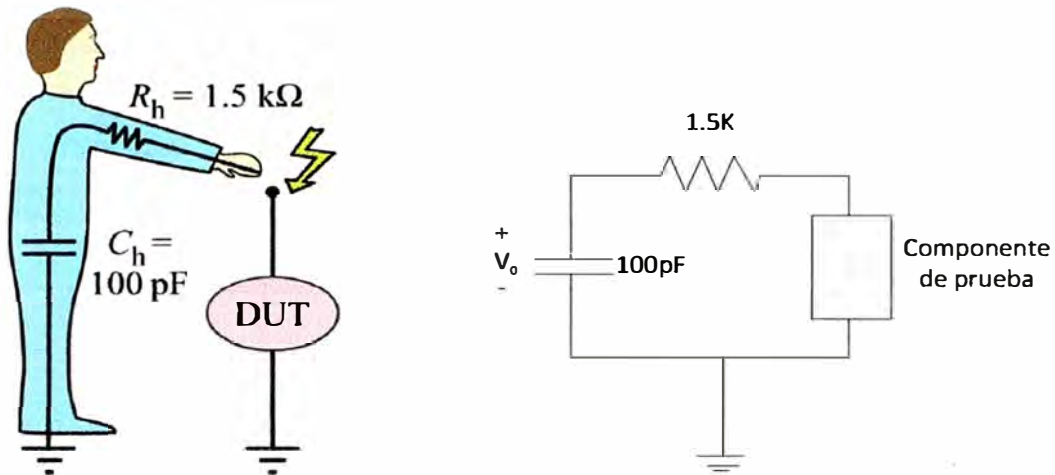


Figura 1. Modelo de Cuerpo Humano (Fuente: Estándar MIL-STD-883)

Realizamos un cálculo de la descarga hacia el componente. Consideramos un valor de 0 para la resistencia del componente de prueba (procedimiento para evaluación).

$$0 = Ri + qC \quad i = -dq/dt$$

$$-Ri = \frac{1}{C} \int idt$$

$$\int \frac{di}{i} = - \int \frac{dt}{RC}$$

$$\ln i - \ln i_0 = -\frac{1}{RC}t$$

$$i = i_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{Dónde: } i_0 = \frac{V_0}{R} \text{ (corriente pico)}$$

Un voltaje típico generado por estática es 6 000V.

Encontramos que la corriente pico es igual a 4A y la constante RC=150 ns. (En este instante el valor se reduce al 36.8% del valor pico). Esto se representa en la Figura 2.

La rápida descarga y alto valor pico de la corriente afectan a los componentes electrónicos.

Para evitar estos valores peligrosos, se colocan resistencias en serie de 1M Ohm, tanto en las pulseras, mantas y tapetes, conectadas a la vez a un punto a tierra a fin de drenar las descargas, y reforzar la seguridad. Se mostró esto en la implementación de la

mesa de retrabajo

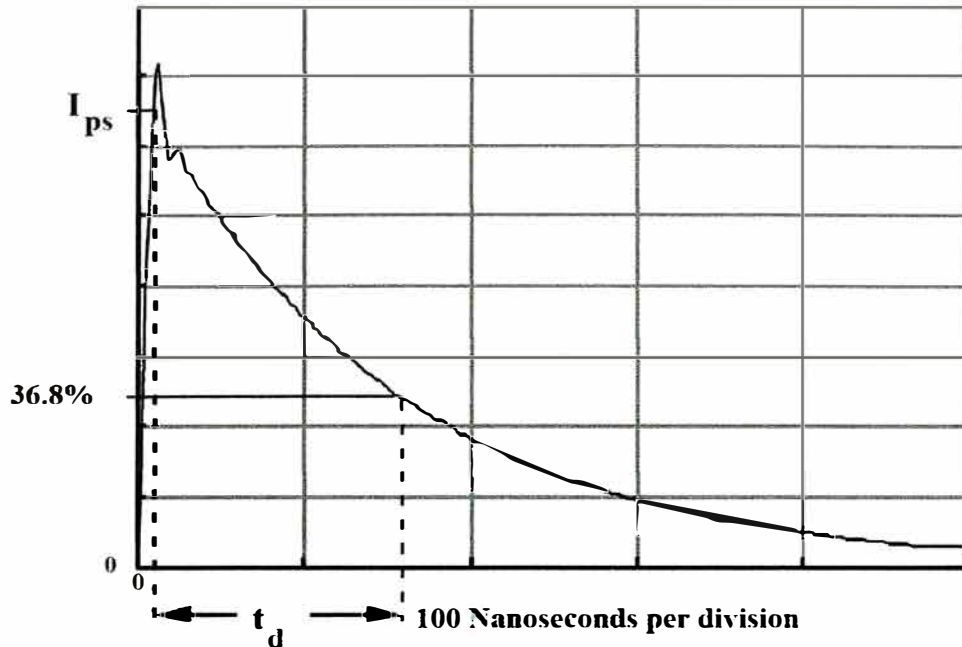


Figura 2. Forma de la corriente de descarga (Fuente: Norma ANSI/ESD STM5.1-2001)

Al realizar un nuevo cálculo, con el nuevo valor de resistencia a 1M Ohm, tenemos:

La corriente pico se reduce a 6 mA y la constante de tiempo RC a 0.1 ms. Estos valores son mucho menos peligrosos que en la situación sin la resistencia de protección.

Esta es la razón por la cual los equipos de protección antiestática usan estos valores de resistencia en su configuración.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] V.Eveloy, S. Ganesan, Y. Fukuda, J. Wu, M. Pecht, "Are you ready for Lead Free Electronics?", IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies Vol. 28, NO 4, Diciembre 2005.
- [2] IPC, "Aceptabilidad de montajes electrónicos", IPC-A-610 Revisión E, Abril 2010.
- [3] IPC, "Retrabajo y reparación de montajes electrónicos", IPC-7711B/7721B, Noviembre 2007.
- [4] IPC, "Políticas y Procedimientos 1.1", IPC-Entrenamiento y Certificación Profesional, 2013.
- [5] IPC, "DVD-SP45C -- Lead Free Hand Soldering -- Spanish Movie", Videos de entrenamiento IPC, 2011.
- [6] IPC, "DVD- SP54C -- ESD Control -- Spanish Movie", Videos de entrenamiento IPC, 2011.
- [7] IPC, "DVD- SP78C -- Seven Sins of ESD Control -- Spanish Movie", Videos de entrenamiento IPC, 2011.
- [8] IPC, "DVD- SPSMT-D -- SMT Solder Joint Evaluation -- Spanish Movie", Videos de entrenamiento IPC, 2011.
- [9] IPC, "DVD- SP49C -- 7 Sins of Soldering -- Spanish Movie", Videos de entrenamiento IPC, 2011.
- [10] IPC, "Términos y Definiciones para la Interconexión y Empaque de Circuitos Electrónicos", IPC-T-50, 2013.
- [11] Parlamento Europeo, "DIRECTIVA 2012/19/EU Sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos", WEEE, Julio 2012.
- [12] Parlamento Europeo, "DIRECTIVA 2011/65/UE Sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos", RoHS, Junio 2011.
- [13] Luis Lund, "La soldadura libre de plomo", Revista Electro Industria, Julio 2005.
- [14] ERSA, "Soldering, Rework & Inspection in Electronics Production", www.ersa.com.
- [15] POIROT S.A, "Equipos para estática ESD", www.poirot.cl.