



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
PUEBLA**

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

Análisis de la arquitectura de cómputo de alto desempeño basada
en tecnología GPU.

Presenta:

Fabian Tecuapacho Salazar

Tesis presentada para obtener el título de:

Licenciatura en Ingeniería en Ciencias de la Computación

Dirigida por:

Rafael Lemuz López

Puebla, Puebla 2022

Table de Contenido

Resumen	1
Introducción.....	2
Planteamiento del problema	3
Estructura del trabajo	4
Capítulo 1 Antecedentes	1
1.1 Desarrollo sustentable de dispositivos inteligentes	1
1.2 Uso de recursos no renovables de los dispositivos inteligentes	2
1.3 El ciclo de vida de los dispositivos inteligentes.....	3
1.4 Contexto en México	5
1.5 Recolección de dispositivos inteligentes	9
1.6 Valor de los materiales	9
1.6 Valor de los teléfonos restaurados	11
1.7 Valor de los componentes reciclados	17
1.8 Comportamiento de los usuarios	17
Capítulo 2 Introducción a la reparación de DI	21
2.1 Problemas de software de bajo nivel.....	21
2.2 Indicadores de daño en un dispositivo con procesador	21
2.3 Degradación de componentes electrónicos por altas temperaturas	22
2.4 Pasos de un proceso de reparación a nivel de componente	23
2.5 Componentes que deben revisarse en la placa base.....	24
2.6 El proceso de restauración por el método de retrabajo	25

2.7 Variantes de BGA.....	27
2.8 Características físicas de un BGA típico	28
2.9 Procedimiento básico para remover o instalar un BGA	28
Capítulo 3 Método de retrabajo de un arreglo de bolas de soldadura.....	30
3.1 Beneficios de los BGA	30
3.2 Recomendaciones del ensamble.....	31
3.3 Reflujo	31
3.4 Reemplazo y reparación.....	33
3.5 Preparación del sitio	33
3.6 Colocación de componentes	34
3.8 Problemas de puentes de soldadura: causas y recomendaciones.....	34
3.8.1 Problemas de derramar líquidos en los PCBs.....	35
3.8.2 Problemas de la pasta para soldadura.....	35
3.9 Exceso de soldadura	36
Capítulo 4 Resultados	37
4.1 Reparación de un chip de video	38
4.2 Restauración de un teléfono celular	40
Conclusiones y trabajo futuro	44
Bibliografía	45

Resumen

En los años recientes las arquitecturas de cómputo basadas en procesadores inteligentes que utilizan coprocesadores con tecnología GPU (Unidades Gráficas de Procesamiento) han incrementado su uso en todo el mundo debido al trabajo a distancia. Las grandes cantidades de cálculos que realizan estas tecnologías consumen grandes cantidades de energía y generan calor, por esta razón normalmente utilizan disipadores para mejorar su desempeño. Sin embargo, el uso prolongado de estos dispositivos sin que se provean las condiciones adecuadas de ventilación puede derivar en fallas de los equipos. En particular los dispositivos con tecnología GPU suelen usarse en programas que demandan el procesamiento de grandes cantidades de datos o la visualización de videos en tiempo real generan altas temperaturas en los circuitos integrados que tienden a degradar los componentes de las tarjetas principales de un dispositivo inteligente.

En este trabajo se estudian las arquitecturas de cómputo analizando su estructura lógica además de su estructura física para reestablecer su funcionalidad cuando el grado de deterioro que sufre por diversas causas como el derrame de líquidos y las altas temperaturas es reparable utilizando herramientas hardware/software especializadas.

En el trabajo se describe la motivación del trabajo desde el punto de vista del uso sustentable de la tecnología [1]. En seguida se estudian las principales fallas de los dispositivos inteligentes. Además, se describen métodos para reestablecer su funcionalidad basado en el análisis sistemático de los equipos para identificar fallas, y su reparación, incluyendo el método de retrabajo. Finalmente, se describen algunas oportunidades económicas derivadas de la restauración de los equipos que además de prolongar la vida útil de los dispositivos inteligentes favorecen su uso más sostenible. Los resultados experimentales muestran que el método propuesto permite recuperar la funcionalidad del 90 por ciento de los equipos que sufren fallas.

Introducción

Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) son importantes en el ámbito de un mundo globalizado en el que cada vez se realizan más actividades a distancia. Si bien los recursos de cómputo y los servicios pueden estar en la nube, sigue siendo importante contar con dispositivos inteligentes (DI) (computadoras de escritorio, tabletas, laptops y teléfonos celulares) capaces de reproducir y procesar grandes cantidades de datos y hacer cálculos complejos que requieren procesadores dedicados o híbridos que incorporan tecnologías como los GPUs.

Para obtener el mayor beneficio posible de las TICS y generar mayor bienestar actualmente es indispensable contar con DI que utilizan procesadores y tarjetas gráficas para mostrar y procesar información.

Todo esto se ha traducido en un incremento sostenido en la producción y venta global de DI. En particular los relacionados con las TIC: computadoras, laptops, tabletas y teléfonos celulares. La creciente demanda de los DIs, sin embargo, se convierte también en una fuente de desperdicio que genera residuos electrónicos. Por esta razón algunas de las principales empresas y organizaciones de tecnología de la información y la comunicación (TIC) de todo el mundo, han creado la Iniciativa de sostenibilidad global habilitante (GeSI) [2] que es una fuente líder de información imparcial, recursos y mejores prácticas para lograr la sostenibilidad social y ambiental integrada a través de tecnologías digitales.

En algunos países se recolectan los desechos electrónicos del usuario final y son procesados en instalaciones de tratamiento adecuadas para ese propósito. Sin embargo, el tratamiento adecuado de los residuos electrónicos es poco común, y la mayoría de los países aún no cuentan con estos sistemas de gestión. En México la mayoría de los desechos electrónicos no se recogen ni se tratan de forma respetuosa con el medio ambiente.

Según la ONU (Organización de las Naciones Unidas), en el continente americano se generaron 14,2 Mt (millones de toneladas) de desechos electrónicos en 2019. Los tres países con la mayor generación de este flujo de residuos fueron Estados Unidos (6,9 Mt), Brasil (2,1 Mt) y México (1,2 Mt) [3].

Existe así una necesidad evidente de prolongar la vida útil de los DI con la finalidad de evitar que se vuelvan desechos electrónicos.

Planteamiento del problema

El objetivo de esta tesis es analizar la arquitectura de los dispositivos inteligentes que utilizan tecnología CPU-GPU para identificar y corregir fallas de funcionamiento debido a la degradación por temperatura de la soldadura de sus circuitos electrónicos con la finalidad de lograr restaurar los equipos.

Las placas base de un DI moderno tiene soldadas algunos componentes electrónicos importantes, como el chipset, el CPU, la tarjeta gráfica e incluso la memoria con una tecnología llamada bolas de arreglo de malla (BGA por sus siglas en inglés). Esto es algo que ocurre a mayor escala en los dispositivos de cómputo portátiles, donde la integración de los componentes se realiza en una menor área.

En este trabajo, se describen la serie de pasos que permiten realizar una reparación exitosa de dispositivos inteligentes que basan su funcionamiento en CPU-GPU utilizando métodos de alto nivel hasta el método denominado retrabajo que se utiliza para corregir fallas de los equipos debidas a las fallas en la soldadura de los circuitos integrados. Si bien existen métodos poco profesionales de reparación de corta duración como la técnica del someter la tarjeta madre a altas temperaturas, en la práctica es mejor cambiar la soldadura, ya que el recalentamiento de los componentes suele provocar una mayor degradación de las placas y estrés térmico en los componentes.

En este trabajo estudiamos la técnica de retrabajo pues ofrece una durabilidad de funcionamiento en los componentes fabricados con la aleación SAC (Estaño / Plata / Cobre), para ello es necesario el uso de herramientas y equipos profesionales, con un alto grado de precisión para garantizar una extracción de los componentes BGA y así se puedan cambiar las bolitas de estaño por unas de mejor calidad.

En la actualidad los equipos más comunes que contienen componentes que presentan fallas en su funcionamiento por el deterioro de la soldadura son los siguientes, de los cuales estudiaremos algunos con mayor detalle:

- Consolas de video juegos
- Laptops
- Tarjetas de video de alto rendimiento
- Computadoras personales
- Televisores de inteligentes
- Teléfonos celulares

Estructura del trabajo

En el capítulo 1 se presenta la motivación del trabajo de tesis con relación a la necesidad de un uso sostenible de la tecnología para evitar el deterioro ambiental de nuestro planeta. En el capítulo 2 se describe brevemente la arquitectura de los dispositivos inteligentes que integran tecnología CPU-GPU y se cubre el estado actual de la teoría y las técnicas de reparación de dispositivos inteligente utilizando técnicas de alto nivel y la técnica de bajo nivel retrabajo. En el capítulo 3, se puede encontrar una breve descripción de los problemas más comunes de los sistemas basados en tecnología CPU-GPU. En el capítulo 4 se describe la tecnología de hardware y software utilizado en esta tesis. Además, se explica la implementación de tres estrategias básicas de reparación de DI con tecnología GPU. Finalmente se presentan las conclusiones y el trabajo futuro de la tesis.

Capítulo 1 Antecedentes

Los antecedentes del proyecto de tesis se basan en el uso sostenible de dispositivos inteligentes basados en la tecnología CPU-GPU.

1.1 Desarrollo sustentable de dispositivos inteligentes

Para las principales empresas que fabrican este tipo de dispositivos electrónicos el tema de desarrollo tecnológico sostenible es importante. Por esta razón la mayoría de las empresas que desarrollan dispositivos inteligentes han firmado el Pacto Mundial de las Naciones Unidas (UNGC), una iniciativa voluntaria basada en compromisos para implementar los principios de sostenibilidad universal y tomar medidas para apoyar a las Naciones Unidas a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, El UNGC es la mayor iniciativa de sostenibilidad corporativa en el mundo. Estas empresas anualmente publican un reporte en el que describen los avances en esta dirección.

Lenovo, por ejemplo, publicó en su reporte 2019/2020 sobre sustentabilidad ambiental, social y gubernamental [4] algunos de sus principales logros. En energía renovable, han reducido la emisión de gases de efecto invernadero en un 92 por ciento en relación con el reporte 2009/2010 y han instalado un conjunto de paneles solares de 3,9 MW (megavatios) en Norteamérica. Además, en ese reporte se resalta que el contenido reciclado posconsumo incluye materiales reciclados en 66 de sus productos lo que se refleja en un aumento significativo de 21 productos con respecto al informe el año anterior.

En el reporte del impacto de sustentabilidad del 2019 la empresa HP [5] destaca el uso de 25.560 toneladas de contenido plástico reciclado posconsumo en productos de impresión y sistemas de cómputo personales, lo que representa el 9% del total del plástico utilizado. HP tiene la meta de reciclar 1.2 millones de toneladas de sus productos y en el 2019 logro reciclar 528.3 toneladas. En relación con la energía renovable HP genero 240.398 MWh (megavatios hora) de electricidad renovable lo que equivale al 43% de su consumo de energía.

Por su parte la empresa Sony en su reporte de sustentabilidad 2020 [6], reportó que redujo el consumo de energía anual de dispositivos alimentados por corriente alterna de 52% en el 2020. Incremento en 10% la cantidad de plásticos a base de aceite virgen por unidad de producto en el 2020.

El reporte de sustentabilidad de Apple [7] indica que desde 2018, las tiendas, oficinas y centros de datos de Apple funcionan con energía 100% renovable. Además, utilizan 100% de aluminio reciclado en las carcasas de los dispositivos reduciendo el impacto general del carbono.

Finalmente, Samsung Electronics [8], reporto el uso de bioplásticos en sus productos y materiales de embalaje, en este sentido por ejemplo la carcasa frontal del Galaxy S10e utiliza 37% de biomasa. Los bioplásticos se producen a partir de fuentes renovables de biomasa y tienen un impacto medioambiental reducido en comparación con plásticos a base de petróleo.

1.2 Uso de recursos no renovables de los dispositivos inteligentes

Los dispositivos electrónicos consumen muchos recursos. Varios trabajos han revisado el ciclo de vida de laptops [9,10], teléfonos inteligentes [11,12] y tabletas [13]. Estos estudios muestran que durante todas las fases que van desde la producción, incluyendo la adquisición de materias primas para la fabricación de dispositivos inteligentes, hasta la distribución, el uso y el final de la vida útil dominan el impacto del agotamiento de los recursos. Con un supuesto típico de una vida útil de 8 años, los impactos ambientales están dominados por el consumo de electricidad.

Las partes y componentes con los impactos ambientales más significativos en la producción de dispositivos inteligentes [14,15] son:

- IC (circuitos integrados), especialmente CPU y chips de memoria

- Monitor

- PWB (placas de cableado impresas)

- Batería

- Fuente de alimentación

1.3 El ciclo de vida de los dispositivos inteligentes

Este capítulo trata sobre el reciclaje de dispositivos inteligentes que utilizan procesadores dedicados o con tecnología CPU-GPU, en el que se describen las oportunidades actuales del reciclaje de estos dispositivos. Además, se describe un método para recolectar y tratar el material generado y muestra algunos aspectos interesantes en la cadena de reciclaje y reutilización. Aunque en la actualidad el reciclaje de residuos electrónicos no es un tema preponderante en nuestro país debería serlo ya que México es el tercer país productor de basura electrónica en el continente americano, con una generación de residuos de 1.2 millones de toneladas anuales en 2020, solo por debajo de Brasil y Estados Unidos. Se estima que cada habitante genera 8.3 Kg de desechos electrónicos al año [16]. Lo anterior se debe a la escasa regulación, falta de incentivos para reciclar, y poca conciencia de los usuarios.

En México la ley general para previsión y gestión integral de los residuos [17], modificada por última vez en 2015 establece que uno de los residuos de manejo especial son los residuos tecnológicos provenientes de las industrias informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores y otros que al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico, pero no promueve el reciclaje.

Si bien existen numerosas posibilidades para reciclar dispositivos inteligentes, los problemas que se deben resolver van desde la recolección, la identificación y extracción de los componentes de valor hasta identificar los posibles beneficios económicos y ambientales detrás del proceso de reciclaje.

La Unión Europea en marzo del 2020 propuso un nuevo plan verde europeo para la Economía Circular [2]. Uno de sus principales objetivos es que los productos fabricados

duren más y sean fácilmente reutilizables a partir de su reparación o reciclado. El objetivo es lograr un modelo de producción sostenible donde los residuos se conviertan en nuevos recursos.

Sin embargo, cada vez hay más residuos ya que, por ejemplo, el ciclo de renovación de los dispositivos móviles se ha reducido a 18 meses.

El Plan de acción para la economía circular presentado hoy como parte de la estrategia industrial de la UE, consta de medidas para:

- **Hacer que los productos sostenibles sean la norma en la UE.** La Comisión propondrá legislación para una política de productos sostenibles, a fin de asegurar que los productos comercializados en la UE duren más, sean más fáciles de reutilizar, reparar y reciclar, e incorporen en la medida de lo posible material reciclado en lugar de materias primas primarias. Se restringirán los productos de un solo uso, se hará frente a la obsolescencia prematura y se prohibirá la destrucción de bienes duraderos que no hayan sido vendidos.
- **Empoderar a los consumidores.** Los consumidores recibirán información fidedigna sobre aspectos como ¿qué tan reparables y durables son los productos?, lo que les ayudará a tomar decisiones más sostenibles desde el punto de vista del medio ambiente. Los consumidores podrán acogerse a un verdadero «derecho a la reparación».
- **Centrarse en los sectores que utilizan más recursos y que tienen un elevado potencial de circularidad.** La Comisión adoptará medidas concretas sobre:
 - **Electrónica y TIC:** una «Iniciativa sobre la Electrónica Circular» alargará la vida útil de los productos y mejorará la recogida y el tratamiento de los residuos.
 - **Baterías y vehículos:** nuevo marco regulador para las baterías a fin de aumentar la sostenibilidad e impulsar el potencial de circularidad de las baterías

- **Garantizar que se produzcan menos residuos.** Se tratará de evitar los residuos en primer lugar y de transformarlos en recursos secundarios de alta calidad que se integren en un eficiente mercado de materias primas secundarias. La Comisión estudiará la posibilidad de establecer un modelo armonizado a escala de la UE de recogida separada de residuos y su etiquetado. El Plan de acción también presenta una serie de medidas para reducir al mínimo las exportaciones de residuos de la UE y hacer frente a los traslados ilícitos.

1.4 Contexto en México

De acuerdo con datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, el Instituto Federal de Telecomunicaciones y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía y la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2019 [18], en México hay 80.6 millones de usuarios de Internet, que representan el 70.1% de la población de seis años o más. Se estima en 20.1 millones el número de hogares que disponen de Internet (56.4%), ya sea mediante una conexión fija o móvil. De los 80.6 millones de usuarios de Internet de seis años o más, 51.6% son mujeres y 48.4% son hombres. Entre 2017 y 2019, los usuarios en la zona urbana pasaron de 71.2% a 76.6%, mientras que en la zona rural el incremento fue de 39.2% a 47.7% de usuarios de 6 años o más. Los tres principales medios para la conexión de usuarios a Internet en 2019 fueron: celular inteligente (Smartphone) con 95.3%; computadora portátil con 33.2%, y computadora de escritorio con 28.9 por ciento. Las principales actividades de los usuarios de Internet en 2019 correspondieron a entretenimiento (91.5%), obtención de información (90.7%) y comunicarse (90.6 por ciento).

Telefonía Celular

Según la ENDUTIH 2019, se estima que el país cuenta con 86.5 millones de usuarios de esta tecnología, lo que representa el 75.1% de la población de seis años o más. Nueve de cada diez usuarios de teléfono celular disponen de un celular inteligente

(Smartphone). La proporción de usuarios que sólo dispusieron de un celular inteligente tuvo un crecimiento de 23 puntos porcentuales entre 2015 y 2019 (65.1 contra 88.1%, respectivamente).

Computadora

El 43.0% de la población de 6 años o más es usuaria de computadora (49.4 millones). La proporción es menor en 8.3% comparada con los usuarios que había en 2015 y menor en 2.0 puntos porcentuales respecto de los registrados en 2018. La proporción de hogares que disponen de computadora registró un descenso marginal, al pasar de 44.9% en 2015 y 2018 a 44.3% en 2019, lo que significa una reducción de 0.6 puntos porcentuales.

Televisión Digital

El 92.5% de los hogares cuenta al menos con un televisor. Con respecto a 2018, se presenta una reducción de casi medio punto porcentual. Respecto del tipo de televisor disponible en los hogares, 76.5% de ellos cuentan con al menos uno de tipo digital, lo que representó un aumento de 3.6 puntos porcentuales respecto de 2018. El 96.0% de los hogares del país reciben la señal de televisión digital a partir de televisor digital, señal de televisión de paga o decodificador.

Se sabe además que debido a las restricciones de movilidad debida a la pandemia del COVID-19 una gran cantidad de dispositivos inteligentes se han vendido para reemplazar dispositivos inteligentes que la gente considera obsoletos. La mayoría de estos teléfonos no se reutilizan ni se reciclan. En este sentido en el 2020, en México se vendieron 11,8 millones de teléfonos.

La meta para el 2030 es que las empresas que desarrollan los DI logren que hasta el 99% de los materiales utilizados en los dispositivos inteligentes sean reciclables [4-8]. Que sea económicamente rentable depende de una gran cantidad de variables. Por ejemplo, parte de los plásticos de los dispositivos se utilizan como energía en las fundiciones de cobre cuando se separa el cobre de las placas de los circuitos

integrados. Para determinar mejor cómo se pueden tratar los teléfonos móviles, es necesario saber de qué materiales se componen los residuos.

Los residuos generados por los dispositivos inteligentes al final de su vida útil son variados y contienen diversos materiales como metales, plástico, silicio y vidrio. Para examinar los materiales más a fondo, en el caso de un teléfono en el próximo ejemplo se divide en componentes debido a la posibilidad de separar los componentes antes del tratamiento para una mejor reciclabilidad. A continuación, se muestra un recorrido por las composiciones de materiales de los componentes típicos de los teléfonos móviles y cómo se utilizan los materiales [19]. La figura 1 (tomada de [34]), muestra los componentes químicos de un teléfono inteligente en detalle.

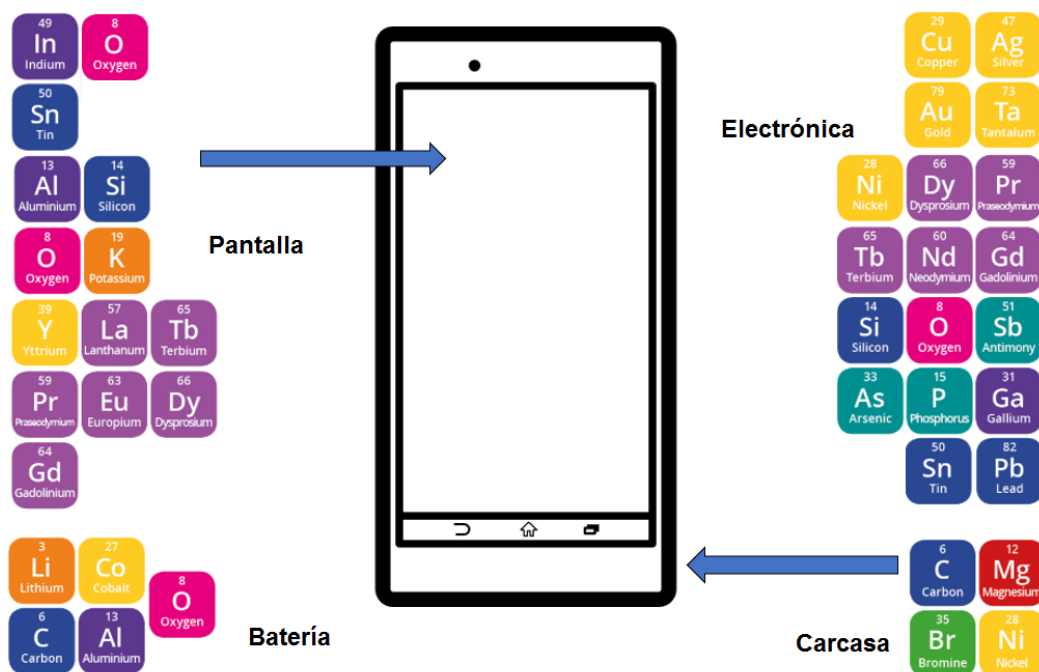


Figura 1.1. Composición química de algunos componentes de un teléfono celular.

Electrónica

La electrónica es la parte más valiosa de los dispositivos inteligentes desde el punto de vista del reciclado. El cobre se utiliza para el cableado de los teléfonos, y los metales como el oro, la plata y el cobre son los principales ingredientes de los

microcomponentes eléctricos. El tantalio también se utiliza para los micro condensadores. Se utiliza silicio puro para fabricar el chip dentro del teléfono en el que se agregan los otros elementos. El estaño y cobre se utilizan para soldar la electrónica del dispositivo.

Carcasa o Gabinetes

La carcasa de los dispositivos inteligentes generalmente está hecha de plástico, aluminio o compuestos de magnesio. Si la carcasa está fabricada con plástico, normalmente además utilizan retardantes de flamas que contiene bromo. Además, se utiliza níquel en la carcasa para reducir la interferencia electromagnética.

Batería

Casi todos los teléfonos actuales utilizan baterías de iones de litio. Las baterías de iones de litio están compuestas de óxido de cobalto de litio como electrodo positivo y de grafito como electrodo negativo. La carcasa de la batería suele estar hecha de aluminio.

Pantalla

Para permitir que las pantallas funcionen como pantalla táctil, se utiliza una película transparente de óxido de indio y estaño sobre el vidrio para conducir la electricidad. El vidrio en la mayoría de los teléfonos inteligentes es una mezcla de alúmina (Al_2O_3) y sílice (SiO_2) llamada aluminosilicato. Además, se utilizan una variedad de metales de tierras raras en pequeñas cantidades para producir colores en la pantalla.

LCD Pantalla de Cristal Liquido

Es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromáticos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.

1.5 Recolección de dispositivos inteligentes

El desecho de aparatos electrónicos, además de contaminar el agua, suelo, animales o plantas, también daña la salud pues la mayoría de los productos contienen sustancias peligrosas o metales pesados como: mercurio, plomo, cadmio, cromo, arsénico o antimonio que pueden causar daños en el cerebro, sistema nervioso, circulatorio, producir alteraciones en riñones e incluso llegar a provocar la infertilidad.

En México no existe una legislación que ordene a los distribuidores de dispositivos inteligentes que organicen la recolección de los dispositivos como si lo existe en Europa. Existen escasos puntos de recepción que generalmente no ofrecen ningún incentivo para que los consumidores reciclen sus dispositivos. En Puebla sin embargo existe un programa de “deschatarización” que depende del operador de limpia del municipio y que a través del cual, los ciudadanos pueden llamar a un teléfono para que personal de Limpia acuda a ellos para que los desechos electrónicos no se conviertan en basura.

1.6 Valor de los materiales

Los dispositivos inteligentes son cada vez más complejos y la integración de microcomponentes en menor área hacen que el total de cada metal valioso vaya disminuyendo. Debido a la complejidad de sus componentes, el dispositivo debe desmontarse para separar los componentes con la finalidad de lograr una recuperación más efectiva. Este proceso cuando se hace de forma manual puede lograr una separación precisa de los componentes.

La mayoría de los componentes y materiales se pueden reciclar, pero su valor varía mucho según el material. No todos los materiales como el vidrio y algunos plásticos se pueden reciclar, y estos generan costos para las instalaciones de reciclaje. En México una opción de reciclaje es vender los componentes más valiosos utilizando las plataformas de venta en línea con las que es posible llegar a millones de usuarios,

algunas estimaciones sobre el valor de los materiales se enumeran en la Tabla 1. para una computadora HP Pavilion y una tableta Lenovo.

Tabla 1. Precios de algunos de los componentes más valiosos de una computadora portátil HP Pavilion y una tableta Lenovo.

Hp pavilion	
Descripción del componente	Precio
Carcasa display con bisel	\$330.00
Carcasa touchpad	\$200.00
Carcasa base	\$300.00
Display ltn141wd-l05	\$700.00
Panel de teclado	\$150.00
Ventilador	\$300.00
Bateria	\$350.00
Bocinas	\$100.00
Power jack	\$250.00
Inverter	\$200.00
Cable flexible	\$250.00
Teclado	\$200.00
Total	\$3303

Lenovo Thinkpad	
Descripción del componente	Precio
Carcasa base	\$300.00
Carcasa touchpad	\$250.00
Bisagras	\$150.00
Cable flexible	\$350.00
Inverter	\$300.00
Panel de encendido	\$200.00
Boton encendido	\$200.00
Power jack	\$250.00
Bocinas	\$200.00
Teclado	\$2000.00
Total	\$ 2550.00

1.6 Valor de los teléfonos restaurados

Según el rastreador de teléfonos inteligentes restaurados de Counterpoint [20], el mercado global de teléfonos inteligentes restaurados creció un 13% en el año 2017 alcanzando casi 140 millones de unidades. En contraste con el mercado global de nuevos teléfonos inteligentes, que creció solo un 3% [20]. Sin embargo, el COVID 19 ha impactado a todos los sectores y la industria de los teléfonos inteligentes no ha estado exenta de esto. Por ejemplo, los envíos globales de teléfonos inteligentes se han reducido en un 8%. En consecuencia, una investigación de contrapunto menciona que el mercado de teléfonos inteligentes reacondicionados también cayó en 2020. El mercado global de teléfonos inteligentes reacondicionados cayó un 9% interanual en 2020. Una de las regiones en las que más afectados es América Latina con una caída individual del 24%. Los bloqueos y las restricciones económicas en la mayoría de las áreas significaron una menor afluencia de dispositivos reacondicionados. Se puede prever que a medida que la reapertura económica tome mayor énfasis esta condición haga que en el próximo año haya un repunte importante.

La desaceleración de la innovación ha hecho que los teléfonos inteligentes insignia de dos años sean comparables en diseño y características con los teléfonos de gama media más recientes. Por lo tanto, el mercado de gama media-baja para nuevos teléfonos inteligentes está siendo absorbido por teléfonos de gama alta reacondicionados, principalmente iPhone de Apple y, en menor medida, teléfonos inteligentes Samsung Galaxy.

Dado que el negocio de los teléfonos reacondicionados está creciendo, debe ser beneficioso también para las empresas dedicadas al reacondicionamiento. Analizando el historial de los precios de Amazon como se muestra más adelante en esta sección se puede ver que el valor estimado de un teléfono no restaurado de dos años de antigüedad está entre el 15 y el 20% de su valor original, según el modelo y la condición del dispositivo. La significativa caída del precio deja espacio para que las empresas de restauración ganen dinero con la reventa de los productos

La mayoría de los teléfonos restaurados vendidos son iPhone, las Figura 2.1 a 2.3 muestra la variación de precios en el tiempo de tres modelos de teléfonos renovados. Los precios que se muestran provienen de la búsqueda de información en Amazon de empresas que venden dispositivos inteligentes en línea, como se ve en la Figura 2.1, los precios caen significativamente con el tiempo, lo que hace que los modelos reacondicionados sean de interés para el consumidor. Se puede apreciar que las variaciones de precio van de los \$17,500 hasta los \$9,400 para un teléfono Iphone 11 pro de 512 GB entre los meses de Julio del 2019 y Enero del 2022.

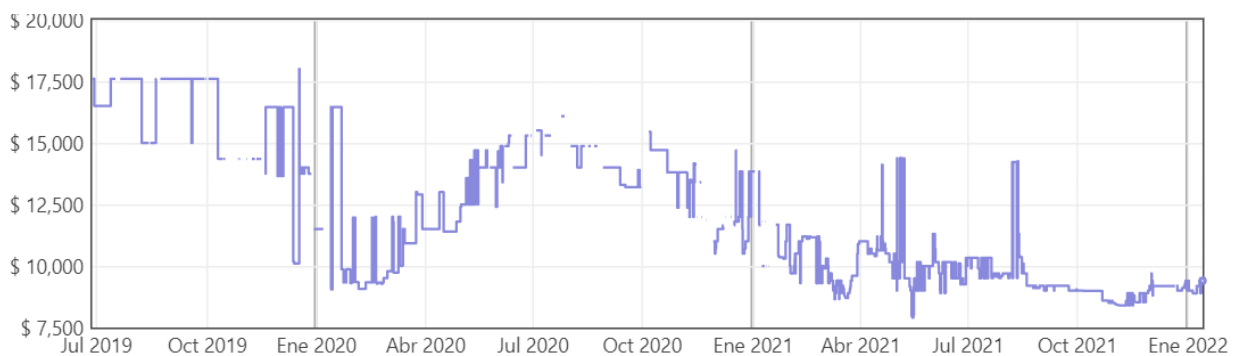


Figura 1.2. Variación del precio de un Iphone 11 Pro 512 GB renovado Febrero a Octubre 2021.

En la figura 1.3 se muestra otro ejemplo de la variación de precios de un teléfono Iphone X de 256 GB que en el mes de julio del 2019 alcanza un precio de \$17,500 y llega hasta los \$9,700 en el 13 de enero del 2022.

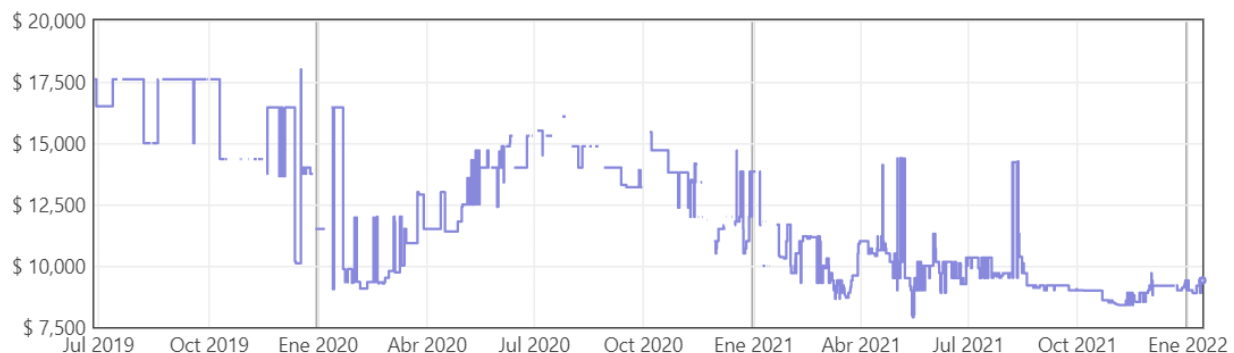


Figura 1.3. Variación del precio de un Iphone X 256 GB renovado

Finalmente, en la figura 1.4 se muestra la variación en el precio de un teléfono Iphone 8 de 64 GB renovado que van desde los \$25,000 en enero del 2019 hasta los \$5,000 en enero del 2022.

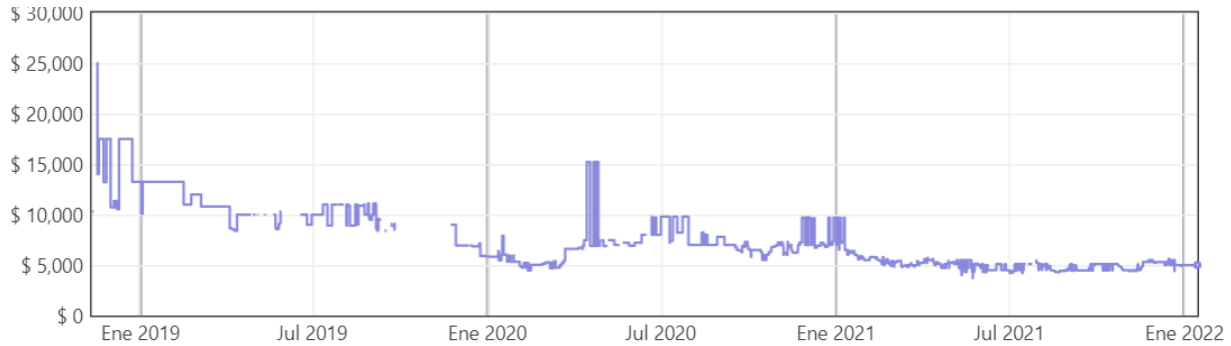


Figura 1.4. Variación del precio de un Iphone 8 64 GB renovado Febrero a Octubre 2021.

Laptops

En las figuras de la 1.5 a la 1.7 se muestran las variaciones de precios para computadoras restauradas de diferentes marcas. La figura 1.5 muestra los precios de una computadora renovada de la marca HP observe que el precio de \$11,500 incluso se ha incrementado hasta los \$12,500. Esto se puede deber a la escases de chips lo que ilustra la importancia de restaurar los equipos de cómputo.

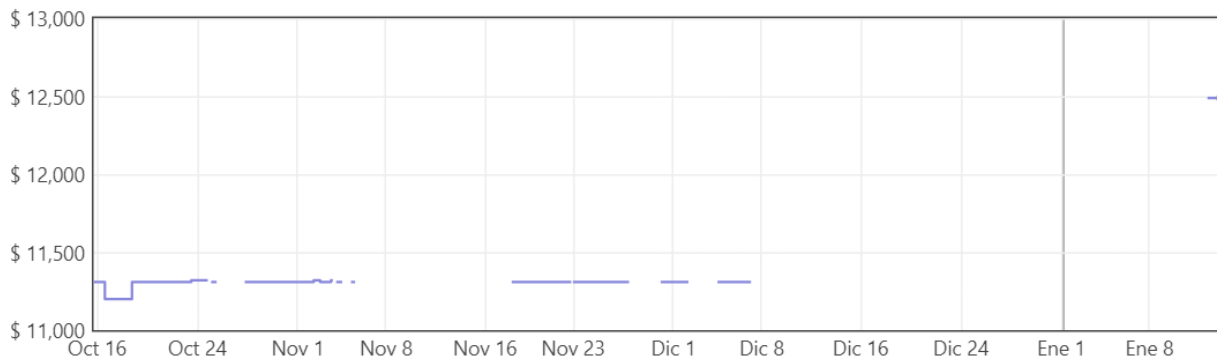


Figura 1.5. HP Pavilion 15.6" FHD 1920 x 1080 Laptop AMD Ryzen 5 4500U 8GB SDRAM 512GB SSD.

La figura 1.6 muestra las variaciones de precios de Febrero a mayo del 2021 de una computadora restaurada Dell Latitude de 14 pulgadas.

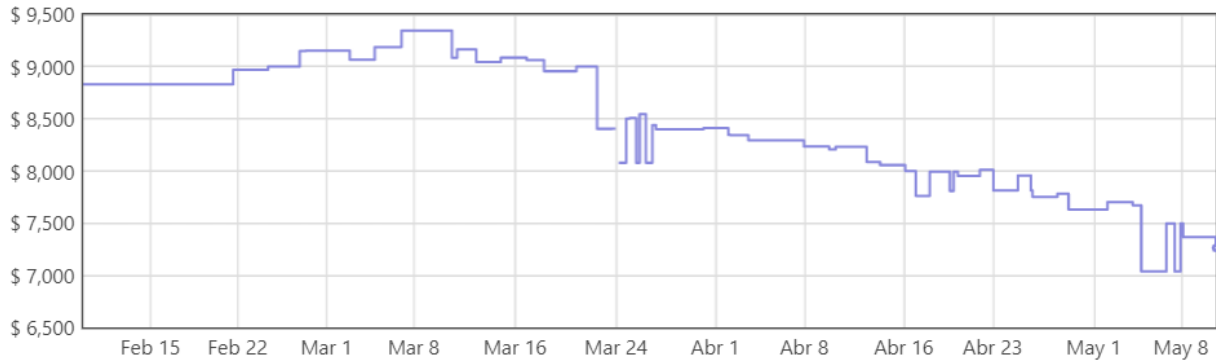


Figura 1.6. Dell Latitude 5480 14 pulgadas, Core i5-6200U 2,3 GHz, 8 GB Ram, 256 GB SSD, Windows 10 Pro 64 bits (Renewed)

La figura 1.7 muestra las variaciones de precios de mayo del 2021 a enero del 2022 de una computadora restaurada portátil HP con procesador Intel Celeron N4000 que muestra una diferencia en el precio que va de los \$8,300 a los \$6800.

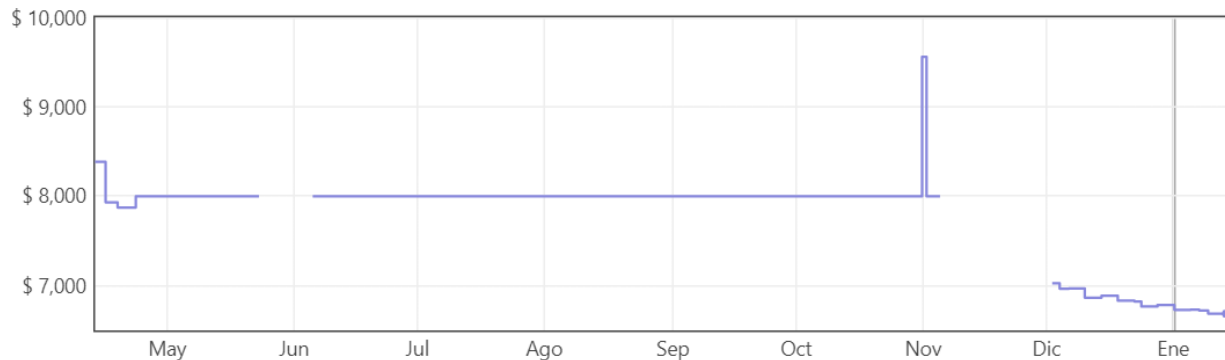


Figura 1.7. PC portátil HP Stream 14 - Intel Celeron N4000, 4 GB, 32 GB eMMC, Intel UHD Graphics 600, Windows 10 S, azul real (Renewed)

Tabletas

En las figuras 1.8, 1.9 y 1.10 se muestran las variaciones en los precios de tabletas restauradas de la marca Samsung y Apple.

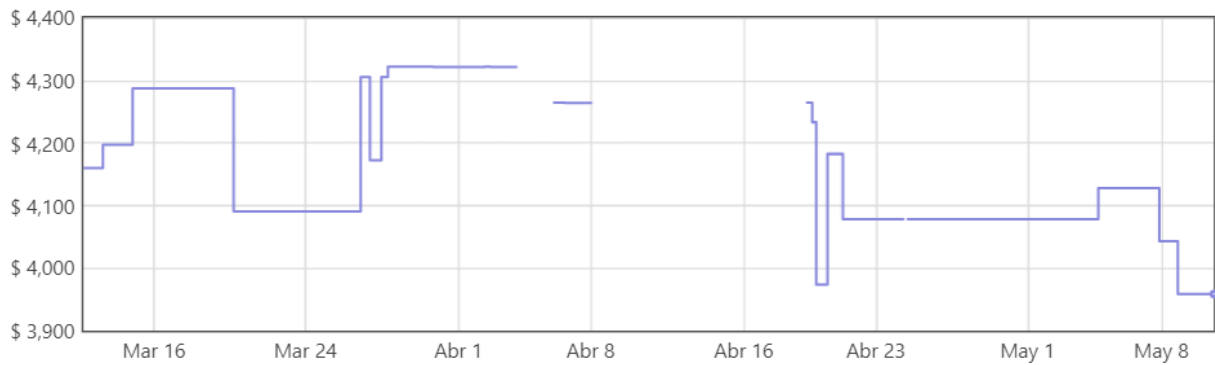


Figura 1.8. Samsung A7 Tablet 10.4 Wi-Fi 32 GB gris (Renewed)

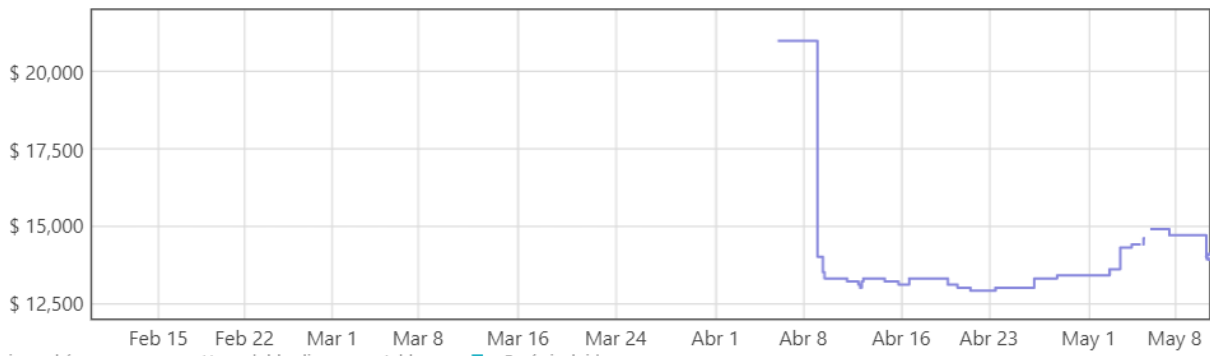


Figura 1.9 Apple iPad Pro (11-inch, Wi-Fi, 64GB) - Space Gray (2018)

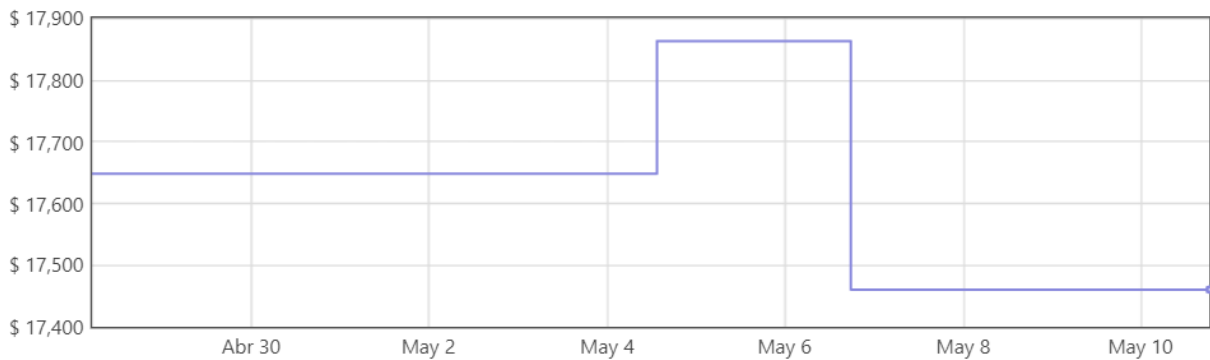


Figura 1.10. Apple iPad Pro (13 pulgadas, Wi-Fi, 512 GB) - Plata (2018) (Renovado)

Televisiones Inteligentes

En las figuras 1.11, 1.12 y 1.13 se muestran las variaciones en los precios de tres marcas diferentes de televisores restaurados.

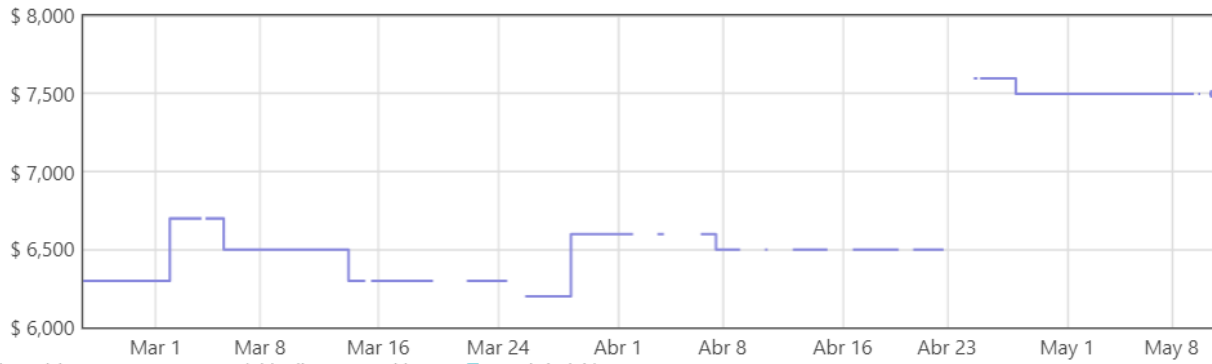


Figura 1.11 Televisión TCL SmartTV Led Roku 4K con HDR Compatible con Alexa y Google Assistant Netflix Youtube Prime Video + Aplicaciones Class S431(Renewed) (55S431/55")

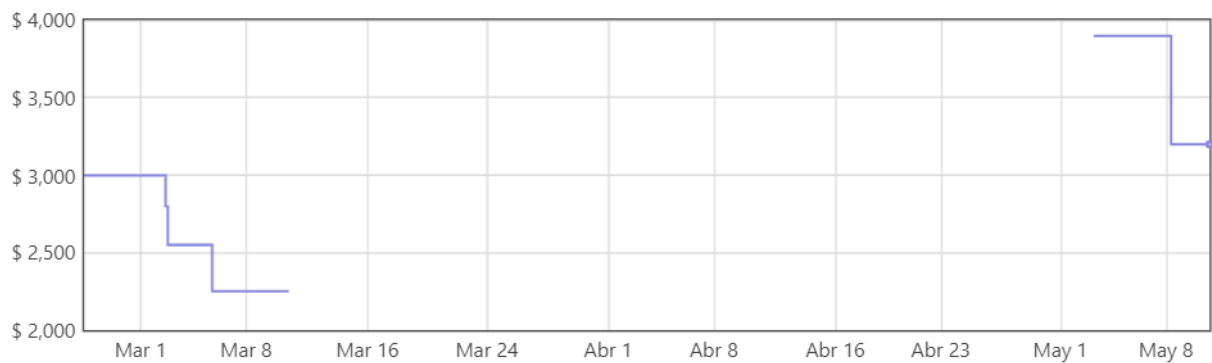


Figura 1.12. Televisión Westinghouse de 32" LED HD DVD Combo TV 81.3 cm WD32HKB1001-cr (renovado)

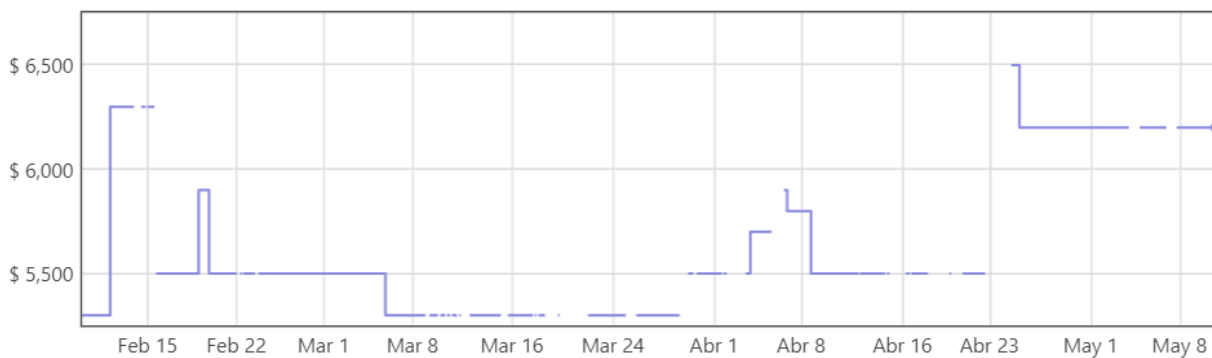


Figura 1.13. Onn 100012585 50" LED 4K UHD TV Smart W/ROKU Compatible con Alexa y Google Assistant (Renovado)

El modelo de negocio de las empresas de restauración es sencillo. Las empresas compran los teléfonos a los consumidores o, en algunos casos, a empresas de reciclaje, los reacondicionan y los venden con la esperanza de obtener ganancias.

El costo de la restauración es relativamente bajo, lo que sugiere que se hace poco o ningún trabajo para restaurar el teléfono. Normalmente, el teléfono pasa por procesos como pruebas, tratamiento cosmético básico y actualizaciones de software [21]. Dicho esto, al comparar las diferencias de precio ofrecidas al cliente que desea vender su teléfono a una empresa de restauración, la diferencia puede llegar a miles de pesos dependiendo del estado del dispositivo. Esto indica, por ejemplo, que reparar la pantalla de un dispositivo inteligente es económicamente posible y rentable.

1.7 Valor de los componentes reciclados

Muchos de los componentes de un DI basados en CPU-GPU reciclado se pueden reutilizar. Sin embargo, el componente más valioso es la placa base también llamada tarjeta madre. Las placas base se pueden reutilizar como repuesto si están intactas y no son obsoletas. Comúnmente las placas de circuitos integrados se retirarán del dispositivo, se reparan y se utilizan en el mismo dispositivo. Otras partes se reutilizan si es económicamente rentable vendiéndose en sitios de ventas en línea como mercado libre. Sin embargo, el problema de la reutilización de componentes de dispositivos inteligentes es que los componentes no se pueden reutilizar siempre ya que la tecnología avanza a un ritmo tan rápido que los componentes de hace dos años ya no son aplicables en las versiones recientes.

Por suerte, en algunos casos los componentes como las placas base se pueden utilizar como repuestos para otros dispositivos que tienen daños importantes en la carcasa o las pantallas.

1.8 Comportamiento de los usuarios

Durante el 2019, México alcanzó 86.5 millones de usuarios de comunicaciones móviles, de los que 95.3 por ciento usan Smartphone, según la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares [18].

Si bien en nuestro país ya hay 80.6 millones de usuarios de Internet y 86.5 millones de consumidores de telefonía celular, también es cierto que en las zonas urbanas el

promedio de usuarios conectados es de 76.6 por ciento y en las rurales sólo de 47.7 por ciento.

Sin embargo, lo anterior implicó un aumento ya que mientras que en el 2017 en las zonas urbanas el promedio de conectados mayores a 6 años de edad fue de 71.2 por ciento, en el 2019 aumentó a 76.6 por ciento y en las rurales de 39.2 a 47.7 por ciento.

En cuanto a hogares, la encuesta arrojó que 20.1 millones o el 56.4 por ciento tiene conectividad, ya sea mediante una conexión fija o móvil, lo que significa un incremento de 3.5 puntos porcentuales con respecto a 2018 y de 17.2 puntos porcentuales en comparación con los resultados de 2015 que fue de 39.2 por ciento.

Los tres principales medios para la conexión de usuarios a internet en 2019 fueron: celular inteligente (smartphone) con 95.3 por ciento; computadora portátil con 33.2 por ciento y computadora de escritorio con 28.9 por ciento.

Las principales actividades de los usuarios de internet en 2019 correspondieron a entretenimiento con el 91.5 por ciento, obtención de información el 90.7 por ciento y comunicarse el 90.6 por ciento, por lo que es necesario potencializar el proceso de apropiación ya que, por ejemplo, sólo el 16.8 por ciento realiza operaciones bancarias en línea y el 22.1 por ciento hace compras en línea.

Los usuarios de internet identificaron como principales problemas al conectarse a la red la lentitud en la transferencia de la información, con el 50.1 por ciento; interrupciones en el servicio un 38.6 por ciento y exceso de información no deseada un 25.5 por ciento.

Respecto de las comunicaciones móviles, los 86.5 millones de usuarios, representan el 75.1 por ciento de la población de 6 años o más, es decir, un incremento de 3.6 puntos porcentuales respecto de 2015.

Destaca que 9 de cada 10 usuarios de teléfono celular disponen de un celular inteligente (smartphone). La proporción de usuarios que sólo dispusieron de un Smartphone tuvo

un crecimiento de 23 puntos porcentuales entre 2015 y 2019, lo que implica que pasó de 65.1 a 88.1 por ciento.

Importante también es el hecho de que ha crecido el porcentaje de personas que aseguran que no desean tener celular por razones de seguridad, aunque sigue siendo bajo el porcentaje, creció de 4.9 por ciento en 2017 a 5.6 por ciento en el 2018 y a 6.7 en el 2019.

Por otro lado, el uso de las computadoras sigue a la baja, debido a que el 43 por ciento de la población de 6 años o más es usuaria de este dispositivo, o sea, 49.4 millones. La proporción es menor en 8.3 por ciento comparada con los usuarios que había en 2015 y menor en 2.0 puntos porcentuales respecto de los registrados en 2018.

La proporción de hogares que disponen de computadora registró un descenso marginal, al pasar de 44.9 en 2015 y 2018 a 44.3 por ciento en 2019, lo que significa una reducción de 0.6 puntos porcentuales.

Por otro lado, el televisor se mantiene como el bien con mayor presencia en los hogares mexicanos, al ubicarse en el 92.5 por ciento de las casas, aunque frente al 2018 representaron una reducción marginal del medio punto porcentual.

Respecto del tipo de televisor disponible en los hogares, 76.5 de ellos cuentan con al menos uno de tipo digital, lo que representó un aumento de 3.6 puntos porcentuales respecto de 2018. El 96 por ciento de los hogares del país reciben la señal de televisión digital a partir de televisor digital, señal de televisión de paga o decodificador.

Una encuesta realizada durante el transcurso de la tesis a 200 personas usuarias de teléfonos inteligentes arrojó como resultado que después de la compra de un nuevo dispositivo, la mayoría (58%) de las personas dejan su antiguo modelo sin usar como teléfono de repuesto. Las razones más comunes para mantener el teléfono de repuesto fueron la intención de mover datos del dispositivo antiguo al nuevo y la sensación de

inseguridad de que la información de los teléfonos termina en manos equivocadas. El tamaño del dispositivo también facilita su almacenamiento en casa.

En el mismo estudio se realizaron preguntas para conocer la opinión sobre el reciclaje de teléfonos móviles. Demostró que la población es consciente del daño ambiental que ocasionan los residuos de teléfonos móviles y está dispuesta a participar en programas de reciclaje. La mayoría de la población estaba dispuesta a reciclar sus teléfonos viejos y hasta un 80% estaba dispuesto a pagar más por teléfonos con componentes menos tóxicos y favorables para el medio ambiente.

Durante el desarrollo de la tesis el autor de la misma, realizó un proceso de reparación a 66 laptops de diferentes marcas como HP, Lenovo, Dell, Toshiba, Acer y Mac, de las cuales 28 requirieron reparación de batería y el resto un proceso de retrabajo que consiste en el cambio de soldadura (ver figura 1.14).



Figura 1.14 Porcentaje de Laptops por marca reparadas en el transcurso de la tesis.

En el siguiente capítulo se presenta una introducción al proceso de reparación a nivel de software y a nivel de componente de las tarjetas madre de DI.

Capítulo 2 Introducción a la reparación de DI

2.1 Problemas de software de bajo nivel

El Sistema Básico de Entrada y salida (BIOS) por sus siglas en inglés está instalado dentro de la memoria no volátil de la computadora personal (PC), y es el primer programa que se ejecuta cuando se enciende la computadora.

A diferencia de otros componentes del sistema, la tarjeta de vídeo debe funcionar desde el arranque inicial, mucho antes de que cualquier sistema operativo esté siendo cargado en la memoria RAM: en los sistemas con vídeo integrado, el BIOS de la placa base contiene las rutinas necesarias para hacer funcionar la tarjeta de video.

El propósito fundamental del BIOS es iniciar, y probar el hardware del sistema y cargar un gestor de arranque o un sistema operativo desde un dispositivo de almacenamiento de datos.

2.2 Indicadores de daño en un dispositivo con procesador

La siguiente es una lista de los problemas más comunes que presenta un dispositivo inteligente que muestra problemas en su funcionamiento.

- El dispositivo enciende, pero no termina por mostrar la pantalla de inicio del sistema operativo y se muestra siempre la misma pantalla.
- El BIOS no se ejecuta correctamente.
- El dispositivo arranca, pero durante ese proceso, se despliega una pantalla azul.
- Durante el proceso de encendido el dispositivo se apaga repentinamente.
- El sistema operativo se reinicia durante el proceso de encendido o mientras se usa la computadora.
- En la pantalla aparecen líneas horizontales o verticales.

Para identificar el o los componentes dañados o determinar si la tarjeta madre está defectuosa es necesario ir descartando que los componentes estén dañados:

Fuente de alimentación, procesador, memoria RAM, disco duro, y demás componentes (tarjeta de video, red, sonido, etc). La evaluación de estos componentes se puede realizar utilizando instrumentos de medición como el multímetro o el osciloscopio o evaluando el funcionamiento de los componentes en otro dispositivo que funciona correctamente.

Si los componentes individuales del dispositivo funcionan correctamente es muy probable que el problema se encuentra en la placa base (tarjeta madre) que alberga el procesador del dispositivo diagnosticado.

En la figura 2.1 se muestran algunos ejemplos de mensajes en la pantalla de la computadora que pueden indicar fallas importantes en los equipos.

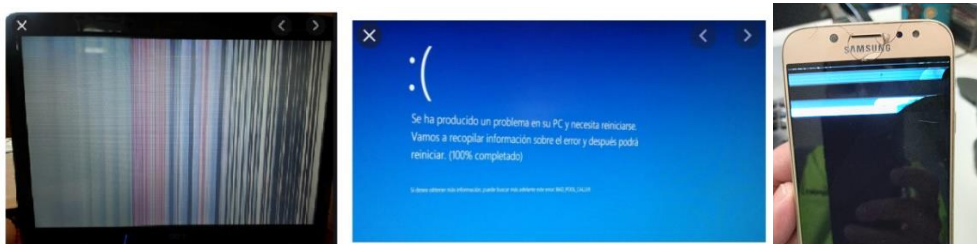


Figura 2.1: Ejemplos de información en la pantalla que se relacionan con graves problemas de funcionamiento. De izquierda a derecha: problema en la tarjeta de video o en la transmisión de datos de la tarjeta de video o la pantalla del dispositivo. Problema al cargar el sistema operativo.

2.3 Degradación de componentes electrónicos por altas temperaturas

En el año 2006 la normativa europea sobre el uso de materiales nocivos o peligrosos en la fabricación de componentes electrónicos [22], llevo a que el plomo se eliminara como aleación en el estaño utilizado para todo tipo de soldaduras, fue entonces cuando se empezó a utilizar aleación SAC (Estaño / Plata / Cobre).

Este tipo de aleación de soldadura tiene un problema importante en su *dureza* ya que cuando se expone a altas temperaturas se estresa produciendo grietas en su

compuesto lo que pueden llegar a ocasionar que las terminales dejen de hacer contacto con las pistas de la placa base, por ello todos los componentes, CPU-GPU, Southbridges, etc. que utilizan este tipo de soldadura sin plomo pueden sufrir una avería de este tipo.

Por su parte la soldadura de estaño con plomo en cambio es más blando y flexible y por lo tanto al no agrietarse es más duradero. El estaño con plomo expuesto a alta temperatura es mucho más flexible con lo cual no se agrieta y no se parte como lo hacen las aleaciones SAC sin plomo. Sabemos que los componentes expuestos en altas temperaturas se expanden con lo cual hacen tracción de las soldaduras, si estas soldaduras son duras acaban agrietándose o partiendo directamente, es como tirar de 2 extremos de una cuerda, si la cuerda es dura o es un cable acaba partiendo, pero si la cuerda es elástica o tipo goma se mantiene sin partir.

2.4 Pasos de un proceso de reparación a nivel de componente

La siguiente es una lista de los problemas que deben identificarse para diagnosticar un problema a nivel de los componentes del dispositivo inteligente.

- Revisar si el dispositivo tiene golpes evidentes esto puede ayudar a identificar componentes o cables dañados en áreas específicas.
- Comprobar que no hay falso contactos con alguno de los soportes sujetadores de la tarjeta madre que impida su funcionamiento normal.
- Inspeccionar y agitar la tarjeta madre para asegurarte que no existe algún objeto metálico suelto (tornillo, rondana, tuerca.) sobre o por debajo de la tarjeta madre.
- Revisar cuidadosamente las tarjetas de expansión para asegurar que ninguna tenga los conectores metálicos doblados o desprendidos que pueda estar provocando un corto circuito.
- Buscar en la placa base algún pin doblado que pueda estar ocasionando algún corto circuito y si lo hay enderezarlo con unas pinzas.

- Revisar si existe evidencia de derrames de líquidos en el PCB, se pueden buscar áreas con óxido en la tarjeta base.
- Revisar la placa base en busca de partes oxidadas o negras y limpiarlas.
- Verificar que el voltaje es el correcto para el tipo de dispositivo inteligente que se está diagnosticando.
- Retirar todas las tarjetas, a excepción de la de video.
- Desconectar todos los cables que van a las unidades de disco, y solo conectar los cables de energía a la tarjeta madre, la bocina, reinsertar la memoria RAM, y la tarjeta de video y encender el equipo para ver si funciona.
- Revisar que el conector del monitor no tenga doblados ningún pin.
- Reinsertar o reemplazar la memoria RAM.
- Revisar que la placa base o (Motherboard) no tenga dilatado algún capacitor.
- Probar con otra placa de video.
- Probar el procesador y la memoria en otro sistema.
- Probar con otra fuente (preferentemente de mayor potencia).
- Probar con otra memoria RAM.
- Probar con otro disco rígido que la computadora funcione correctamente.

2.5 Componentes que deben revisarse en la placa base

Para identificar la necesidad de reparar una tarjeta de circuitos integrados es necesario hacer una revisión detallada del PCB en especial analizar microcomponentes básicos:

- Capacitores: Estos son los microcomponentes que más se dañan, se ven dilatados cuando el equipo ha sufrido una sobre carga de energía o es evidente que se ha derramado algún líquido en la placa. Los capacitores tienen la función de eliminar la interferencia entre los circuitos electrónicos. Reemplazarlos, ya sea los que se identifican con problemas o todos los capacitores cercanos a un capacitor dañado para evitar futuros problemas a corto plazo.

- Resistencias: Con un multímetro y la placa base energizada, revisar la continuidad de cada una para verificar su buen funcionamiento.
- Transistores: Cuando se dañan, derraman un metal parecido al estaño que puede observarse en la placa base. Para cambiar los transistores de montaje superficial dañados se requieren herramientas especializadas. Los transistores se utilizan para para controlar el flujo de corriente eléctrica o para amplificar las señales.
- Diodos: Utilizando un multímetro se puede medir si tienen continuidad en caso contrario deben reemplazarse. Los diodos convierten la corriente alterna en corriente directa.

Si después de revisar estos cuatro microcomponentes se descubre que se encuentran en buen estado, se realiza una inspección visual detallada utilizando un microscopio:

Se buscan regiones del PCB en donde existan:

Daño físico en las pistas, decoloración del cobre, pistas defectuosas por rayones, defectos de pines, exposición de cobre, pistas con impurezas, componentes de montaje superficial dañados o quemados, está más que claro que el problema es la placa madre defectuosa, en este caso se requiere un proceso particular de reparación. Mismos que se describen en la siguiente sección.

2.6 El proceso de restauración por el método de retrabajo

Los dispositivos inteligentes que tienen falla en el chip gráfico GPU presentan alguno de estos problemas: encender, pero permanecer en negro, mostrar rayas en pantalla o la imposibilidad de configurar la tarjeta gráfica.

Para restaurar el equipo es necesario cambiar la soldadura dañada del chip, esta técnica se denomina cambio de esferas de soldadura (retrabajo). Consiste en calentar con aire o luz infrarroja el chip gráfico para poder extraerlo, limpiarlo de aleación SAC defectuosa, *colocar las bolas nuevas de aleación SAC* o con plomo (Dependiendo del

chip y placa base) y volver a soldar. En la figura 2.2 se muestra un chip visto en la que se muestran las esferas de soldadura de un chip de video.

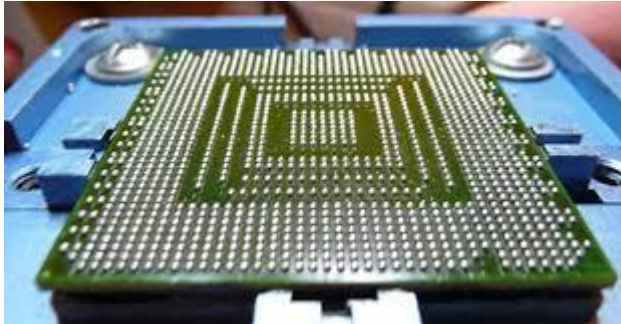


Figura 2.2 Bolas de soldadura de un chip de video

Retrabajo es una técnica avanzada desarrollada para dispositivos soldados con tecnología BGA (Ball Grid Array) que consiste en retirar el componente de la tarjeta donde ha sido soldado, reemplazar sus esferas de soldadura y efectuar nuevamente el proceso de soldado del componente manteniendo el control estricto del perfil de temperatura recomendado por el fabricante del chip [23]. Usualmente este procedimiento se utiliza cuando se ha detectado el mal funcionamiento del componente por microfracturas en sus esferas de soldadura. La siguiente figura 2.2 ilustra este tipo de falla.



Figura 2.2 Falla de un procesador con fallas en la soldadura.

2.7 Variantes de BGA

Existen seis variantes de paquetes con soldadura BGA [25].

Plastic BGA -388-



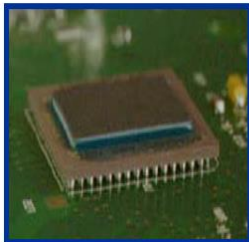
Super BGA -596-



Tab BGA -736-



BGA -Cerámico-



BGA -Cerámico-



BGA -Metálico-



Figura 2.3 Variantes de arreglos de bolitas.

Ball Grid Array (BGA)

- Cápsula Plástica (PBGA). Encapsulado sellado con plástico. Es el más popular. Distancia de centro a centro de 1, 1,27 o 1,5 mm.
- Cápsula Cerámica (CBGA) Para aplicaciones de alta temperatura
- Cápsula Cerámica con Columnas (CCGA)
- Cápsula Metálica (MBGA/SBGA) Características térmicas y eléctricas mejoradas. Alta potencia de disipación.
- Chip Scale Package o Micro BGA (CSP)
- Micro Lead Frame (MLF) Flip Chip (FP)

Existen diferencias importantes entre ensambles. Por ejemplo, entre ensambles PBGA y CCGA, la confiabilidad del ensamblaje CCGA / CBGA se ve significativamente afectada por la cantidad de volumen de soldadura. De hecho, el volumen de soldadura es la variable de proceso más importante que afecta la confiabilidad de los CCGA /

CBGA. Por esta razón es importante revisar el tipo de montaje ya que esto determina el tipo de soldadura y la cantidad que será utilizada en el proceso de restauración.

2.8 Características físicas de un BGA típico

La figura 2.4 muestra algunas características físicas entre dos tipos de componentes BGA

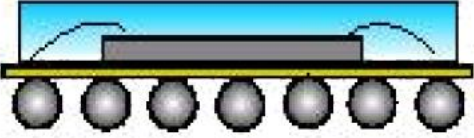
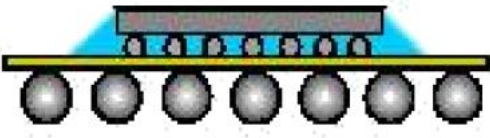
Plastic Over-Molded	Epoxy Under-filled (Glob Top)
	
<p>*Paso entre bolitas (Pitch): 0.3mm–1.5mm</p>	<p>*Diámetro de la bolita: 0.25mm–1.05mm</p>

Figura 2.4 Características físicas de un BGA típico

2.9 Procedimiento básico para remover o instalar un BGA

- Remover el componente
- Limpiar el lugar que ocupa en la tarjeta madre
- Colocar el componente
- Volver a soldar el componente aplicando calor
- Inspección

Remover el componente BGA mediante método conductivo.

En la práctica todos los circuitos integrados soldados con tecnología BGA/CSP pueden ser retrabajados usando herramientas conductivas para transferir la temperatura.

Algunos dispositivos diseñados para remover los circuitos integrados cuentan con una bomba de vacío que, a través de una goma, cuando se alcanza la temperatura necesaria, funciona como una ventosa y levantará el componente (ver figura 2.5a). Para otros componentes como resistencias, diodos y capacitores de la tarjeta madre se puede usar un proceso manual con una pistola de aire caliente y una pinza (ver figura 2b).



Figura 2.5 a) Equipo para remover circuitos integrados de la tarjeta madre. b) Remoción manual de una resistencia.

El proceso de remover componentes requiere proteger las áreas restantes de la tarjeta madre para esto se pueden cubrir con papel aluminio las áreas que se desean proteger. En la figura 2.6 Se pueden ver las principales herramientas utilizadas para realizar un proceso de retrabajo.



Figura 2.5 a) Herramientas más útiles para el proceso de retrabajo. Estación de precalentamiento infrarrojo. Estación de soldadura para reparación de BGA. Pistola de aire caliente. Multímetro digital.

Capítulo 3 Método de retrabajo de un arreglo de bolas de soldadura

Este capítulo proporciona una breve descripción de los pasos para cambiar la soldadura de los chips soldados con tecnología BGA.

3.1 Beneficios de los BGA

Las empresas líderes en la industria de circuitos microelectrónicos utilizados en los dispositivos inteligentes están interesadas permanentemente en desarrollar su capacidad para ofrecer cada vez productos más miniaturizados a menor costo. Los chips BGA logran este objetivo al proporcionar una mayor funcionalidad para el mismo tamaño de chip.

Algunos otros beneficios de usar la tecnología BGA en los circuitos electrónicos sobre otras tecnologías similares incluyen [27]:

1. Uso eficiente del espacio en la placa de componentes electrónicos.
2. Rendimiento térmico y eléctrico mejorado. Los BGA pueden ofrecer planos de potencia y de tierra para bajas inductancias y trazas de impedancia controladas para señales.
3. Rendimientos mejorados de montaje en superficie en comparación con paquetes similares con plomo de paso fino.
4. Espesor de paquete reducido.

5. Costo de propiedad potencialmente más bajo en comparación con los paquetes con plomo en virtud de su reelaboración

3.2 Recomendaciones del ensamble

El proceso del ensamblaje de montaje en superficie BGA incluye los siguientes pasos:

- Limpieza de residuos por reflujo y soldadura previa
- Identificar la placa apropiada del PCB
- Serigrafía de las bolas de pasta de soldadura en el PCB
- Monitoreo del volumen de la pasta de soldadura (uniformidad) y espacios vacíos
- Colocación del paquete utilizando la colocación estándar de la tecnología de montaje superficial (SMT)
- Inspección visual utilizando un microscopio óptico antes del reflujo para verificar la ubicación, precisión y otros defectos de la pasta de soldadura

3.3 Reflujo

El BGA se puede ensamblar usando radiación infraroja (IR) estándar o procesos de convección de reflujo (IR SMT) por sus siglas en inglés. Al igual que con otros paquetes, se debe determinar el perfil térmico para placas específicas. La tecnología de montaje BGA está fabricado para soportar hasta tres ciclos de reflujo con máximos de temperatura de 225 ° C. La temperatura real utilizada en el horno de reflujo es una función de:

- Densidad del tablero
- Geometrías de tablero
- Ubicación de los componentes en la placa
- Tamaño de los componentes circundantes

- Masa del componente
- Carga del horno
- Acabado del tablero
- Tipos de pasta de soldadura

Se recomienda validar el perfil de temperatura en la ubicación de la bola del BGA, así como en varias otras ubicaciones en la superficie de la PCB.



Figura 3.1. Perfil de temperatura de reflujo para un chip con tecnología GPU

En esta etapa lo importante es como el sistema de transmisión de calor controla la temperatura aplicada. En el ciclo térmico que se muestra en la figura 3.1 que representa el perfil de temperatura típico para un chip de video, se pueden distinguir las etapas de precalentamiento, estabilización, refusión de estaño y enfriamiento. El proceso completo se llama reflujo [29].

3.4 Reemplazo y reparación

La eliminación de paquetes BGA implica calentar las juntas de soldadura por encima de la temperatura líquida de la soldadura y recuperar el chip de la PCB cuando la soldadura se derrita. La calidad del retrabajo se controla dirigiendo la energía térmica a la soldadura procurando no sobrecalentar los componentes adyacentes.

El calentamiento debe ocurrir en un encapsulado, inerte, purgado de gas ambiente donde los gradientes de temperatura no exceden $\pm 5 \text{ }^\circ \text{C}$ a través de la zona de calentamiento usando un fondo convectivo precalentador lateral para maximizar la uniformidad de temperatura. Si es posible, el área de PCB debe precalentarse por la parte inferior del tablero, a $100 \text{ }^\circ \text{C}$ antes de calentar el BGA para asegurar un proceso controlado. Boquillas intercambiables diseñadas con diferentes geometrías se adaptan a diferentes componentes para dirigir la trayectoria del flujo de aire. Una vez que la temperatura que hace líquida la soldadura se alcanza, el vacío de la boquilla se activa automáticamente y se quita el componente.

3.5 Preparación del sitio

Una vez que se retira el BGA, el sitio debe limpiarse en preparación para fijar el nuevo paquete de soldadura. Los mejores resultados se logran con una herramienta conductora tipo cuchilla de baja temperatura haciendo coincidir el área de la huella del BGA junto con una trenza desoldadora. No es necesario dejar completamente limpia el área retrabajo. Se debe tener cuidado para evitar quemaduras, despegue o daño del área de fijación de la PCB.

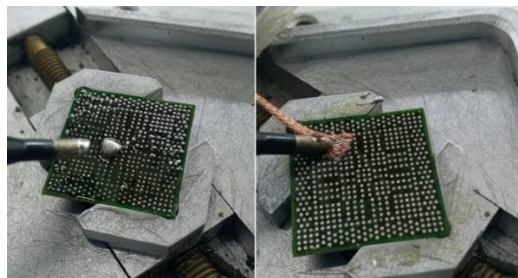


Figura 3.2 Proceso de limpieza del chip y área de soldadura de la tarjeta madre.

3.6 Colocación de componentes

La mayoría de las estaciones de retrabajo BGA tendrán una función de selección y colocación para una colocación y alineación precisas. Debe evitarse intentar hacer la alineación manual utilizando la coordinación ojo mano. Se requiere una colocación constante y precisa de los componentes electrónicos en el PCB. En la figura 3.3 se muestran los pasos del montaje de soldadura en un chip.



Figura 3.3. El proceso de colocado del arreglo de bolas de nueva soldadura

3.8 Problemas de puentes de soldadura: causas y recomendaciones

Uno de los problemas frecuentes es que debido al sobrecalentamiento de los equipos se generan puentes de soldadura que conecta incorrectamente dos o más conexiones adyacentes que entran en contacto para formar una ruta conductora que puede generar cortos circuitos o impedir el adecuado funcionamiento de los chips. Los puentes pueden deberse a problemas en varios puntos del proceso de montaje.



Figura 3.4 Estación de trabajo para evaluar las conexiones de las terminales de un chip

3.8.1 Problemas de derramar líquidos en los PCBs

Cuando se derrama un líquido en un aparato que está en funcionamiento este actúa como conductor y forma puentes que suelen causar cortos circuitos en las PCBs.

Para resolver este problema se debe secar la superficie del PCB y se retira el óxido y la soldadura de los puentes que se hayan formado.

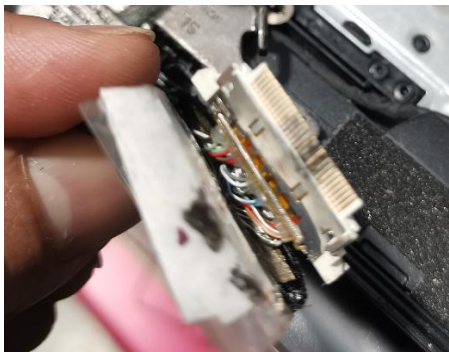


Figura 3.5 Imagen representativa de problemas de óxido antes de ser eliminado.

3.8.2 Problemas de la pasta para soldadura

La pasta de soldadura puede causar defectos en la calidad de la soldadura final, puede ser el resultado de un fenómeno de pasta seca, que conduce a una forma de impresión irregular y un volumen de impresión inconsistente. Se debe verificar que la pasta de soldadura no esté vencida, que las temperaturas de funcionamiento estén dentro de las recomendaciones del proveedor y que la temperatura de la impresora sea de alrededor de 25 ° C al 50% de humedad relativa (RH). No se debe mezclar pasta nueva con pasta vieja porque esto altera sus propiedades. Las temperaturas de funcionamiento fuera de las especificaciones también pueden hacer que incluso la pasta en buen estado se salga de las conexiones, lo que puede causar conexiones con las terminales adyacentes.

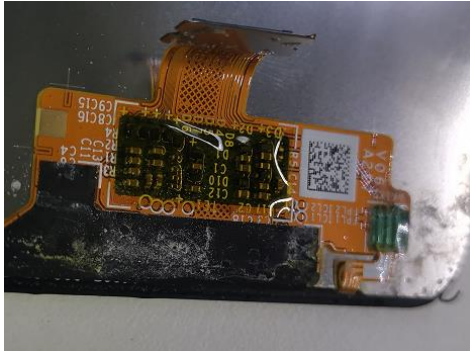


Figura 3.6. Ejemplo de problemas de soldadura

3.9 Exceso de soldadura

El exceso de soldadura durante su colocación reducirá el espacio entre las almohadillas, aumentando la posibilidad de que se formen puentes. Es importante verificar la cantidad de soldadura y eliminar el excedente para cada chip retrabajado.

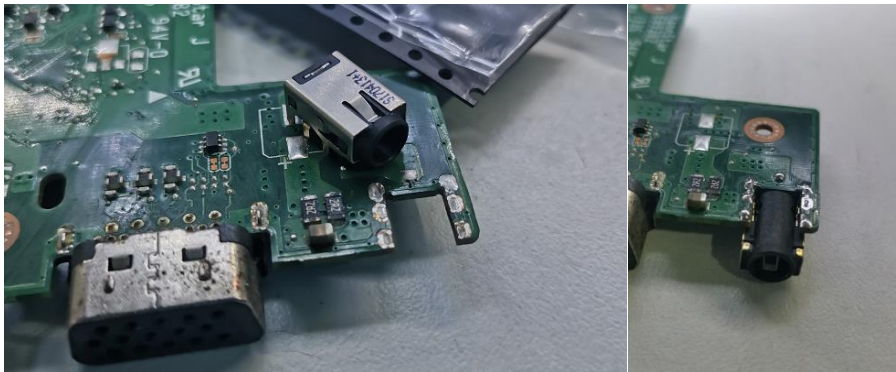


Figura 3.6. Ejemplo de cambio de conectores de energía en tarjetas principales de laptop

La presión de colocación excesiva de los componentes exprimirá la pasta de las conexiones. Verifique la altura real del componente con los datos ingresados en la máquina si esto ocurre. La altura de colocación de los componentes debe ser $\pm 1/3$ de la altura de la pasta.

Capítulo 4 Resultados

Las pruebas fueron realizadas utilizando los siguientes materiales y equipo.

Limpiador

Limpiador de uso general para eliminar la contaminación.

Cepillos de limpieza

Cepillos desechables para uso con disolventes para limpieza y aplicación de recubrimientos.

Trenza Desoldadora

Trenza desoldadora de alambre de cobre tejido diseñado para absorber la soldadura de superficies y agujeros.

Hisopo de espuma

Ideal para absorber solventes de limpieza y aplicar agentes de color y epoxis.

Guantes

Guantes desechables resistentes a los pinchazos diseñados para manipular productos químicos suaves.

Microscopio

Microscopio de precisión con soporte e iluminación para trabajo e inspección.

Horno de convección de pasta de soldadura

Horno de reflujo pequeño para reflujo de soldadura controlado.

Gafas de seguridad

Protección para los ojos y la visión con gafas de seguridad adecuadas.

Pasta para soldadura

Utilizada para preparar superficies de soldadura y para evitar la formación de óxidos durante la soldadura.

Esferas de soldadura

Bolas de soldadura o esferas para reballing y retrabajo de componentes BGA.

Soldador de hierro

Soldador en buen estado y puntas de soldador del tamaño adecuado.

Pinzas, punta puntiaguda

Pinzas de punta fina para trabajos de precisión.

Toallitas

Toallitas no abrasivas que desprenden pelusa para la limpieza.

4.1 Reparación de un chip de video

En el primer experimento se muestra la extracción de un CHIP BGA de video (ver figura 4.1). A continuación, se muestran los pasos necesarios para hacer un proceso de restauración del chip de video mediante el procedimiento de retrabajo.

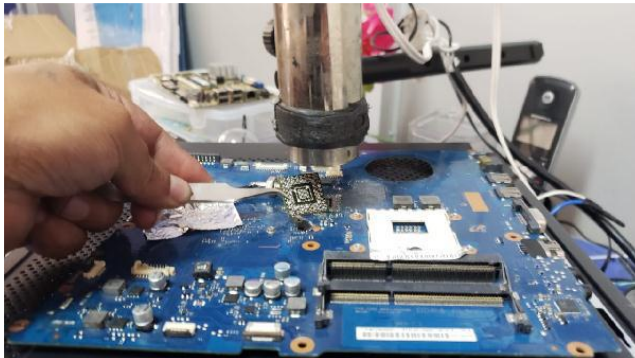


Figura 4.1. Inicio del proceso de extracción de un chip BGA.

Extracción del chip de la tarjeta PCB

En la figura 4.1 se muestra que para extraer un chip BGA es necesario cubrir con papel aluminio los elementos electrónicos que están próximos al chip que será extraído. Para extraer el chip responsable de realizar los cálculos asociados a las gráficas de la computadora se utilizó un sistema de soldadura de estación de retrabajo BGA por infrarrojos de aire caliente (ver figura 4.1).

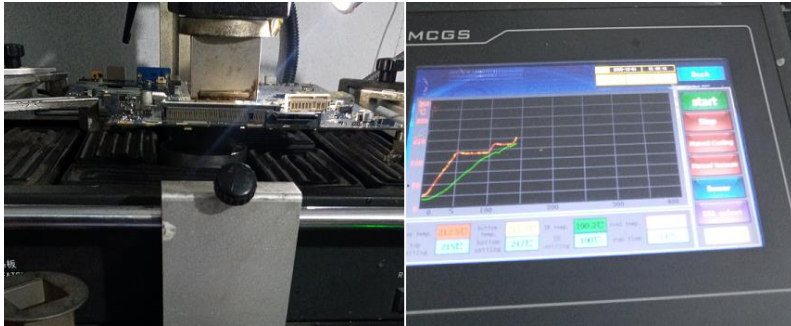


Figura 4.1. Transferencia de calor por convección para extraer el chip.

Limpieza

Una vez extraído el chip se hace una limpieza de la tarjeta PCB y el chip que ha sido extraído. Este paso se puede ver en la figura 4.2. para la limpieza del chip de video y la placa se utilizó malla desoldante. En el caso de los chips gráficos de las computadoras, laptops, y tabletas se puede utilizar el mismo chip ya que están diseñados para soportar hasta tres procesos de reballing. Esta situación se ha verificado experimentalmente después de decenas de equipos reparados durante la realización de la tesis.

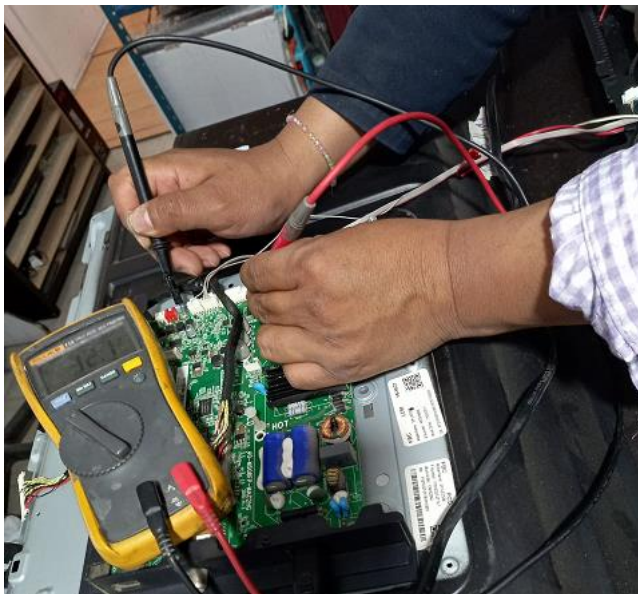


Figura 4.2. Revisión de la tarjeta madre y del chip de video.

Fusión del nuevo estaño al chip gráfico

Con el chip de video limpio, se colocan las nuevas BGAs al y se fusionan ligeramente como se observa en la figura 4.3.

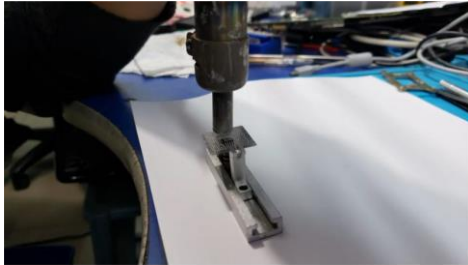


Figura 4.3. Fusión del estaño nuevo al chip de video utilizando aire caliente.

Inserción del chip al PCB

El proceso de fusión del chip de video con tecnología GPU a la tarjeta madre se realiza utilizando un sistema profesional de soldadura por transferencia de calor.



Figura 4.4. Fusión del estaño nuevo al chip de video.

Al final el proceso de fusión se obtiene la tarjeta madre fundida con el chip de video. Para validar que el proceso funciona se alimenta la tarjeta madre, se conecta a un monitor y se verifica que existe señal de video.

4.2 Restauración de un teléfono celular

Entre las causas más comunes que provocan fallas en los circuitos electrónicos de un celular se encuentran las caídas repetidas de los dispositivos, el derrame de líquidos, y las sobrecargas de corriente eléctrica.

Detección de fallas

Existen dos pruebas estandarizadas para detectar problemas en los circuitos integrados de un teléfono celular. La prueba desconectada y la prueba conectada.

La prueba equipo desconectado

La prueba de equipo desconectado utiliza un multímetro para verificar la integridad de resistencias, capacitores y transistores al momento de reparar una falla en un teléfono móvil. Durante las pruebas, no se enciende el teléfono. Se utiliza el rango de diodos y el sonido del multímetro para encontrar fallas en el teléfono móvil. Durante la prueba sin conexión, se conecta la terminal roja del multímetro a la tierra de la PCB del teléfono móvil y se usa la sonda negra para tocar los puntos de prueba del teléfono móvil.

La prueba equipo conectado

La prueba del equipo conectado se adopta cuando no se puede encontrar la falla o cuando el teléfono celular no se puede reparar usando el método de prueba desconectado. En este método, se comprueba el voltaje de la pieza o componente dañado. La falla se encuentra alimentando el teléfono móvil con una batería que tiene una fuente de alimentación de corriente continua. Una vez que encienda el teléfono, debe seleccionar el rango (DC Volt) del multímetro. Luego, debe conectar la punta negra del multímetro a la tierra de la tarjeta madre del teléfono y asegurarse de que la punta roja toque los puntos de prueba. Durante la prueba equipo conectado, el voltaje de diferentes partes o secciones debe ser entre .2 y 3 volts.

Prueba de temperatura

En esta tesis cuando aplicando los dos procedimientos anteriores no permiten identificar la falla se utiliza un tercer método para detectar los circuitos integrados dañados se puede alimentar la tarjeta madre con la corriente directa adecuada para el dispositivo y se utilizan sensores de temperatura para detectar la región de la tarjeta

que aumenta significativamente su temperatura. Esta prueba se puede realizar durante 1 a 3 segundos.



Figura 4.5 revisión de la temperatura de un componente.

Una vez detectado el componente con fallas de funcionamiento se puede analizar el PCB para obtener las especificaciones técnicas de la soldadura utilizada por el chip que presenta fallas. En la figura 4.5 se muestra el diagrama del PCB de un teléfono Samsung s7 edge.

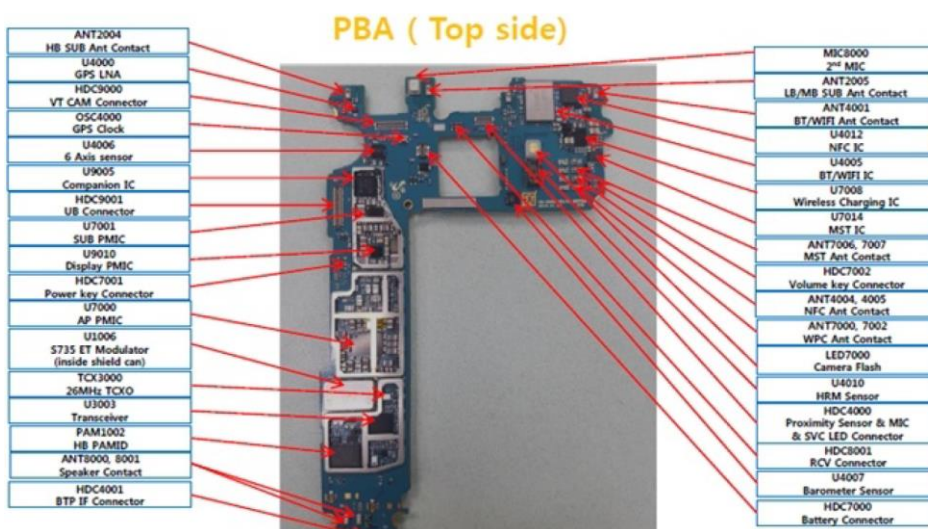


FIGURA 4.5. EL PCB DE UN TELÉFONO SAMSUNG S7 EDGE.

Los siguientes son los problemas de hardware más comunes en un teléfono inteligente:

- Fallos y problemas de carga de la batería.
- Problema de red que no funciona
- La red no funciona correctamente.
- Problema de sobrecalentamiento.
- Fallas de sonido.
- Problemas visualización en la pantalla.
- Problemas con la pantalla táctil

El proceso de reparación de tabletas es similar al de teléfonos celulares. Para restaurar el funcionamiento de un teléfono celular se puede verificar el voltaje en los microcomponentes o hacer un proceso de retrabajo del circuito integrado asociado al problema. El problema de sobre calentamiento puede ser porque el usuario ejecuta múltiples aplicaciones al mismo tiempo o por fallas internas de los componentes la solución va desde hacer un retrabajo al componente hasta su cambio. La solución para el problema de visualización va desde limpiar la tarjeta base cuando se derraman líquidos hasta su cambio o retrabajo del chip de video o del CPU del dispositivo y la verificación de los cables flexibles que conectan la tarjeta madre y el chip de video.

Conclusiones y trabajo futuro

En este trabajo de tesis se han presentado procedimientos de diagnóstico y reparación de dispositivos inteligentes basados en tecnologías CPU-GPU desde el nivel software hasta la restauración de los componentes microelectrónicos cuando estos presentan fallas por motivos que van desde el derramamiento de líquidos hasta el sobrecalentamiento de los componentes que provocan fracturas en la soldadura. En estos casos el proceso de retrabajo puede alargar drásticamente el uso de los dispositivos inteligentes cumpliendo la meta que proponen los mismos fabricantes de que sus dispositivos pueden durar hasta 8 años lo que además puede traducirse en un consumo más sustentable de los dispositivos inteligentes.

La puesta en marcha del método de diagnóstico y reparación permiten reparar fallas a nivel de componentes del 90% de los dispositivos inteligentes (laptops, móviles, y tabletas).

Además, se describió el ciclo de vida de los dispositivos inteligentes que hacen evidentes algunas de las oportunidades económicas que ofrecen la restauración y el reciclado de este tipo de dispositivos.

Como trabajo futuro sería interesante estudiar técnicas avanzadas de visualización de la soldadura después del proceso de retrabajo para verificar la calidad de la soldadura. Además, de hacer un seguimiento mediante encuestas sobre la durabilidad de los procesos de reparación y restauración de los equipos electrónicos. Además, se puede estudiar el papel de la restauración de componentes desde la perspectiva del análisis forense de datos.

El uso sostenible de la tecnología requiere que todas las personas involucradas en el uso de dispositivos inteligentes estén al tanto de las posibilidades que ofrece las técnicas de reparación de estos dispositivos para prolongar su uso siguiendo buenas prácticas de mantenimiento y reparación de los equipos.

Bibliografía

- [1] Kamilaris, A. et al., Advances and New Trends in Environmental Informatics Digital Twins for Sustainability 2021 pp 297-213.
- [2] Iniciativa de sostenibilidad global habilitante (GESI), 'Hacia un mundo más inteligente y sostenible con soluciones digitales en su centro,' mayo, 2021, <http://www.gesi.org/>
- [3] Vanessa Forti, Cornelis Peter Baldé, Ruediger Kuehr, Garam Bel, The Global E-waste Monitor 2020', ONU.
- [4] Lenovo, Environmental, Social and Governance Report 2019-2020.
https://investor.lenovo.com/en/sustainability/sustainability_reports.php
- [5] HP Sustainable impact report 2019, <https://www8.hp.com/h20195/v2/GetPDF.aspx/c06601778.pdf>
- [6] Sony Sustainability Report,
https://www.sony.com/en/SonyInfo/csr/library/reports/SustainabilityReport2020_E.pdf
- [7] Apple Product's environmental report card <https://www.apple.com/environment/>
- [8] Samsung Electronics Sustainability report 2020,
<https://www.samsung.com/us/aboutsamsung/sustainability/strategy/>.
- [9] Franze, J., Citroth, A. Social and environmental LCA of an ecolabeled notebook, presentation, LCM 2011 Berlin, 28-31 Aug 2011.
- [10] K., RZESIK-WOJTYSIAK, K., & KUKLIŃSKI, G. Screening life cycle assessment of a laptop used in Poland. Environment Protection Engineering. Advance online publication. 2013.
- [11] Ercan, M., Malmmodin, J., Bergmark, P., Kimfalk, E., & Nilsson, E. Life Cycle Assessment of a Smartphone. In Proceedings of ICT for Sustainability 2016. Paris, France: Atlantis Press. 2016.
- [12] Prakash, S., Köhler, A., Liu, R., Stobbe, L., Proske, M., & Schischke, K. Paradigm Shift in Green IT—Extending the Life-Times of Computers in the Public Authorities in Germany. In Electronics Goes Green 2016+ (EGG), Berlin. 2016.
- [13] Andrae, A. S. G., & Vaija, M. S. Life cycle assessment of an optical network terminal and a tablet: experiences of the product environmental footprint methodology. Advances in Environmental Research. 2017.
- [14] André, H., Söderman, M. L., & Nordelöf, A. Resource and environmental impacts of using secondhand laptop computers: A case study of commercial reuse. Waste Management. (88), 268–279. 2019.
- [15] Bhakar, V., Agur, A., Digalwar, A. K., & Sangwan, K. S. Life Cycle Assessment of CRT, LCD and LED Monitors. The 22nd CIRP conference on Life Cycle Engineering. (15), 432–437. 2015.
- [16] eWaste in Latin America Statistical analysis and policy recommendations NOVEMBER 2015.
- [17] Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. México, 2015.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131748/23_LEY_GENERAL_PARA_LA_PREVENCI_N_Y_GESTI_N_INTEGRAL_DE_LOS_RESIDUOS.pdf.
- [18] Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2019. <https://www.inegi.org.mx/programas/dutih/2019/>
- [19] Annamalai M, Gurumurthy K. Characterization of end-of-life mobile phone printed circuit boards for its elemental composition and beneficiation analysis. J Air Waste Manag Assoc. 2021 Mar;71(3):315-327. 2021.
- [20] Kang, T. (2018, March 7). Counterpoint. Retrieved from The Surprising Growth of Used Smartphones: <https://www.counterpointresearch.com/surprising-growth-used-smartphones/>
- [21] Geyer, R., Doctori Blass, V. The economics of cell phone reuse and recycling. Int J Adv Manuf Technol 47, 515–525 (2010). <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2228-z> directive 2002/95/Ec Of The European Parliament And Of The Council" (PDF). *Eur-lex.europa.eu*.
- [23] Li, Yanruoyue; Yan, Xiaojun; Fu, Guicui; Wan, Bo; Jiang, Maogong; et al..Applied Sciences; Basel Tomo 10, N.º 6, (2020).
- [24] Libot, Jean-Baptiste and Arnaud, Lionel and Dalverny, Olivier and Alexis, Joël and Milesi, Philippe and Dulondel, Frédéric Mechanical fatigue assessment of SAC305 solder joints under harmonic vibrations. (2016) In: 2016 International Conference on Electronics Packaging (ICEP 2016), 20 April 2016 - 22 April 2016

- [25] John H. Lau, Ball Grid Array Technology, 1st Edición, McGraw-Hill, 1994.
- [26] National Semiconductor Application Note, 1126, 2003.
- [27] R.C. Cofer and Benjamin F. Harding, Rapid System Prototyping with FPGAs Accelerating the design process Embedded Technology, Elsevier, 2006
- [28] Teng, S., Guirguis, C., Ramakrishna, G., & Ly, H. (2020). Investigation of Solder Joint Encapsulant Materials for Defect Mitigation. Journal of Surface Mount Technology, 33(1), 20-27.
- [29] Fetanat, A., Tayebi, M. & Shafipour, G. Management of waste electrical and electronic equipment based on circular economy strategies: navigating a sustainability transition toward waste management sector. Clean Techn Environ Policy 23, 343–369 (2021).
- [30] Shahera S.Patel, Easy Technical Guide to Understand PC Motherboard, Troubleshoot Problems and Its Repair: PART- I, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, pp 6143-6152, Volume 4, Issue 7, 2015.
- [31] Texas instruments Application Report SNOA021C–May 2004–Revised May 2004.
- [32] PERCIVAL, Murray. Eliminate Solder Bridging in BGA Devices. Murraypercival.wordpress [online]. Wordpress, 2014 [cit. 2015-12-14].
- [33] Dostupné <https://murraypercival.wordpress.com/2014/12/02/eliminate-solder-bridging-in-bga-devices/>
- [34] compoudchem.org, The Chemical Elements of a Smartphone. <https://www.compoundchem.com/2014/02/19/the-chemical-elements-of-a-smartphone/>