



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

Implementación de mesa multitoque autónoma basada en computadoras de placa reducida

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

JORGE DE JESÚS HERNÁNDEZ VEGA

ASESOR:

M. EN P. JESÚS RAMÍREZ ORTEGA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.



U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

Implementación de mesa multitoque autónoma basada en computadoras de placa reducida

Qué presenta el pasante: **JORGE DE JESÚS HERNÁNDEZ VEGA**

Con número de cuenta: **30705870-2** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería Mecánica Eléctrica**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx a 28 de noviembre de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en T.I. Jorge Buendía Gómez	
VOCAL	M. en P. Jesús Ramírez Ortega	
SECRETARIO	Ing. Óscar Camona Islas	
1er. SUPLENTE	Ing. Héctor Miguel Santoyo Morales	
2do. SUPLENTE	Dr. David Tinoco Varela	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/ntm*

Agradecimientos

Es un placer para mí poder presentar la culminación de este trabajo de tesis y quiero manifestar mi agradecimiento con todas aquellas personas que contribuyeron de una u otra manera en su elaboración porque sin ellos esto no sería posible.

Primeramente, a quienes sacrificaron gran parte de su vida en formarme, educarme y darme todo lo necesario para salir adelante. A quienes me vieron nacer, gracias por su amor, apoyo, confianza, consejos, valores morales y todas esas herramientas que me han otorgado para poder concluir mis estudios profesionales. Con quienes estaré eternamente agradecido, a mis padres: Jorge Hernández y Elva Vega, “Gracias por todo”.

Quiero expresarle mi más profunda gratitud al M. en P. Jesús Ramírez Ortega por dirigir este trabajo, por su tiempo, su paciencia, sus ideas y su apoyo incondicional que me ha brindado a partir de mi servicio social y a lo largo de todo el proceso de este proyecto. También, le agradezco mucho al Ing. José Luis Barbosa Pacheco que me haya compartido sus conocimientos y sabios consejos durante mi estancia en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán campo 4 (FESC-4). Asimismo, le doy las gracias a cada uno de mis sinodales por haberse tomado el tiempo para leer esta tesis y poder mejorarla con sus correcciones.

Adicionalmente, quiero agradecerle a la Universidad Nacional Autónoma de México por hacer de esta magnífica institución mi segunda casa desde la preparatoria hasta la universidad, donde tuve la oportunidad de adquirir maravillosas experiencias y de conocer excelentes profesores que me ayudaron a crecer tanto a nivel profesional como personal. De Igual forma, agradezco al Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de las Enseñanzas (PAPIME) la beca que recibí por mi participación en el proyecto *Desarrollo, implementación y validación de prácticas de laboratorio de fluidos apoyados por material multimedia* que se llevó a cabo en el Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT).

Jorge De Jesús Hernández Vega

2020

Índice general

Resumen	1
Objetivos	3
Hipótesis	4
Introducción	5
Capítulo 1. Tecnología táctil capacitiva	7
1.1 Tecnología táctil de superficie capacitiva	8
1.1.1 Fabricación	8
1.1.2 Funcionamiento	10
1.1.3 Controlador	11
1.2 Tecnología táctil capacitiva proyectada	12
1.2.1 Fabricación	12
1.2.2 Funcionamiento	19
1.2.3 Controlador	27
1.3 Caracterización de una película capacitiva	30
Capítulo 2. Computadoras de placa reducida	37
2.1 Tarjetas de desarrollo de hardware	37
2.2 Single Board Computers	41
2.3 Sistemas operativos compatibles	43
2.4 Accesorios	45

2.4.1 Periféricos básicos	45
2.4.2 Fuente de alimentación	46
2.4.3 Cable Ethernet	46
2.4.4 Cable HDMI	46
2.4.5 HUB USB	46
2.5 Almacenamiento de datos	47
2.5.1 Disco duro	47
2.5.2 Disco de estado sólido	48
2.5.3 Unidad de discos ópticos	49
2.5.4 Memoria USB	49
2.5.5 Memoria flash	51
2.6 Tarjetas más notables	55
2.6.1 ODROID C2	55
2.6.2 UDOO QUAD	56
2.6.3 Banana Pi M2 Ultra	57
2.6.4 CubieBoard 6	58
2.7 BeagleBone Black	59
2.8 Raspberry Pi 2B	61
Capítulo 3. Desarrollo de una mesa interactiva	63
3.1 Diseño	63
3.1.1 Entrada táctil	64

3.1.2 Dispositivo de salida	64
3.1.3 Unidad Central de Procesamiento (CPU)	65
3.1.4 Estructura física	66
3.1.5 Control principal de encendido y apagado	68
3.2 Conexiones y montaje del sistema	69
Capítulo 4. Configuración y pruebas del sistema	73
4.1 Configuración y pruebas de las SBC	73
4.1.1 BeagleBone Black	73
4.1.2 Raspberry Pi 2B	81
4.2 Instalación y pruebas de Android en las SBC	91
4.2.1 BeagleBone Black	91
4.2.2 Raspberry Pi 2B	99
4.2.3 Raspberry Pi 3B	112
4.3 Configuración y calibración del touch foil	137
4.3.1 Touch foil en una computadora personal con Windows	137
4.3.2 Touch foil en las SBC con diferentes sistemas operativos	144
Conclusiones	148
Referencias	152
Apéndice A. Formatear un disco de almacenamiento	156
A.1 Herramienta del Explorador de Windows	157
A.2 Administración de discos	159

A.2.1	Cómo crear particiones en un disco	160
A.2.2	Cómo unir las particiones de un disco	163
A.3	Diskpart	165
A.3.1	Cómo crear y formatear particiones	166
A.3.2	Cómo eliminar particiones	168
A.3.3	Cómo extender particiones	169
Apéndice B. Memoria USB de arranque de Ubuntu		172
B.1	Procedimiento	173
B.2	Ejecución	175

Resumen

El auge tecnológico actual nos ha sumergido en un mundo lleno de dispositivos electrónicos usados muy comúnmente en la vida diaria de las personas, que hasta cierto punto no se han sabido aprovechar al máximo, como en el campo de la enseñanza, donde hasta el momento sólo se han utilizado equipos individuales ocasionando poca integración y un escaso desarrollo de las habilidades cooperativas.

En busca de aplicar adecuadamente la tecnología para obtener una mejor calidad educativa, se propuso implementar una mesa interactiva multitoque para actividades didácticas, la cual, permita promover la participación colaborativa entre los estudiantes mejorando la comunicación y aprendizaje dentro del aula. La idea es desarrollar un prototipo que se controle sin teclados ni ratones con la intención de evitar que una sola persona se apropie del mouse y el teclado y, por consiguiente, conserve el control del dispositivo. Por tanto, se pretende que la mesa sea de control distribuido para que varios usuarios puedan crear, modificar y exportar el contenido de manera totalmente independiente mientras que trabajan en conjunto, estimulando de este modo, el trabajo colaborativo. Además de que con el solo uso de las manos puedan manipular los objetos mostrados sobre la superficie de la mesa para analizar y reforzar los conocimientos adquiridos durante la clase usando actividades teórico-prácticas que beneficien los procesos de enseñanza-aprendizaje a través de la experimentación así como la multirepresentación de conceptos.

En la presente tesis se describe el desarrollo e implementación de un prototipo de mesa interactiva multitáctil para actividades didácticas basada en una película capacitiva y una computadora de placa reducida con los objetivos de reducir el grosor y mejorar la operatividad de la mesa a diferencia de otras tecnologías táctiles. Asimismo, reducir costos y hardware al emplear la computadora de placa reducida con software de distribución libre. En términos generales, este trabajo se compone básicamente de una introducción acerca de los antecedentes de la tecnología capacitiva; cuatro capítulos, en los cuales se describirá la investigación, el diseño y el desarrollo de la mesa interactiva; y finalmente, las conclusiones respecto a los resultados del prototipo.

De manera más puntual, este trabajo se describe como sigue:

En la introducción se darán a conocer las tecnologías multitáctiles, algunos métodos de detección de toques y sus principios de funcionamiento.

Con relación al capítulo 1, se definirá que es la tecnología táctil capacitiva, su principio de funcionamiento y las dos clases en la que se divide: la tecnología táctil de superficie capacitiva y la tecnología táctil capacitiva proyectada; describiendo la fabricación, el método de detección y el funcionamiento del controlador de cada una. En la última parte de este capítulo se explicará la caracterización y algunas pruebas realizadas a la película capacitiva.

En el capítulo 2 se determinarán que son las computadoras de placa reducida, sus diferencias con las tarjetas de desarrollo de hardware, sus accesorios básicos y los sistemas operativos que pueden ejecutar este tipo de computadoras, igualmente, se detallarán los dispositivos de almacenamiento que pueden utilizar y las placas más notables en el mercado.

Para el capítulo 3, se especificará el diseño de la mesa interactiva, abarcando los siguientes puntos: la entrada táctil, el dispositivo de visualización, la unidad central de procesamiento, el control principal de encendido y apagado del sistema, los elementos de la estructura física y el diagrama de conexiones. También, se explicará cómo se hizo el montaje de los componentes.

En cuanto al capítulo 4, se detallará el proceso de instalación y configuración para cada uno de los sistemas operativos probados: Debian Wheezy, Raspbian, BBBAndroid, Android Jelly Bean, Android Lollipop, Android Nougat, Emteria y Lineage. Adicionalmente, se definirá la solución de algunos de los inconvenientes que se presentaron. Por otra parte, se describirá la configuración y calibración de la película capacitiva en una PC con Windows y en las computadoras de placa reducida corriendo los sistemas arriba mencionados.

Objetivos

Objetivo general

- Desarrollar una mesa interactiva multitáctil autónoma que no requiera configuración por parte del usuario y que se utilice como herramienta de apoyo en actividades didácticas.

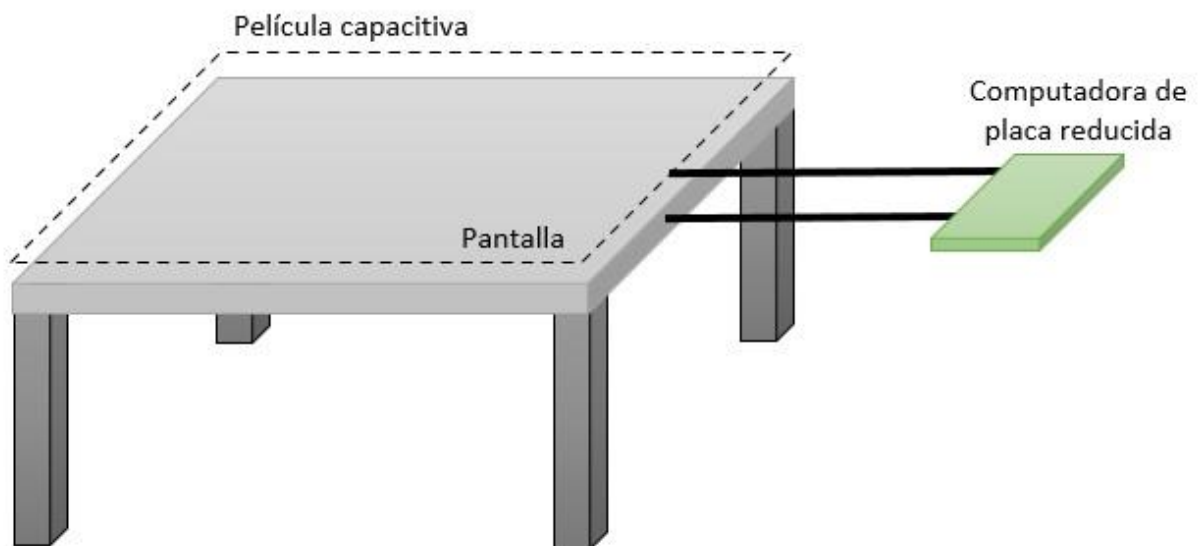
Objetivos particulares

- Construir una herramienta que promueva el trabajo colaborativo con beneficios en los procesos de enseñanza-aprendizaje.
- Desarrollar un prototipo que sea intuitivo, de control distribuido y que facilite correr aplicaciones educativas multiusuario.
- Configurar e implementar un sistema virtual para la interacción con el dispositivo.
- Demostrar la facilidad con la que se pueden elaborar este tipo de herramientas.
- Manifiestar la versatilidad que tienen para utilizarse en actividades teórico-prácticas dentro del aula y a cualquier nivel educativo.

Hipótesis

Una mesa interactiva multitáctil con actividades teórico-prácticas favorece los procesos de enseñanza y aprendizaje mejorando la manera en que la información es transmitida y adquirida por los usuarios, además, este tipo de dispositivos tienen una gran versatilidad para utilizarse en tareas multiusuario que promueven el trabajo colaborativo dentro del aula.

Un prototipo de mesa interactiva se construye de forma relativamente sencilla al utilizar una pantalla para mostrar la información al usuario, una computadora de placa reducida para el control del sistema y una película capacitiva para que el usuario pueda interactuar con el contenido multimedia. El uso de estos dispositivos permite que la mesa tenga una buena sensibilidad al tacto, que el grosor ocupado sea mínimo, que no sea afectada por agentes externos, que se le puedan realizar adaptaciones y que sea posible colocar una superficie de protección para facilitar su limpieza. En el esquema A se muestran de forma general los elementos básicos de la mesa interactiva.



Esquema A. Elementos básicos de la mesa interactiva.

Introducción

Las tecnologías multitáctiles son el conjunto de conocimientos y procedimientos empleados para crear una interacción humano-computadora donde el usuario ingresa datos y órdenes a la computadora a través de una superficie sensible al tacto sin requerir de un mouse o un teclado de por medio, complementada por una interfaz de usuario (software) que permite interactuar de forma natural, intuitiva, rápida, exacta y satisfactoria con el hardware. Igualmente, tanto el hardware como el software son capaces de detectar y manipular múltiples puntos de contacto al mismo tiempo. Estas tecnologías han abierto un gran campo de oportunidades para la interacción entre los dispositivos electrónicos y los usuarios, proporcionando un control simple a través de gestos¹ con los dedos u otros objetos y permitiendo la colaboración entre múltiples usuarios en una sola pantalla, con configuraciones relativamente sencillas y de bajo costo. Aunque sus inicios tengan más de 30 años, sus logros más sobresalientes se han dado a partir del siglo XXI con los lanzamientos de: Nintendo DS en el 2004, una superficie basada en reflexión interna total frustrada (FTIR) por Jeff Han en el 2005, el iPhone en el 2007 y en ese mismo año, Microsoft Surface (ahora PixelSense). Durante estos años se han diseñado y desarrollado diferentes técnicas para la detección y localización de múltiples toques tanto simples como simultáneos, convirtiéndose en la característica preferida por los usuarios en diferentes dispositivos, estas técnicas se diferencian principalmente por su principio de funcionamiento y algunas de ellas son:

- **Tecnología de Señal Dispersiva (DST), Superficie de Onda Acústica (SAW) y Reconocimiento de Pulso Acústico (APR)**, que utilizan ondas mecánicas producidas por el contacto con la superficie y que viajan a través de ésta. **Las Galgas Extensiométricas (Strain Gauge)** emplean la elasticidad y resistividad del material de la superficie para ubicar el toque dependiendo de su deformación.
- **Iluminación Difusa (DI), Superficie de Iluminación Difusa (DSI), Reflexión Interna Total Frustrada (FTIR) y Plano de Luz Láser (LLP)**, las cuales usan la reflexión de la luz infrarroja en la superficie táctil como medio para detectar y localizar

¹ Un gesto se define como un movimiento peculiar que la computadora identifica como una orden específica, por ejemplo, un toque sostenido significa un clic con el botón derecho del mouse.

los puntos de contacto. En el caso de la **Matriz Infrarroja (Infrared Grid)** se ocupan emisores y receptores de luz infrarroja por encima y alrededor de la superficie para formar la matriz, cuando algunos de los receptores no reciben la señal de emisión se identifica la coordenada del toque realizado.

- **La Tecnología Táctil Resistiva (RTT)** utiliza una superficie constituida principalmente por cinco capas: una base rígida, dos capas de material conductor separadas por una capa aislante y una capa deformable al tacto. Cuando un dedo u objeto toca la superficie táctil las capas conductoras entran en contacto, después un controlador evalúa el voltaje que presenta una capa y la resistencia que presenta la otra para calcular dónde se realizó el toque de la superficie.

Según sean las necesidades del usuario se emplean diferentes tecnologías multitáctiles, ya que todas éstas presentan ventajas y desventajas como: la fabricación, costos, dimensiones, métodos, especificaciones, entre otros. Por este motivo, actualmente se siguen desarrollando técnicas para crear pantallas táctiles más delgadas, precisas y con gestos más naturales (sobre todo para los dispositivos móviles). Adicionalmente, se pueden encontrar en muchísimos tamaños y se utilizan en diversas aplicaciones como medicina, educación, entretenimiento, sistemas de control, servicios, publicidad e información en general.

Otras de las tecnologías de gran importancia en la vida cotidiana hoy en día son las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) que se utilizan con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas por medio de recursos tecnológicos para transmitir, propagar y facilitar la información.

Un dispositivo que se encuentra en gran expansión y que conjunta las TIC con las tecnologías multitáctiles es la "mesa interactiva", la cual tiene el objetivo de mejorar los servicios de algunos establecimientos y mejorar el trabajo colaborativo. En el caso del sector académico se busca mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje utilizándola para apuntalar el aprendizaje de conceptos en beneficio de los alumnos. Estas mesas se pueden encontrar en diferentes campos de trabajo y realizando diferentes funciones como son la selección del menú en restaurantes, quioscos de información en centros comerciales, sistemas interactivos en museos y mesas de trabajo colaborativo en escuelas u oficinas.

Capítulo 1

Tecnología táctil capacitiva

La tecnología táctil capacitiva (*Capacitive Touch Technology*) se basa principalmente en la detección y ubicación de toques sobre un área táctil utilizando la capacitancia del cuerpo humano y la de algunos objetos capacitivos para ocasionar variaciones en el campo electrostático que es generado sobre esta superficie, cuando la energía eléctrica del campo cambia, un controlador evalúa estas magnitudes para después proporcionar las coordenadas del punto de contacto. Esta característica mejora la experiencia del usuario evitando que sea activada por cualquier objeto o accidentalmente por insectos.

La superficie táctil se constituye por varias capas incluyendo una de protección contra agentes externos formando una sola pieza, por lo que es muy sencilla de manipular, además de que los líquidos, grasa, polvo u otros contaminantes no afectan su funcionamiento. A comparación de la tecnología táctil resistiva esta tecnología requiere menos capas en su construcción lo que hace que la superficie sea más delgada obteniendo una gran sensibilidad y mayor precisión de toque ya que no requiere fuerza para su detección. Asimismo, se logra tener una alta claridad de imagen, la cual, es una de sus mayores ventajas frente a cualquier otra tecnología multitáctil gracias al nivel de transparencia del material conductor empleado.

Este tipo de tecnología no se limita únicamente al control por medio de dedos, sino que del mismo modo se puede interactuar con diversos dispositivos capacitivos, sin embargo, la detección multitáctil está limitada por el firmware o la arquitectura del controlador.

A pesar de ser relativamente costoso producirla, por su fiabilidad y durabilidad es a menudo la tecnología preferida para aplicarse en ambientes bajo condiciones extremas y no controladas como aplicaciones industriales y demostraciones públicas.

La tecnología táctil capacitiva se divide principalmente en dos clases: *tecnología táctil de superficie capacitiva* y *tecnología táctil capacitiva proyectada*.

1.1 Tecnología táctil de superficie capacitiva

Surface Capacitive Touch Technology o tecnología táctil de superficie capacitiva es una técnica de hardware para la interacción táctil que tiene un alto periodo de vida útil y proporciona gran precisión en la coordenada de toque si sus capas no son removidas, no obstante, es propensa a falsas señales y requiere de calibración durante su manufactura.

Surface Capacitive es muy utilizada para aplicaciones simples y fijas como controles industriales, puntos de venta, quioscos informativos, cajeros automáticos y máquinas de juego de azar, pero no es recomendable para aplicaciones móviles dado que requiere de una referencia estable a tierra para fijar el estado de “no toque”, aparte de que el movimiento dificulta mantener sus capas alineadas.

1.1.1 Fabricación

Está basada principalmente en un sensor táctil que es una capa conductora altamente transparente normalmente hecha de óxido de indio y estaño o ITO (*Indium Tin Oxide*), material más comúnmente usado que el ATO (*Antimony Tin Oxide*) o el TO (*Tin Oxide*) por su resistividad y bajo costo, sin embargo, dependiendo del fabricante también se pueden encontrar estos materiales como capa táctil la cual es colocada sobre una capa de sustrato de vidrio.

Luego, se coloca un patrón de electrodos² de plata formando un marco sobre el perímetro de la capa conductora los cuales van conectados a la membrana del controlador táctil y sirven para corregir los puntos detectados, alineándolos paralelamente de acuerdo con los bordes del marco, para que una línea recta no la detecte curva tal y como se observa en la imagen 1.1, mejorando así la precisión de toque.

² Material conductor por donde circula una corriente eléctrica.

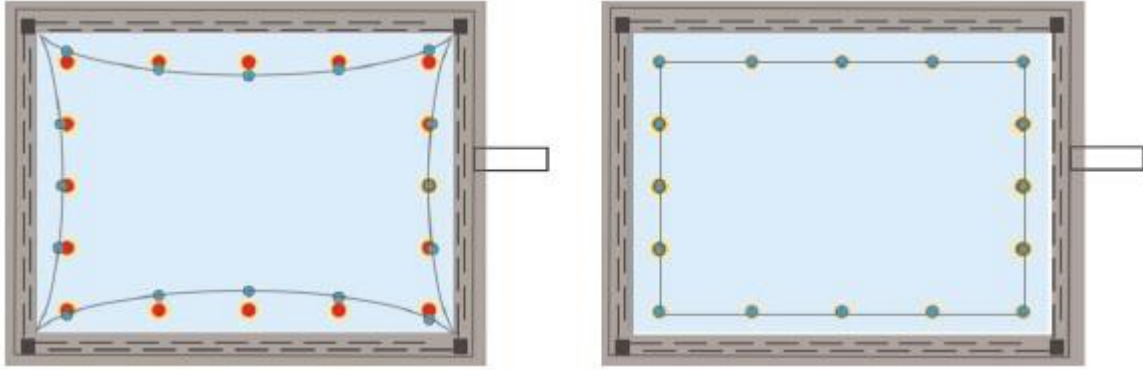


Imagen 1.1 Corrección de los puntos detectados (azules) de acuerdo con los puntos establecidos (rojos) [1].

Después, en la parte superior del patrón lleva una capa protectora que es típicamente de vidrio con un alto nivel de resistencia, antirreflejante y a menudo antiestática lo que reduce la fricción entre el dedo y la superficie haciendo más fácil el arrastre de objetos virtuales, adicionalmente, evita que la electricidad estática ingrese a la circuitería del controlador táctil [2]. En la imagen 1.2 se ejemplifica el orden en el que se colocan cada una de las capas empleadas para la fabricación de una superficie con tecnología Surface Capacitive.



Imagen 1.2 Superficie táctil capacitiva elaborada por ADmetro [3].

En ocasiones se coloca una capa conductora adicional por debajo de la primera que sirve como una capa de protección para el sensor contra el ruido electromagnético que produce la pantalla, aunque esto incrementa el costo de manufactura y disminuye la transparencia del sensor.

Finalmente, se monta un electrodo y un sensor en cada una de las esquinas de la superficie para enviar y recibir respectivamente las señales eléctricas con las que trabaja la capa táctil.

1.1.2 Funcionamiento

Cada electrodo suministra una pequeña señal de radio frecuencia con exactamente las mismas características que las demás señales, manteniendo un control preciso de los electrones que viajan a través de la capa conductora, los cuales crean un campo electrostático bidimensional uniforme.

Los dedos humanos presentan propiedades similares a las de un objeto capacitivo siendo capaces de almacenar cargas eléctricas, cuando un dedo toca esta superficie se produce un acoplamiento capacitivo entre el sensor táctil y el usuario, tal como se representa en la imagen 1.3. Esto ocasiona una distorsión del campo electrostático ya que una pequeña corriente en el orden de los *microamperes* fluye hasta el dedo donde se disipa a través del cuerpo, lo que consecuentemente reduce las corrientes que circulan por el área táctil.

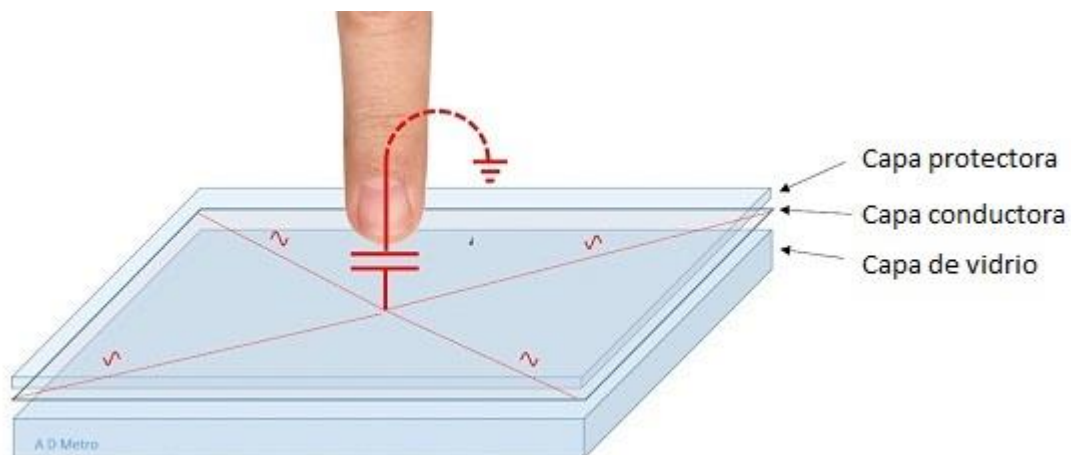


Imagen 1.3 Acoplamiento capacitivo [4].

1.1.3 Controlador

Este dispositivo externo filtra las señales de corriente alterna captadas por los sensores para remover el ruido, las convierte en corriente directa, las pasa por una etapa de amplificación y a continuación las convierte en información digital, la cual es analizada por su microprocesador para determinar si existió contacto con la superficie.

El firmware compara el umbral de corriente establecido para el estado de "no toque" con las cantidades de corriente que capta cada uno de los sensores que se encuentran en las esquinas y si llega a ocurrir un "toque" evalúa los cambios en las cantidades para triangular las coordenadas del punto de contacto puesto que las magnitudes de estas corrientes son proporcionales a la distancia que hay entre el punto de toque y cada esquina. Así que la energía eléctrica de los sensores cambia dependiendo de la posición del punto de contacto, entre más cerca sea el toque de alguna esquina su sensor tendrá un mayor cambio de energía eléctrica. Por último, agrega algunos datos adicionales y manda la información completa a la computadora.

En la imagen 1.4 se identifican los elementos que constituyen un sensor táctil basado en Surface Capacitive.

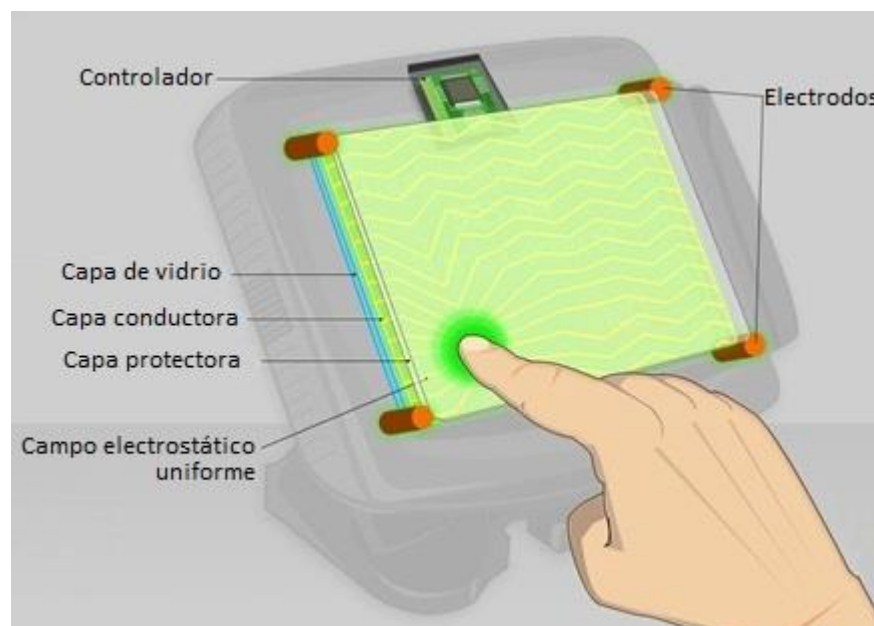


Imagen 1.4 Componentes de Surface Capacitive [5].

1.2 Tecnología táctil capacitiva proyectada

El lanzamiento de iPhone en el 2007 revolucionó la industria táctil al implementar una pantalla con tecnología táctil capacitiva proyectada, un teclado virtual y novedosos gestos táctiles como lo es deslizar, girar, arrastrar o seleccionar objetos, así como alejar o acercar mapas y fotografías usando uno o varios dedos sobre la pantalla, gestos diferentes a los realizados con otros dispositivos tradicionales como el teclado o el mouse. Desde entonces, esta tecnología ha sido preferida en muchos dispositivos principalmente pequeños y medianos, debido al gran periodo de vida útil que presenta. Y aunque un celular con esta tecnología sea más caro que su versión con tecnología resistiva, la diferencia de precio está bajando rápidamente gracias al desarrollo tecnológico actual.

Un público joven y con un gran número de usuarios ha sido atraído por este tipo de tecnología puesto que las nuevas generaciones prefieren usar dispositivos que tengan un control simple, función multitáctil e incluso función multiusuario, por lo que ha ganado terreno en muchas aplicaciones desde dispositivos personales hasta aplicaciones comerciales como los juegos de casino o sistemas de navegación.

1.2.1 Fabricación

Projected Capacitive Touch Technology mejor conocida como *Pro-Cap* o *P-Cap* comúnmente emplea electrodos elaborados de ITO, un material semiconductor tipo n que tiene aproximadamente un 90 % de transparencia y una resistencia de hoja (*sheet resistance*) situada en un rango de 100 a 300 ohms por cuadrado (Ω/sq) [6] dependiendo del grosor de los electrodos y del material donde son depositados. Estos electrodos son colocados usualmente en filas y columnas formando una red o matriz que constituye la parte esencial del sensor táctil, la cual es montada sobre una capa de sustrato de vidrio o algún tipo de plástico como el PET.

Luego, en la parte superior se pone una capa protectora de un material no conductivo siendo la única capa que tiene contacto directo con los dedos (capa de toque) a como se muestra en la

imagen 1.5. Esta tecnología permite el uso de una capa gruesa con un máximo de 20 mm, en condiciones ideales, sin afectar significativamente su operación. Normalmente se utilizan capas adhesivas transparentes para unir las capas que conforman la superficie táctil.

Al igual que en Surface Capacitive, ocasionalmente se utiliza ATO en la construcción del sensor y/o se agrega una capa lisa de material conductor entre la pantalla y la pila de capas para reducir la interferencia electromagnética producida por la pantalla. Por otro lado, esta interferencia también puede ser reducida por el controlador o incluso por software.

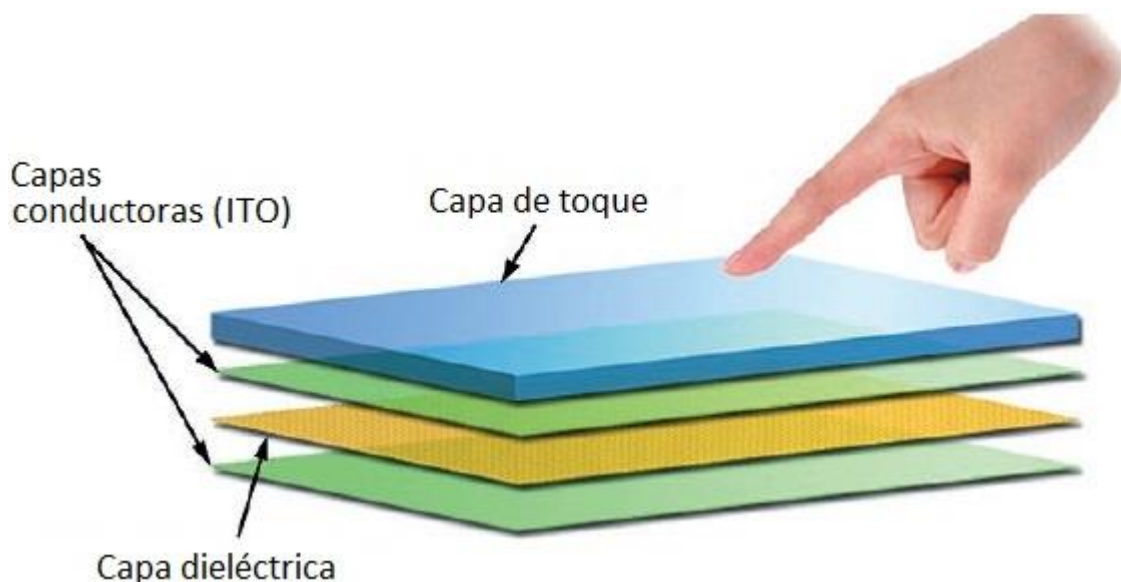


Imagen 1.5 Principales capas de Pro-Cap [6].

El sensor táctil de Pro-Cap tiene varios modelos de construcción, unos utilizan una simple capa de ITO mientras que otros requieren 2 o 3 capas dependiendo de los materiales, el grosor del dispositivo, el costo de vida útil, la aplicación deseada y el diseño del controlador. Dentro de su manufactura existen 3 formas habituales de hacer el montaje de los electrodos sobre la capa dieléctrica, dichas formas son ilustradas en la imagen 1.6 y descritas a continuación.

- 1) Los electrodos horizontales y verticales son respectivamente montados sobre capas separadas, las cuales, son sobrepuestas posteriormente.

- 2) Los electrodos horizontales son situados por un lado de la capa dieléctrica y los verticales por el otro lado de la misma capa.
- 3) Filas y columnas son separadas por una pequeña capa dieléctrica que es colocada entre los cruces de los electrodos para evitar su contacto.

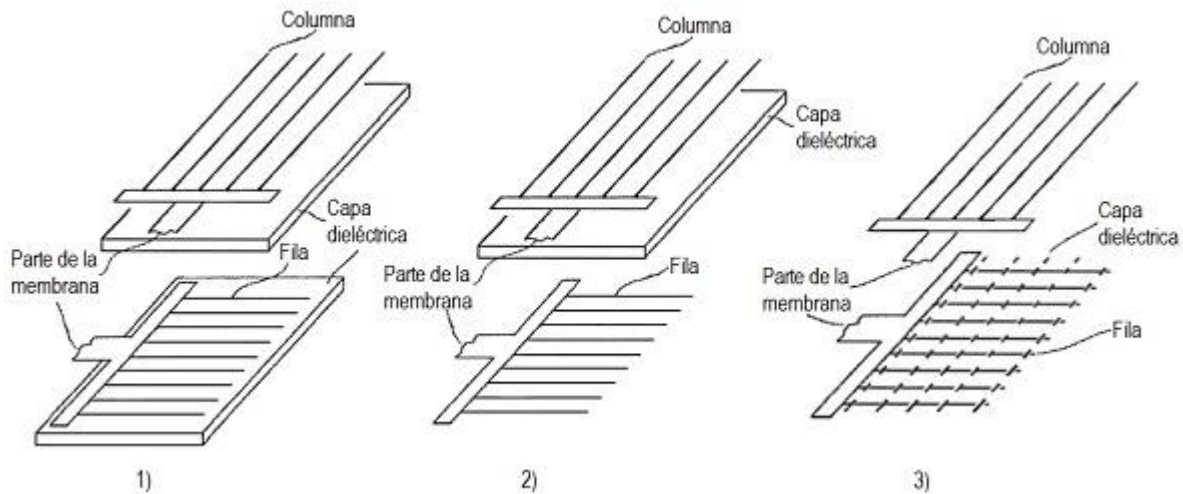


Imagen 1.6 Formas de montar el sensor táctil.

Sin embargo, cada una de éstas tiene sus inconvenientes como tener un mayor consumo final de energía, requerir una gran precisión en la alineación de las capas o tener pequeñas anomalías ópticas que son distinguidas a simple vista [7].

A partir del lanzamiento de iPhone se han desarrollado diversos métodos para la fabricación de Pro-Cap que presentan delgadas líneas de ITO con una resistividad alrededor de $150 \Omega \cdot m$ sobre algún tipo de vidrio o PET. En el caso del vidrio como sustrato se pueden alcanzar líneas de hasta $20 \mu m$ de grosor y para el PET de entre $100-200 \mu m$ usando métodos como la serigrafía, ablación láser, fotolitografía, pulverización o fabricación mediante rollos, no obstante, actualmente se están desarrollando líneas de $30-50 \mu m$ sobre PET [6].

Usualmente durante su fabricación se utiliza un vidrio completamente liso, el cual sella la capa conductora de manera que sea inmune a productos químicos y a ambientes de lavado o con

altas temperaturas; en el caso del PET como sustrato es utilizado para darle la característica de ser altamente flexible lo que permite que sea doblado y colocado en superficies curvas o no completamente rectas. Asimismo, con el PET es posible la impresión de filas y columnas por medio de rollos, lo que reduce costos ya que al usar vidrio se requieren capas individuales y un número limitado de sensores por capa. En las imágenes 1.7 y 1.8 se pueden ver sensores capacitivos elaborados tanto con PET como con vidrio, respectivamente.

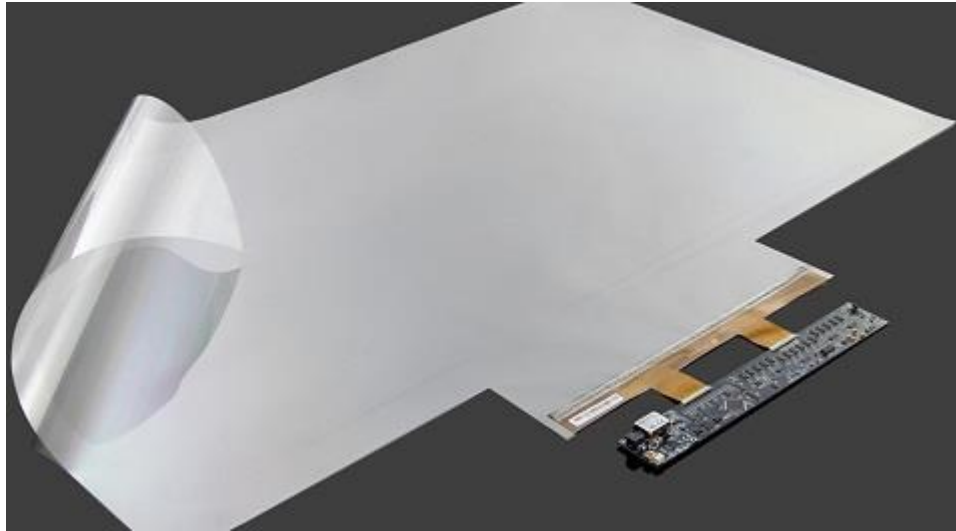


Imagen 1.7 Sensor elaborado con PET [8].



Imagen 1.8 Sensores elaborados con vidrio [6].

Patrones

Las capas de electrodos pueden formar distintos patrones como triángulos, hexágonos, ondas, postes de luz, diamantes, filas y columnas, e incluso copos de nieve, este último se visualiza en la imagen 1.9. Algunos son muy complejos sólo para obtener compatibilidad con el controlador táctil del mismo fabricante y otros son más sencillos pero el costo de manufactura de cada capa es el mismo.

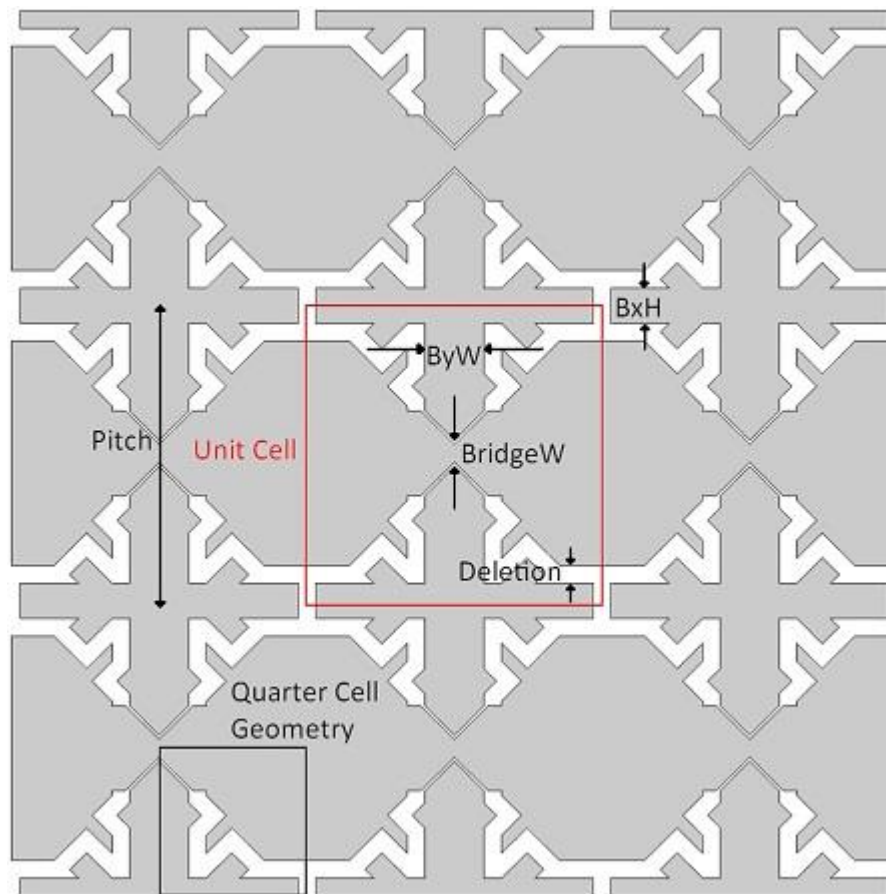


Imagen 1.9 Patrón de copos de nieve [9].

Uno de los patrones más simples que hay, es el de filas y columnas, el cual funciona correctamente, aunque requiere de un mayor consumo de energía para generar coordenadas precisas. Este diseño fue básicamente usado para el primer iPhone que consiste en delgados

electrodos verticales separados por gruesas tiras de ITO sin conexión las cuales son sólo para mantener una apariencia óptica uniforme formando una sola capa que es montada sobre una capa de vidrio, mientras que gruesos electrodos horizontales separados por diminutos espacios son colocados por debajo de esta capa. Dicho modelo es representado en la imagen 1.10.

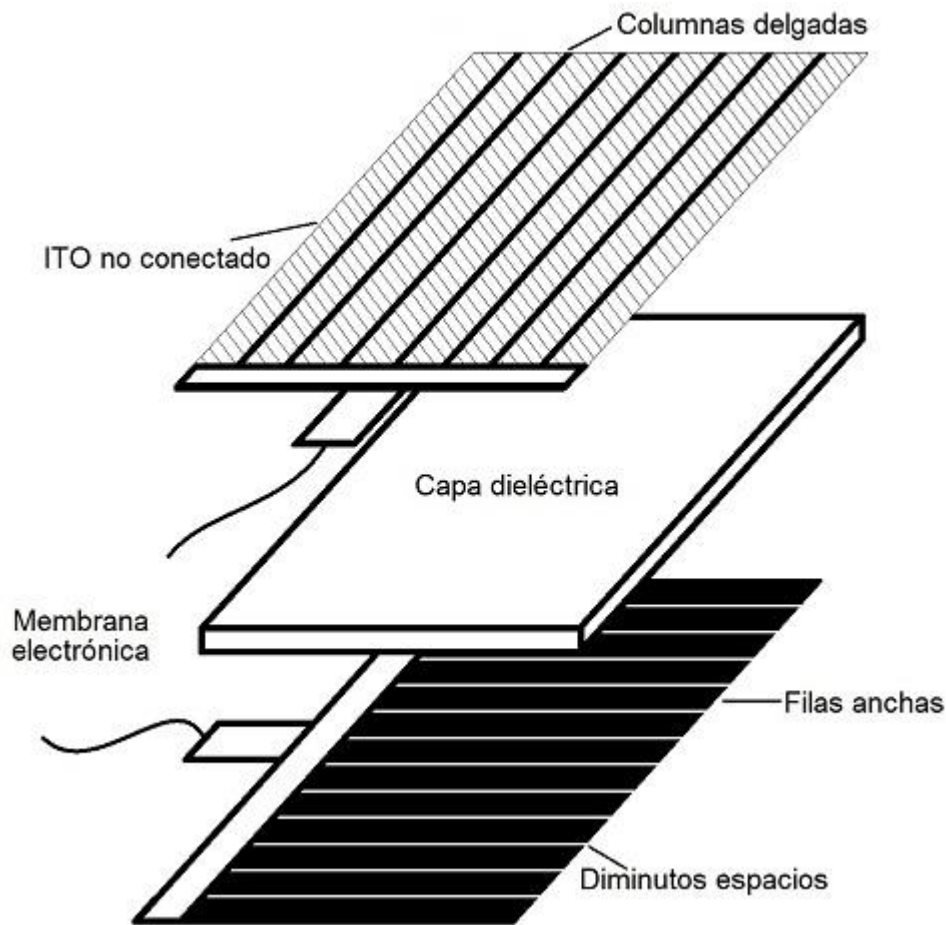


Imagen 1.10 Modelo del primer iPhone.

El patrón más comúnmente usado es el de forma de diamante que consiste en filas y columnas de rombos o “diamantes” conectados entre sí por pequeños puentes en dos de sus esquinas. Este sensor está formado principalmente por dos capas, una de diamantes horizontales y otra de diamantes verticales, ambas separadas por una capa de material dieléctrico ya sea separando las dos capas por completo o solo los puentes para evitar el contacto entre filas y columnas, el

diámetro de los diamantes difiere dependiendo del fabricante pero se encuentra en un rango de 4 a 8 mm.

Una ventaja en la manufactura de este diseño es que las filas y las columnas son geoméricamente idénticas y por lo tanto se elabora un mismo patrón para ambos ejes de conductores reduciendo costos, además, casi todos los controladores de Pro-Cap trabajan con este patrón, el cual se ilustra en la imagen 1.11.

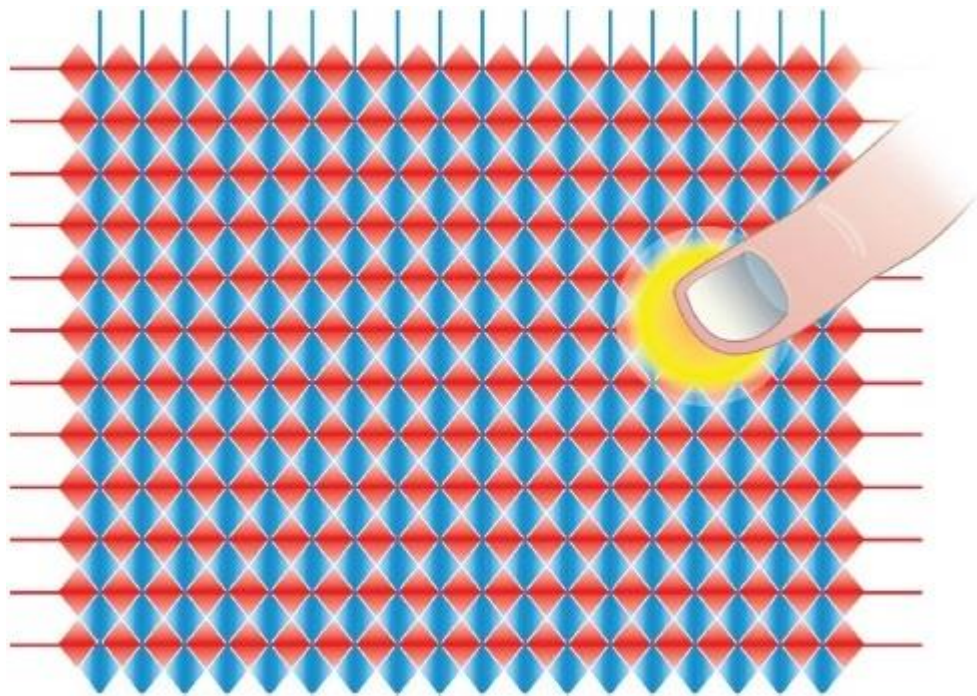


Imagen 1.11 Patrón en forma de Diamante [7].

Durante los últimos años se han desarrollado materiales para reemplazar el ITO buscando mejorar su precio, transparencia, flexibilidad y resistividad, algunos de ellos son: mallas metálicas de cobre, nanocables de plata, nanotubos de carbón y polímeros conductivos, elaborados por Atmel, Cambrios, Eikos y Fujitsu respectivamente, en el caso de 3M es una compañía que está trabajando tanto con los nanocables de plata como con las mallas metálicas. Dado que algunos de estos conductores son metales, su resistencia de hoja puede ser menor a $10 \Omega/\text{sq}$ [2].

1.2.2 Funcionamiento

Pro-Cap puede subdividirse en dos métodos de detección de toques: *Self Capacitance* (Capacitancia Propia) y *Mutual Capacitance* (Capacitancia Mutua).

Self Capacitance

Se basa principalmente en la capacitancia propia de cada electrodo con respecto a tierra, esta capacitancia es modificada por la capacitancia del cuerpo humano como si se creara otra conexión a tierra.

Para detectar el toque, el controlador táctil mide la cantidad de corriente que circula por cada electrodo para fijar un estado estable puesto que cada conductor opera de manera independiente. Cuando un dedo u objeto capacitivo tiene contacto con la superficie absorbe parte de la corriente que pasa a través de los electrodos ocasionando una reducción en la misma, este proceso se indica en la imagen 1.12.

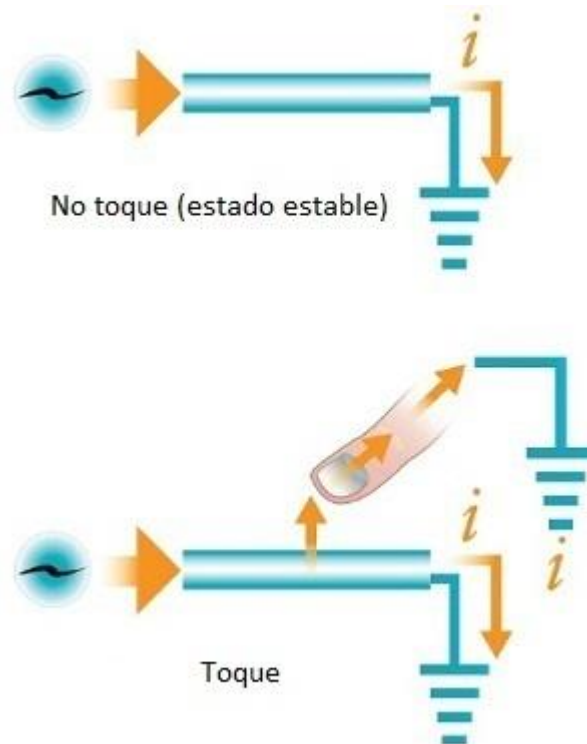


Imagen 1.12 Funcionamiento de Self Capacitance [7].

Dentro de este método existen dos formas de acoplar los electrodos sobre la superficie táctil de acuerdo con su funcionamiento, ya sea utilizando una capa o dos:

Multi-pad

Cuando se utiliza una sola capa de electrodos, éstos se elaboran en forma de bloques o cuadrados cubriendo toda la superficie táctil teniendo cada uno una única coordenada de toque debido a que cada electrodo es conectado individualmente al controlador ocupando un canal cada uno, tal como se nota en la imagen 1.13. Esto permite que se puedan realizar toques simultáneos, sin embargo, es muy difícil la implementación de superficies mayores a 3.5 pulgadas.

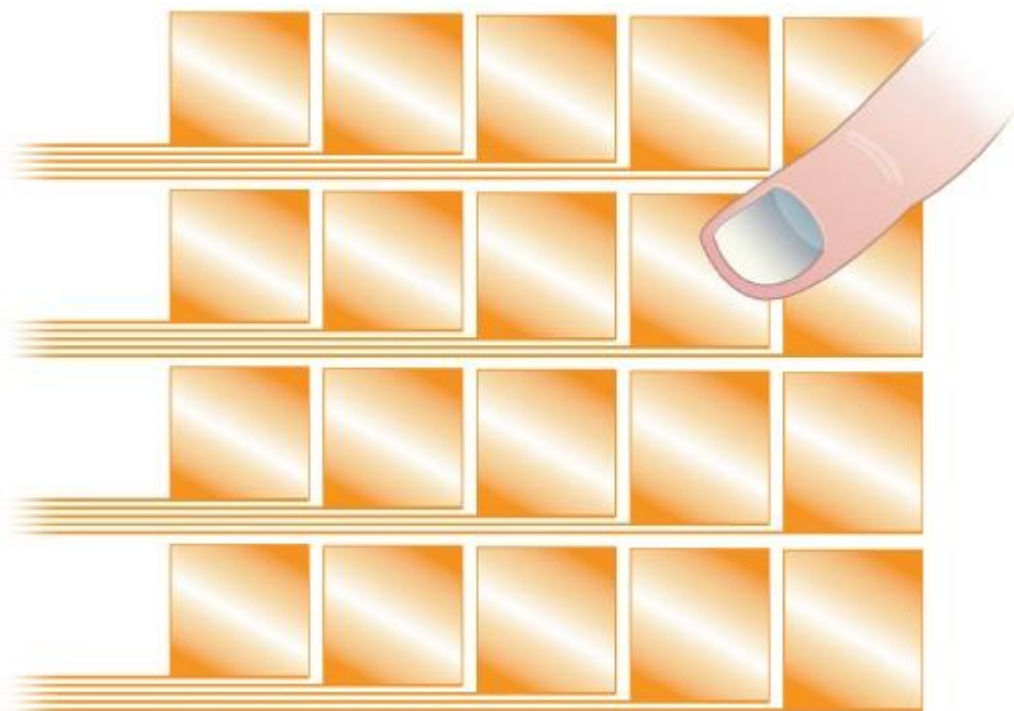


Imagen 1.13 Multi-pad con Self Capacitance [7].

Filas y Columnas

Si son dos capas, se emplea una de electrodos horizontales y otra de electrodos verticales a como se muestra en la imagen 1.14, los cuales están conectados individualmente al controlador para poder evaluar la corriente existente en cada uno de ellos, midiéndolos uno por uno secuencialmente, primero todos los horizontales y luego todos los verticales.

Al existir un toque sobre el área táctil, se aumenta la impedancia de los electrodos tocados provocando un cambio en su corriente, este cambio es evaluado por el controlador para determinar cuál es la columna y la fila más cercana a ese punto para que posteriormente se envíe a la computadora la coordenada de toque que se encuentra en el cruce de ambos electrodos.

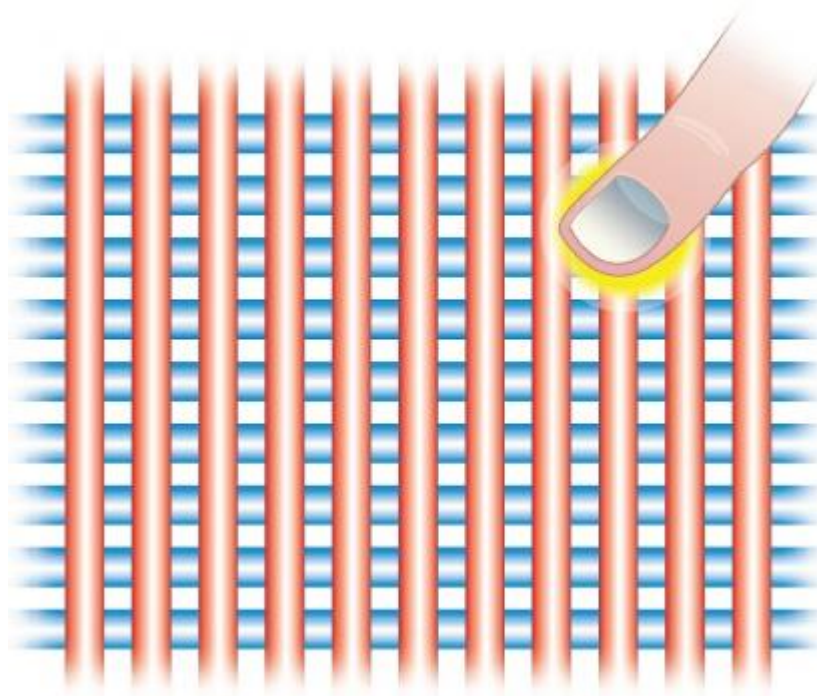


Imagen 1.14 Filas y Columnas de electrodos con Self Capacitance [7].

A pesar de que esta alineación de electrodos funciona correctamente cuando se toca la superficie con un solo dedo a la vez, Self Capacitance está limitado en la detección multitoque

ya que al tocar la superficie diagonalmente con dos dedos se originan los llamados “puntos fantasmas” que son toques “falsos o imaginarios” creados en las intersecciones opuestas a los puntos de contacto reales debido a que son combinaciones de toque posibles entre filas y columnas, dicho fenómeno es señalado en la imagen 1.15. Esto representa un problema puesto que el controlador solamente mide la corriente de cada electrodo más no la corriente en cada intersección.

Muchas aplicaciones requieren únicamente uno o dos toques donde este diseño puede ser una opción muy atractiva sólo si el software es capaz de detectar la dirección de movimiento de los puntos de toque para eliminar los puntos fantasmas, como cuando se realiza un acercamiento con dos dedos.

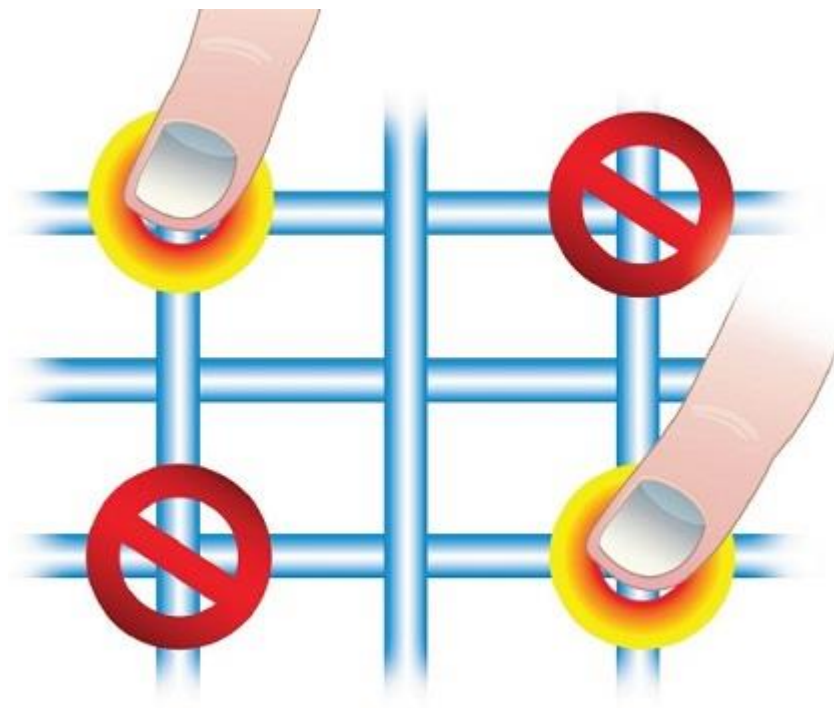


Imagen 1.15 Puntos fantasmas [7].

Mutual Capacitance

Este método emplea únicamente dos capas de electrodos separadas en filas y columnas a las que se les aplica un pequeño voltaje para crear una capacitancia mutua que es un campo electrostático en los espacios que hay entre cada electrodo horizontal con cada electrodo vertical produciendo así una única coordenada de toque en cada una de las intersecciones.

Como se aprecia en la imagen 1.16, cuando un dedo es aproximado a la superficie de toque y penetra el campo electrostático de la intersección más cercana a ese punto ocasiona un acoplamiento capacitivo de impedancia a tierra, lo cual reduce su capacitancia mutua al absorber parte de su corriente eléctrica.

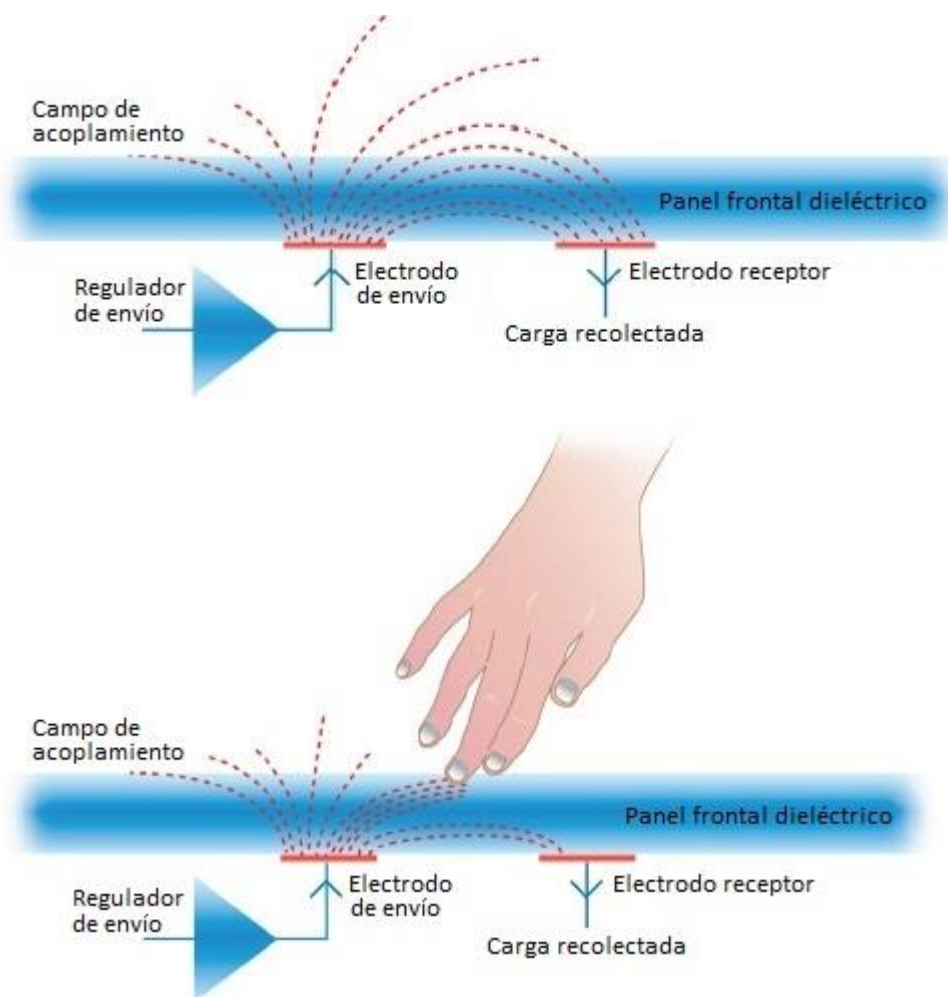


Imagen 1.16 Funcionamiento de Mutual Capacitance [7].

A diferencia de Self Capacitance que evalúa independientemente la corriente que circula por cada conductor de la superficie, Mutual Capacitance utiliza un eje de electrodos para transmitir la corriente y el otro eje para medirla, esto permite que el controlador pueda detectar y ubicar múltiples puntos de contacto simultáneamente debido a que mide individualmente la capacitancia de cada intersección y no la corriente total que atraviesa cada electrodo.

Para calcular la capacitancia mutua de cada nodo, el controlador táctil realiza un escaneo de pantalla en el que se evalúan una por una todas las filas y columnas del dispositivo. El proceso de escaneo comienza desde el controlador enviando una señal a través de un simple electrodo de envío para analizar cada electrodo receptor que lo intercepta por medio de un sensor de interfaz analógico (*Analog Front End*) que capta la capacitancia mutua de todas las intersecciones de ese mismo electrodo de envío que posteriormente filtrará y amplificará.

Luego, esta información pasa por un convertidor analógico-digital (ADC) y más tarde por un procesador digital de señales (DSP) que ejecuta los algoritmos programados para remover las señales no deseadas como el ruido o toques accidentales, por ejemplo, los que se provocan sobre el marco de la pantalla al sostener el dispositivo. Este proceso se realiza para cada electrodo de envío completando un ciclo que se repite indefinidamente.

Enseguida, el sistema de control compara cada capacitancia mutua con el umbral de toque establecido y si la capacitancia reducida de algún nodo cruza este umbral se considera que ha ocurrido un “toque”. Por último, convierte estas mediciones en coordenadas para después enviar a la computadora la ubicación exacta del punto de contacto con la superficie. En la imagen 1.17 se representa este proceso mediante un diagrama de bloques.

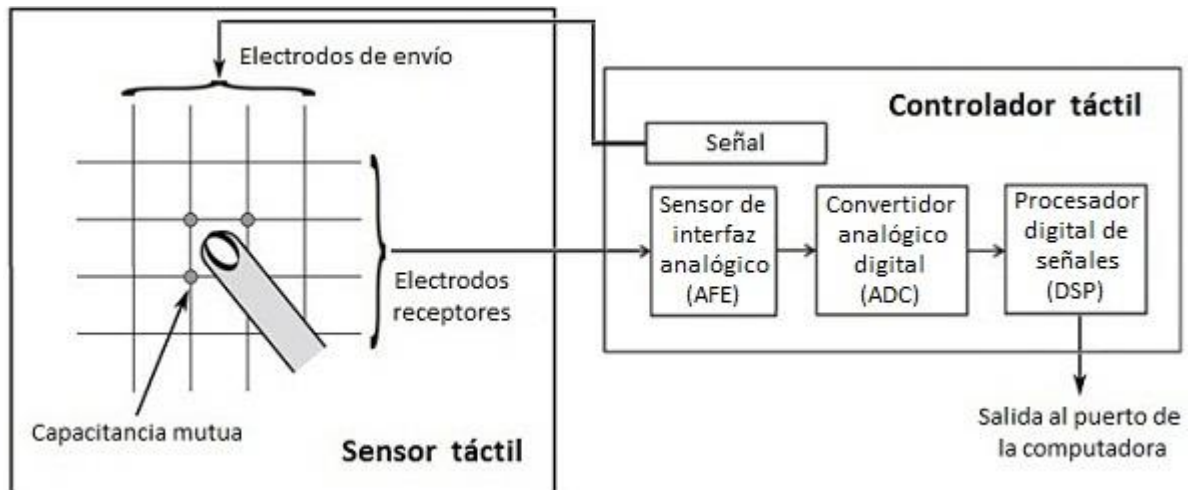


Imagen 1.17 Diagrama de bloques del funcionamiento básico de Mutual Capacitance.

Frecuentemente, un Smartphone cuenta con 9 columnas y 16 filas teniendo un total de 144 intersecciones, lo que hace que el controlador sea relativamente complejo y costoso, pero de la misma forma hace al sensor táctil relativamente sin límite de toques simultáneos considerando que puede identificar todos los dedos que quepan en la pantalla dependiendo únicamente del tamaño de la superficie táctil y del diseño del controlador.

La capacitancia mutua posibilita la interacción de múltiples dedos, palmas, u objetos capacitivos al mismo tiempo y con gran precisión, los cuales son computados más fácilmente por el controlador de Pro-Cap que por el de Surface Capacitive. Muchas personas piensan que para un celular con uno o dos toques es suficiente, no obstante, hoy en día existen aplicaciones que requieren utilizar aún más de dos. El sistema operativo Windows utiliza una función multitáctil con un mínimo de 5 toques y llega a soportar hasta 100, mientras que Apple sólo emplea 15 para el iPhone: 10 dedos, 2 palmas y otros 3, puesto que en un celular la activación de todos ellos en el mismo instante indicaría que se encuentra pegado al rostro o dentro de una bolsa del pantalón por lo que se programan para ignorar todos estos puntos de contacto.

El campo generado por Mutual Capacitance es un campo electrostático tridimensional, lo que ocasiona que el sensor táctil detecte un “toque” a distancia o sin tener contacto directo con la capa de toque permitiendo el montaje de capas protectoras de alta resistencia contra fracturas y arañazos sin afectar su funcionamiento. Normalmente, el software es configurado para activar

una función sólo cuando existe contacto físico, sin embargo, extendiendo su rango de sensibilidad posibilita la detección de toques con guantes quirúrgicos o de algodón, tal como se ejemplifica en la imagen 1.18. Por lo tanto, un panel con esta tecnología se adapta a diversas formas de interacción táctil de acuerdo con las necesidades del usuario final.



Imagen 1.18 Interacción táctil con guantes de látex [7].

Algunas compañías como EtherTouch están aprovechando esta propiedad para desarrollar pantallas táctiles 3D utilizando el eje Z para interactuar en tres dimensiones [10].

La tabla 1.1 contiene algunas de las diferencias entre Self Capacitance y Mutual Capacitance.

Características	Self Capacitance	Mutual Capacitance
Patrones del sensor táctil	Multi-pad, filas y columnas	Varios diseños usualmente basados en filas y columnas
Número de capas	1 o 2	2
Capas de protección	Estándar	Alta resistencia
Transparencia	Aproximadamente 90 %	Aproximadamente 90 %
Sensibilidad	Estándar	Alta
Tipo de electrodos	Sólo electrodos de recepción	Electrodos de envío y recepción
Escaneo	Cada electrodo individualmente	Cada intersección entre electrodos
Medición	Capacitancia entre el electrodo y la tierra	Capacitancia entre electrodos
Puntos fantasmas	NO en multi-pad, SÍ en filas y columnas	NO
Multitoque	SÍ en multi-pad, NO en filas y columnas	SÍ
Tipo de entrada táctil	Dedos sin guantes, stylus capacitivos estándar	Dedos con o sin guantes, stylus capacitivos de punto fino

Tabla 1.1 Comparación entre Self Capacitance y Mutual Capacitance.

1.2.3 Controlador

La velocidad de escaneo de un controlador de Pro-Cap se encuentra en un rango de 20 a 200 Hz [6] siendo bastante rápida, a pesar de esto, el tiempo de respuesta del sistema puede ser retrasado por la tarjeta gráfica, cálculos, aplicaciones e incluso el mismo sistema operativo, por lo que afecta directamente la percepción del usuario acerca de la pantalla táctil.

Un controlador táctil de Pro-Cap utiliza la interpolación³ para localizar con mayor precisión las coordenadas del punto de contacto, una vez obtenidas las mediciones de las filas y columnas, el valor absoluto de la posición identificada depende de la resolución del convertidor analógico digital del controlador de aproximadamente 10 bits (1024x1024) [6].

En cuanto a la ubicación del controlador táctil (circuito integrado), ésta puede diferir dependiendo de los requisitos del dispositivo, aplicación y fabricante, puede ser montado tanto

³ Método matemático utilizado para hallar puntos de muestreo que complementan una señal discreta.

en la placa del sistema como en el mismo sensor táctil debido a que se corre el riesgo de percibir interferencias electromagnéticas si el controlador llegara a ser interconectado por medio de una larga membrana, la que en su caso actuaría como antena.

En ocasiones la detección, precisión y sensibilidad de toque puede verse afectada por el montaje de capas gruesas de protección o por el uso de guantes, lo que provoca una mayor distancia entre el dedo y los electrodos. Para ayudar a corregir este problema se emplea un controlador con una relación señal/ruido⁴ (SNR) muy grande con el que es posible aumentar el nivel de sensibilidad permitiendo hacer lecturas más fuertes para percibir señales débiles y reunir más puntos de referencia acerca del toque dentro de un área mayor. Sin embargo, esto puede ser un arma de doble filo ya que podría captar accidentalmente interferencias electromagnéticas de ambientes ruidosos o incluso ruido producido por elementos internos del mismo dispositivo como la pantalla, antenas y componentes de alta velocidad debido a que maneja cantidades muy pequeñas de corriente para la detección de toques humanos, y aunque el uso de capas adicionales de protección contra el ruido corrija este otro problema también aumentan el costo de manufactura y reduce el brillo de la pantalla. Esto puede generar una gran problemática, pero una solución dada por los fabricantes es que el usuario final decida la sensibilidad del dispositivo basándose en su experiencia.

Un buen controlador debe ser capaz de controlar los cambios eléctricos en el sensor cuando se encuentra en el estado de toque y seguir correctamente los movimientos sin deformarlos.

El uso de un controlador con SNR alto puede reducir el costo del sensor táctil al disminuir las restricciones en su diseño permitiendo usar una gama más amplia de patrones y estructuras de capas, ajustándose a una gran variedad de pantallas y requisitos de aplicaciones. Igualmente, provee una gran experiencia para el usuario final dado que proporciona otros beneficios como encontrar más fácilmente el centro de un toque, mejora la precisión sin necesidad de agregar más canales, permite el uso de guantes, dedos pequeños y plumas conductivas (stylus) de punto fino, e inclusive algunos pueden utilizar stylus pasivos como entrada táctil, como en el caso de Sharp que utiliza lápices ordinarios para detectar la escritura sobre la pantalla, dicho ejemplo se presenta en la imagen 1.19.

⁴ Es la diferencia entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido de fondo, en otras palabras, es la potencia extra que posee la señal de emisión con respecto al medio por el cual se propaga.

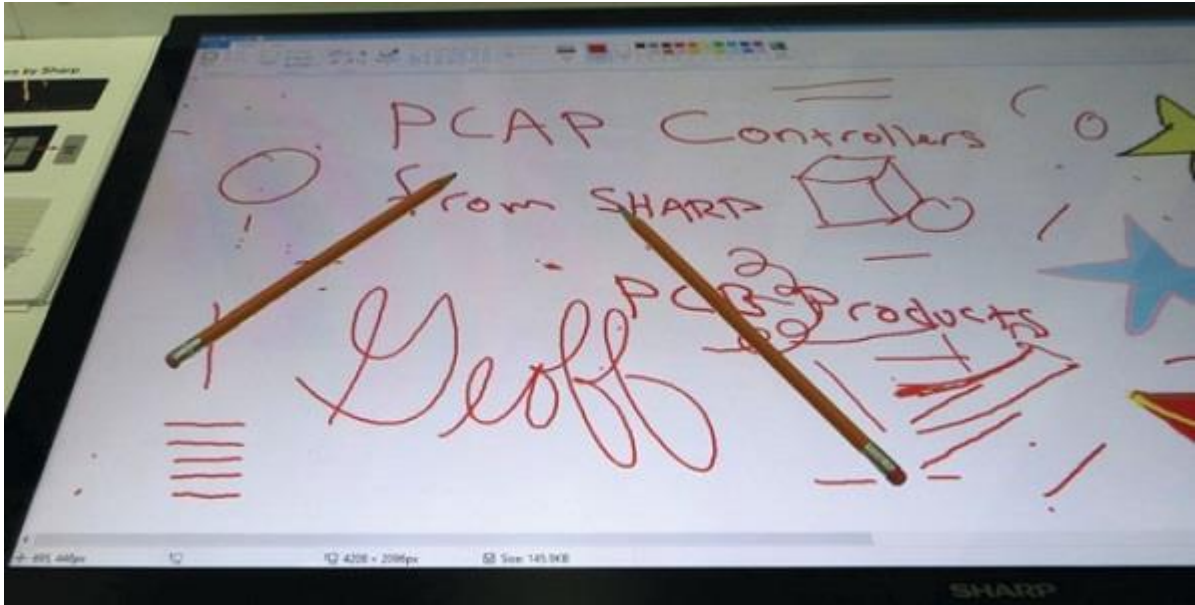


Imagen 1.19 Demostración del controlador táctil de Sharp con lápices como stylus [11].

Muchas veces la ventaja que tiene un controlador de SNR alto sobre uno bajo usando un dedo de tamaño normal y bajo condiciones normales es prácticamente nula, la diferencia sólo es notable cuando se utiliza un dedo pequeño o un stylus capacitivo de punto fino en un ambiente ruidoso, lo que probablemente ocasionaría que el controlador de SNR bajo no distinguiera los toques entre el ruido ambiental.

A menudo el patrón y la estructura de los electrodos son diseñados junto con la arquitectura del controlador para reducir errores y maximizar la relación señal/ruido, un ejemplo de esto sería diseñar el sensor táctil para que ambas capas de electrodos estén a la misma distancia de la capa de toque ocasionando que los niveles de SNR sean iguales tanto para las filas como para las columnas. Algunas compañías combinan algoritmos de Self Capacitance y Mutual Capacitance en su controlador con el objetivo de que el agua no interfiera en la detección táctil.

Actualmente existen fabricantes de hardware que están diseñando su propio firmware para su controlador como es el caso de AMTouch USA y UICO; el primero, con la intención de proporcionar mayor soporte técnico a los distribuidores de equipos y el segundo, para optimizar aplicaciones en ambientes industriales. No obstante, hay otros que se orientan más

en producir tecnología para usuarios inexperimentados lo que consecuentemente reduce la flexibilidad de diseño.

En el caso de Microsoft ha desarrollado un formato estándar de velocidad y datos para que la mayoría de los controladores de Pro-Cap sean compatibles con Windows funcionando directamente a través del puerto USB⁵.

1.3 Caracterización de una Película Capacitiva

Una película capacitiva o *Touch Foil* es un sensor delgado, transparente y flexible que funciona sobre superficies no metálicas como madera, plástico o vidrio. Normalmente es utilizado para crear superficies interactivas junto con una computadora y una pantalla o proyector, las cuales muestran las imágenes con las que interactúa el usuario. Estas películas son ligeras, lo cual permite su instalación sobre ventanas, pantallas de retroproyección o mamparas de cristal; existen en una gran variedad de tamaños, son muy fáciles de instalar, y por su flexibilidad, pueden ser colocadas en superficies curvas.

Debido a las características que presentan las películas capacitivas se decidió adquirir una en línea y realizarle una caracterización con el propósito de corroborar la información aportada por el proveedor, asimismo, se agregaron otros datos posteriormente. Dicha caracterización se describe a continuación.

La película capacitiva adquirida es del fabricante *Shenzhen Xintai Technology* y está hecha con filas y columnas de electrodos en un patrón de ondas impresos sobre PET lo cual le otorga una gran flexibilidad, delgadez y transparencia al sensor táctil que se aprecia en la imagen 1.20.

⁵ El Bus Universal en Serie (*Universal Serial Bus*) es un estándar que define los cables, conectores y protocolos que se deben usar en esta interfaz para la alimentación y comunicación entre la computadora y los periféricos.

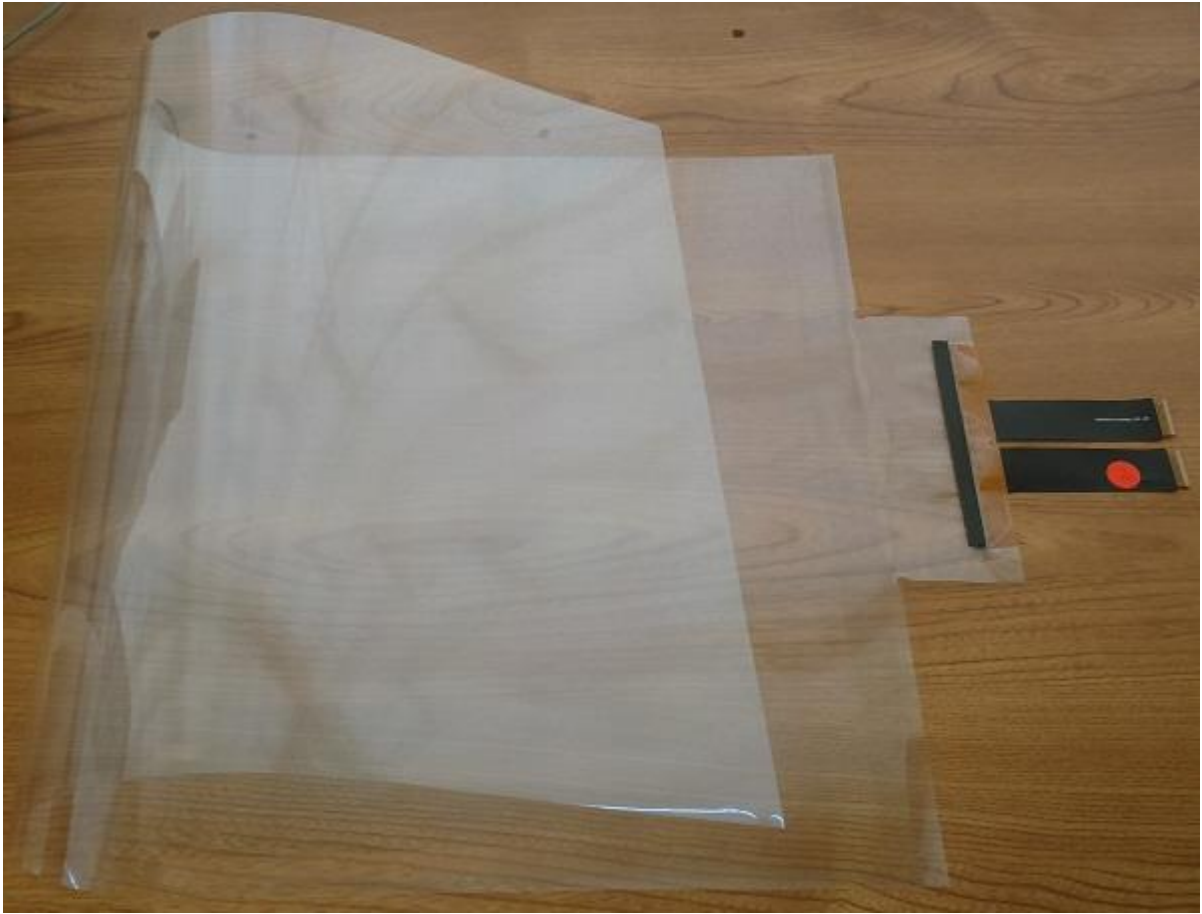


Imagen 1.20 Película capacitiva.

Esta superficie cuenta con las dimensiones de 75 cm x 43 cm, es decir, es una película de 32” (pulgadas) con dos membranas para la conexión del controlador, incluye un cable de 1.32 m de conector macho USB 2.0 a conector macho de 10 pines y un controlador táctil electrónico desmontable de 8.5 cm x 2.5 cm con dos terminales para conectar las membranas y con un conector hembra de 10 pines para enchufar el cable USB. En la imagen 1.21 se pueden ver tanto el cable USB como el controlador electrónico. Este controlador es del fabricante Silicon Integrated Systems (SiS), contiene un sensor de interfaz analógico (Analog Front End), un

convertidor analógico-digital de 12 bits y un procesador tipo RISC⁶ de 32 bits, además, tiene programado un algoritmo con el cual es posible suprimir pequeñas señales de ruido.



Imagen 1.21 Controlador electrónico (izquierda) y Cable de conexión USB (derecha).

⁶ *Reduced Instruction Set Computing* es un tipo de diseño de procesador que emplea un conjunto reducido de instrucciones simples de longitud fija las cuales toman poco tiempo en ejecutarse. Este diseño se creó para restringir el acceso a la memoria ingresando solamente por medio de instrucciones de carga o almacenamiento.

El cable USB está destinado para transmitir las coordenadas de toque a la unidad central de procesamiento al mismo tiempo que energiza tanto al controlador como al sensor táctil con una energía de aproximadamente 0.5 W, 5 V y 100 mA.

El método de fijación o colocación del touch foil puede ser permanente o removible, dado que contiene una capa adhesiva que permite pegarla, aunque también se pueden utilizar láminas adheribles para su constante desplazamiento.

Utiliza la tecnología táctil capacitiva proyectada con el método de Mutual Capacitance para la detección multitáctil, su activación no requiere presión alguna y puede ser con o sin guantes en las manos (dependiendo del grosor) pero no con stylus pasivos. En la imagen 1.22 se ejemplifica la interacción con la película usando guantes.



Imagen 1.22 Interacción táctil usando guantes.

Proporciona un excelente rendimiento bajo condiciones normales (14 % humedad y 19 °C) funcionando correctamente sobre materiales no metálicos, inclusive ni el agua ni el polvo perjudican su operación. Maneja una frecuencia de escaneo de 30 Hz, un tiempo de respuesta

de 50 a 100 ms y tiene una precisión de toque de 1 a 3 mm aproximadamente. Igualmente, posee un alto rango de sensibilidad con los dedos por encima de un vidrio que tiene 6 mm de grosor y no provoca retraso al seguir los movimientos (no drift). Además, tiene compatibilidad con los sistemas operativos: Windows 7, 8, y 10; Android 4.0 o superior; y Linux.

Asume las funciones de mouse, aumenta, reduce, desliza, gira, arrastra, selecciona objetos virtuales y permite acciones multitoque de hasta 10 puntos simultáneos, aunque la compatibilidad en la resolución de pantalla es limitada de acuerdo con el sistema operativo (SO) que se utilice.

Su método de calibración es por medio de una herramienta de software compatible con Windows y descargable de la página de Xintai (<http://www.xinttec.com/English/>). Lamentablemente, no se distinguieron cambios cuando se modificó la sensibilidad y el área de detección de la película capacitiva, así como se marca en la imagen 1.23. Adicionalmente, al intentar el ajuste automático se lanzó el mensaje de error ilustrado en la imagen 1.24. No obstante, dependiendo del SO utilizado, existen diversas herramientas que llevan a cabo una calibración básica de este tipo de sensores táctiles, de entre las cuales, la herramienta que posee Windows tiene una excelente compatibilidad con la película adquirida.

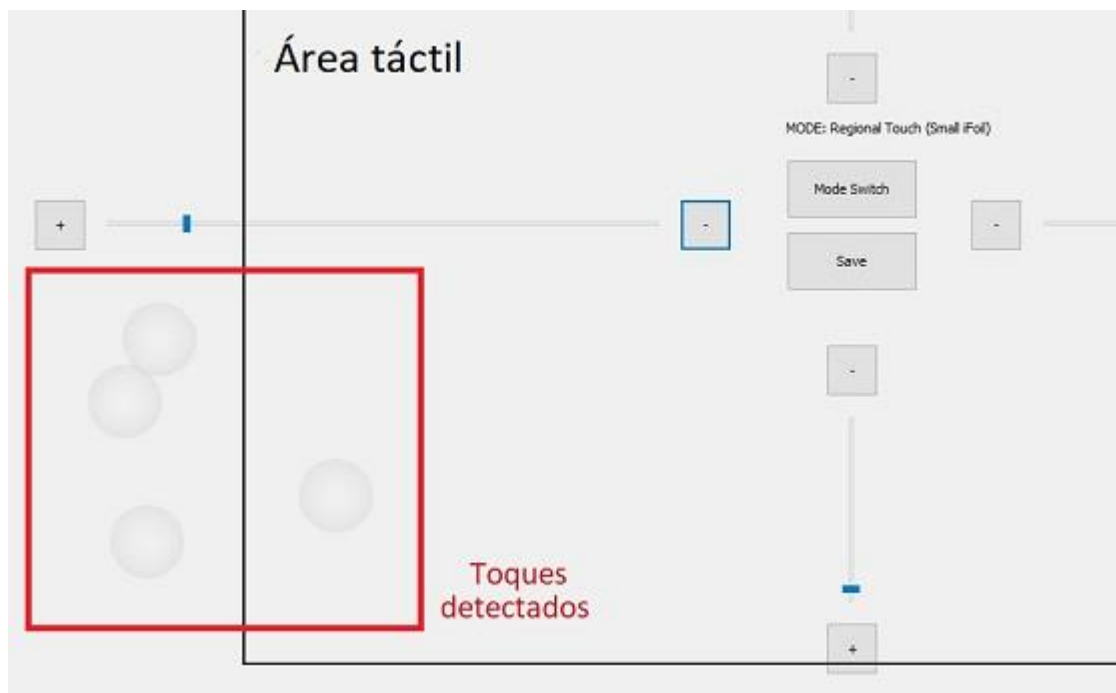


Imagen 1.23 Detección táctil fuera y dentro del área marcada.

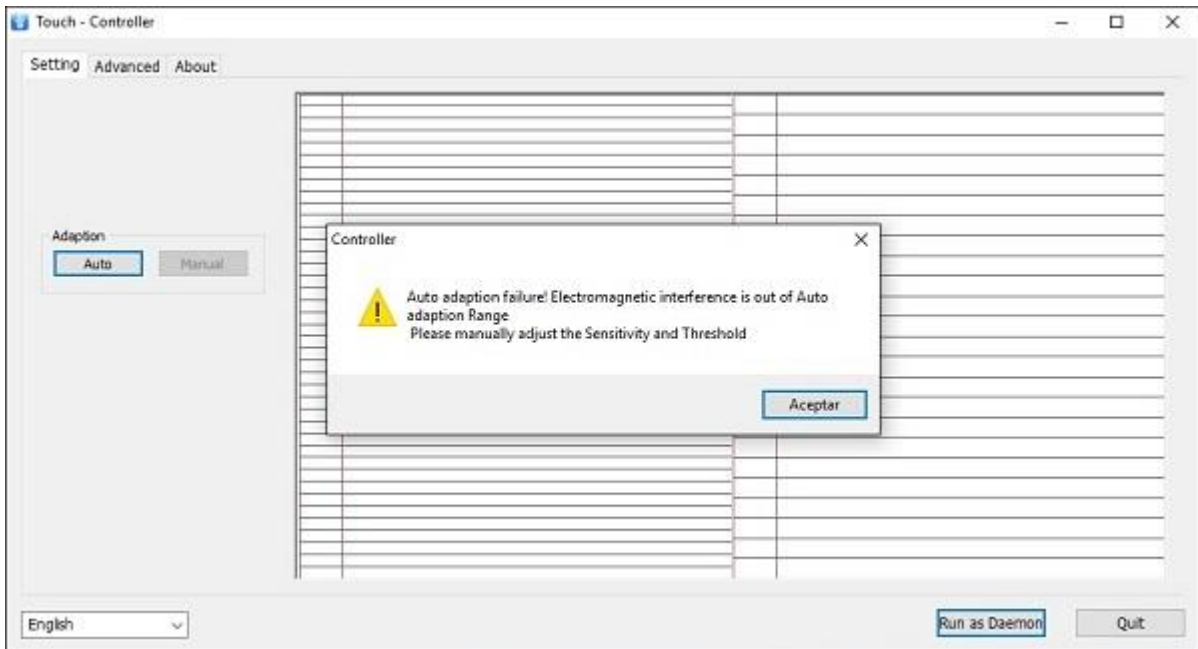


Imagen 1.24 Mensaje de error en la herramienta de software de Xintai.

Tanto para definir la calidad del funcionamiento como la precisión de la película, se realizaron diferentes toques tanto simples como simultáneos sobre la superficie multitáctil y se observaron las distancias entre el dedo y el punto mostrado en la pantalla. La sensibilidad se probó con diferentes presiones de toque y la calibración se realizó mediante la herramienta de Windows, la cual sólo pide colocar el dedo en puntos específicos del área táctil.

En lo referente a las características de funcionamiento y condiciones de trabajo, se hicieron pruebas tocando la superficie a través de objetos hechos de distintos materiales como tela, metal, vidrio y grafito para determinar con cuales era posible la detección táctil. En la imagen 1.25 se señala la interacción multitáctil con y sin guantes en las manos. Asimismo, se realizaron toques de forma directa colocando la película táctil sobre materiales como madera, plástico y vidrio como superficies de apoyo para verificar que estos materiales no afectaran su operación. Del mismo modo, se colocó polvo y agua sobre su superficie para demostrar que estos agentes externos no interfieren en la detección de las manos.



Imagen 1.25 Prueba de toques simultáneos directos y a través de tela.

Finalmente, teniendo el sistema conectado, configurado y calibrado, se probaron algunas de las aplicaciones y programas más comunes en una computadora; como el navegador web, visualizador de imágenes, reproductor de audio y video, procesador de textos, entre otros; dando como resultado un excelente funcionamiento de la película capacitiva.

Capítulo 2

Computadoras de placa reducida

Debido al avance tecnológico y a la gran demanda que han tenido las computadoras tanto en el ámbito laboral como personal, se ha buscado la manera de mejorar muchas de sus funciones y características, ya sea aumentando la velocidad de procesamiento, el número de núcleos del procesador, reduciendo su consumo energético, el costo de manufactura e incluso su tamaño, obteniendo altos niveles de integración en los circuitos y una reducción de componentes en los encapsulados.

En la actualidad, existe una gran variedad de computadoras que emplean una sola placa o tarjeta, las cuales cada día consumen menos energía eléctrica, son más confiables, pequeñas, ligeras y portables en comparación con las de múltiples tarjetas. Por otro lado, esto implica que si existiera una falla principal o se requiriera de una actualización de hardware se tendría que reemplazar toda la tarjeta, puesto que no es sencillo cambiar componentes dentro de una sola placa o un encapsulado. Sin embargo, el consumo de este tipo de computadoras va en aumento y con un menor precio de fabricación gracias al número reducido de circuitos integrados utilizados dentro de cada una.

2.1 Tarjetas de desarrollo de hardware

Con la creciente evolución de las computadoras portátiles vino el surgimiento de las tarjetas de desarrollo de hardware que se utilizan con el propósito de diseñar y desarrollar aplicaciones y prototipos de sistemas embebidos que se encuentran en prácticamente todos los dispositivos digitales que utilizamos hoy en día. Estos sistemas son empleados para realizar una tarea específica o pocas funciones dedicadas, frecuentemente se utilizan en sistemas de tiempo real como en el reconocimiento de voz y cifrado de conversaciones, pero también se pueden encontrar en el control de procesos de producción, taxímetros, decodificadores y

comunicaciones inalámbricas, asimismo, son utilizados para integrar sistemas complejos que realizan tareas más generales como una computadora.

Las tarjetas de desarrollo de hardware usualmente se elaboran bajo la filosofía *open source*⁷ o el término hardware libre el cual se refiere a aquellos artefactos físicos o dispositivos de hardware cuyo diseño, tamaño, especificaciones y diagramas esquemáticos son de acceso público y uso libre ya sea bajo algún tipo de pago o de forma gratuita permitiendo que éste mismo sea copiado, distribuido, modificado y fabricado libremente, ya que de no ser así no se puede considerar hardware libre [12]. En el caso de los dispositivos lógicos programables a menudo se comparten los códigos HDL⁸ que frecuentemente son usados para instalar sistemas SoC⁹ en FPGAs¹⁰ o directamente en diseños ASIC¹¹. La expresión open source también comprende el término software libre o software de código abierto, el cual tiene la misma filosofía que hardware libre pero la aplica en su campo, lo que quiere decir, que el autor o propietario otorga a los usuarios todos los derechos sobre el software tanto en forma de código fuente como de programa compilado con cualquier fin, con o sin cambios y/o mejoras de dicho programa informático que suele estar disponible gratuitamente en internet o a precio del costo de la distribución a través de otros medios. Sin embargo, también puede ser vendido comercialmente, ya que, aunque sea gratuito no es obligatorio que lo sea [13]-[14].

Las tarjetas de desarrollo se pueden dividir principalmente en las basadas en microcontroladores y en las basadas en microprocesadores. Las que contienen microcontroladores, como la que se muestra en la imagen 2.1, suelen ejecutar su propio ambiente o entorno de desarrollo integrado (IDE) del inglés *Integrated Development Environment* [15], el cual es un programa visual de computadora (comúnmente software libre) que sirve para facilitar al usuario la elaboración, desarrollo y programación de software de aplicación que posteriormente será almacenado en el chip, algunos ejemplos son: WinAVR

⁷ Este término se designó para no confundir la palabra libre o gratis *free* en inglés.

⁸ *Hardware Description Language* es un lenguaje de programación que se utiliza para describir los circuitos integrados que se van a simular dentro del hardware empleado.

⁹ *System on a Chip* es un encapsulado que integra gran parte de los componentes de una computadora como el CPU, GPU, DSP, regulador de voltaje, memorias, entre otros.

¹⁰ *Field Programmable Gate Array* es un dispositivo reprogramable que contiene una matriz de compuertas lógicas cuya funcionalidad se puede cambiar mediante un lenguaje de descripción de hardware.

¹¹ *Application Specific Integrated Circuit* es un circuito integrado fabricado para cumplir una función específica.

para los AVR¹² de Atmel, MPLAB para PIC¹³ de Microchip y Arduino IDE con el que se pueden programar diversos microcontroladores y microprocesadores ya sean de las placas Arduino como de otros fabricantes compatibles con las librerías de este entorno de desarrollo, el cual se visualiza en la imagen 2.2. Un IDE generalmente cuenta con herramientas de construcción, un editor de código fuente, un depurador y autocompletado inteligente de código.



Imagen 2.1 Cytron UNO SE incorpora un microcontrolador [16].

Arduino es el IDE y el hardware con la comunidad más grande de seguidores hasta el momento gracias a la popularidad que ha tenido entre programadores, desarrolladores de sistemas embebidos y aficionados de la electrónica en la construcción de proyectos multidisciplinarios. No obstante, este tipo de tarjetas de desarrollo son de escaso rendimiento

¹² Familia de microcontroladores tipo RISC producidos por Atmel, compañía que posteriormente fue adquirida por Microchip Technology Inc.

¹³ Familia de microcontroladores tipo RISC de Microchip Technology Inc.

cuando se busca ejecutar dos o más programas simultáneamente o emplear un sistema operativo para asignar al proyecto características propias de un ordenador.

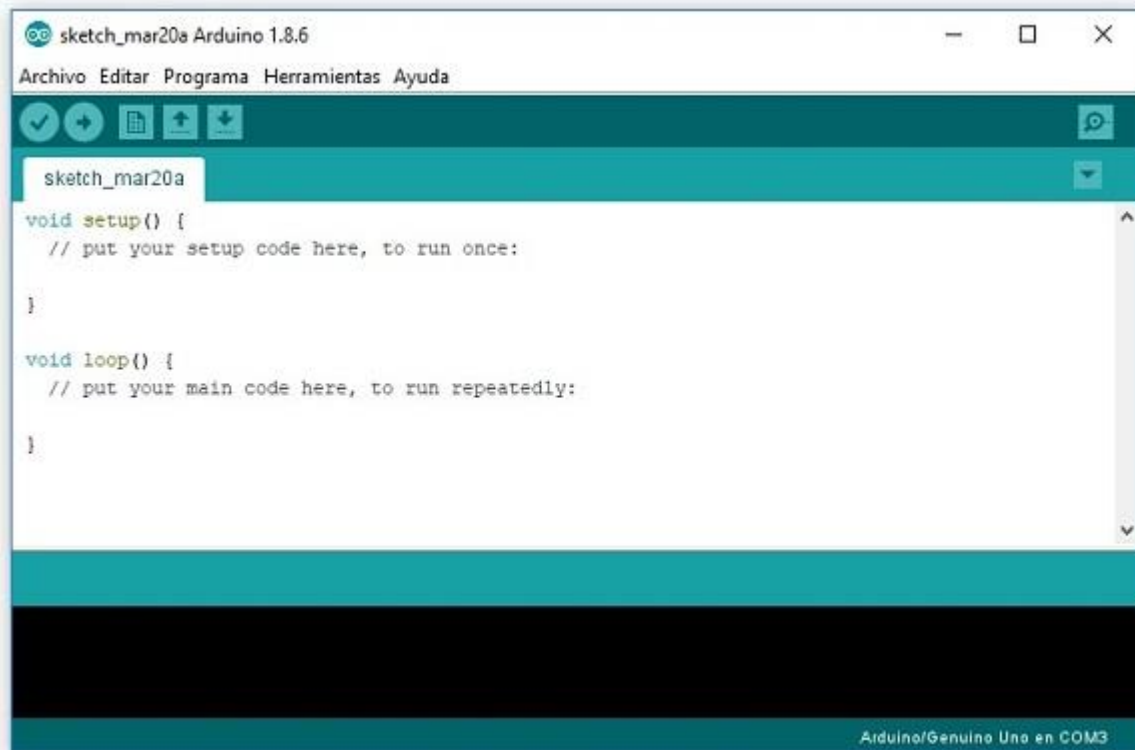


Imagen 2.2 Arduino IDE.

En contraste, las tarjetas basadas en microprocesadores normalmente funcionan de manera similar a una computadora personal ya que son capaces de ejecutar sistemas operativos y una gran variedad de compiladores gracias a la potencia de los procesadores implementados, con la diferencia de que debido a su naturaleza de hardware libre dependen de su firmware y de que los controladores sean compatibles con el dispositivo. Muchas de éstas combinan el rendimiento de un ordenador y las características de hardware que tienen la mayoría de las tarjetas de desarrollo basadas en microcontroladores utilizadas actualmente, donde se incluyen las computadoras de placa reducida. También existen otras que han sido diseñadas para propósitos más específicos como ser una interfaz dentro de un sistema embebido o que por

ejemplo utilicen placas compatibles (shields) con los puertos de expansión de alguna tarjeta Arduino de tal forma que se puedan apilar una sobre otra para extender el hardware de la placa principal. En la imagen 2.3 se observa la tarjeta de desarrollo Red Pitaya, la cual es capaz de analizar señales analógicas en tiempo real por medio de algunas aplicaciones que integra su propio sistema operativo.

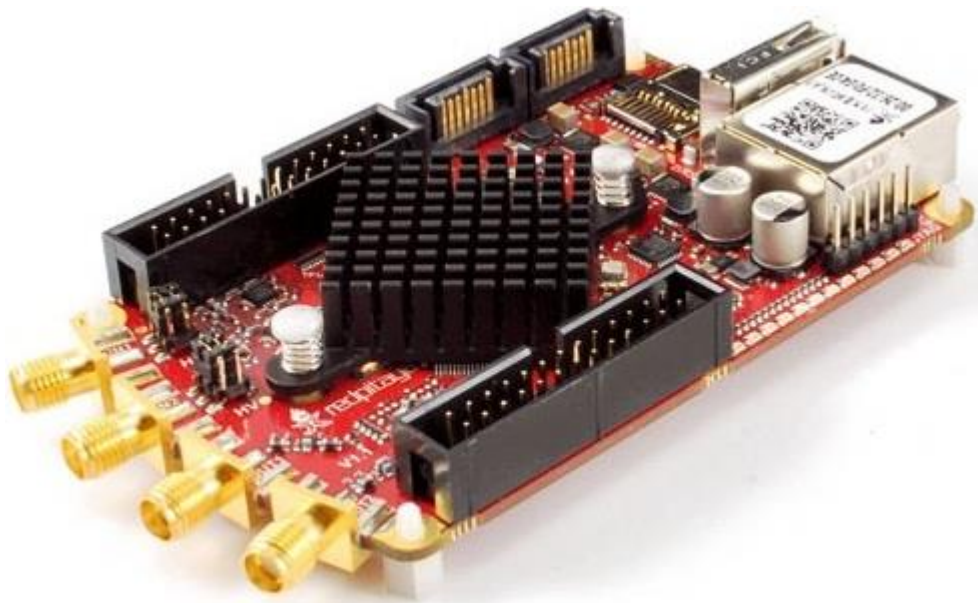


Imagen 2. 3 Red Pitaya STEMLab board 125-14 [17].

2.2 Single Board Computers

Las computadoras de placa reducida o *Single Board Computers* (SBC), son esencialmente computadoras en una sola tarjeta, la cual contiene todos los elementos necesarios para su funcionamiento dentro de la misma placa base (*motherboard*) para definirla como una Unidad Central de Procesamiento (CPU), posee componentes como los puertos de entrada/salida, botones, LEDs indicadores, memoria RAM, microprocesador, Unidad de Procesamiento Gráfico (GPU), entre otros, incluso algunas de estas tarjetas tienen unidad de almacenamiento

interno. A comparación de una computadora de escritorio, las SBC con frecuencia no dependen de las tarjetas de expansión para interactuar con los dispositivos periféricos.

En general, estas pequeñas computadoras han sido destinadas al sector educativo computacional puesto que inicialmente fueron desarrolladas con el propósito de acercar a niños y jóvenes al uso de la electrónica y la programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios. Y debido a que gran parte de estos dispositivos son de desarrollo libre se ha optado por dar soporte técnico a través de foros basados en las comunidades de seguidores que aportan constantemente tanto experiencia como soluciones a los problemas que se puedan presentar en cada tarjeta, lo cual es una gran ventaja dado que se llega a interactuar desde un mismo lugar con diversos usuarios tanto principiantes como experimentados en diferentes disciplinas. Algunas de estas tarjetas tienen compatibilidad con los esquemas de ciertas placas Arduino y con las librerías del ambiente de desarrollo de esta misma organización, haciendo más grande su campo de aplicación.

Este tipo de computadoras cuentan normalmente con un microprocesador de arquitectura ARM (*Advanced RISC Machine*) de uno o varios núcleos aunque también existen algunas con procesadores de arquitecturas x86 o x64 dependiendo del fabricante, por ejemplo, Intel Galileo y Gizmo 2 que utilizan un procesador x86, en el caso de Jaguar One Plus, INFORCE 6640 y UDOO x86 Advanced Plus emplean un procesador quad core de arquitectura x64.

En un inicio ARM solamente era de 32 bits pero ahora también se encuentra de 64 bits tanto en los procesadores como en el conjunto de instrucciones, esta arquitectura de procesador tiene un diseño enfocado en la arquitectura RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) pero con características adicionales que le permiten alcanzar un mejor rendimiento con una menor cantidad de transistores, lo que provoca una disminución de temperatura de trabajo, de gasto energético y de costos de producción. Este tipo de procesadores son ideales para dispositivos de gran capacidad de procesamiento y bajo consumo energético o que funcionan con pilas como los celulares, videojuegos portátiles, reproductores de música, juguetes y ropa inteligente, por lo que se han convertido en los microprocesadores preferidos de la industria electrónica y en la principal razón por la cual las SBC se consideran como dispositivos rentables en aplicaciones de baja potencia.

Las computadoras de placa reducida se utilizan ocasionalmente en sistemas embebidos o entornos industriales donde sirven como interfaces o controladores de algún tipo de sistema aún más complejo ya que no utilizan mucho espacio y son de muy bajo costo en comparación con una computadora personal. Por lo general, emplean lenguajes de programación como Scratch, Python, Java, JavaScript, C, C++, entre otros, asimismo, existen diferentes sistemas operativos con los que pueden trabajar.

2.3 Sistemas operativos compatibles

A diferencia de las placas de desarrollo basadas en microcontroladores o los dispositivos lógicos programables como las FPGA o los CPLD¹⁴, las computadoras de placa reducida con frecuencia no utilizan ambientes de desarrollo debido a que son capaces de ejecutar sistemas operativos, mismos que pueden ya venir incluidos en la memoria, normalmente son alguna distribución de GNU/Linux puesto que este tipo de software es open source y se puede modificar su código fuente para que funcione como se requiera.

Actualmente hay una gran variedad de sistemas operativos compatibles con las SBC como Debian, Ubuntu, Fedora, Android, Windows 10 IoT Core y muchos otros más, inclusive se encuentran algunos diseñados especialmente para tener compatibilidad de hardware con su misma tarjeta como Raspbian, Cubian, Bananian, UDOObuntu y Pidora. Algunos de los sistemas operativos más usados en este tipo de computadoras se presentan en la imagen 2.4.

Además, existen sistemas operativos de tiempo real (*Real Time Operating System*) compatibles con diferentes tipos de procesadores (incluidos los ARM) e incluso pueden ser implementados en microcontroladores y procesadores digitales de señales, que son usados típicamente en sistemas embebidos donde cualquier evento producido en el hardware puede hacer que se realice una función. Estos sistemas se utilizan para procesar datos a medida que entran, dedicándose a un conjunto limitado de tareas por lo que es importante que cumplan con los plazos de tiempo en su ejecución y en la atención de interrupciones. La característica

¹⁴ *Complex Programmable Logic Device* es un dispositivo lógico programable que se conforma de una matriz de compuertas lógicas al igual que una FPGA pero con menor cantidad de ellas, se puede considerar su antecesor.

clave de estos sistemas es la rapidez con la que pueden responder a un evento dado, de manera que tienen un tiempo finito en la duración de las interrupciones y se implementan protocolos en la selección de tareas para evitar que el sistema falle, el tiempo de respuesta incluye hasta cualquier retraso que pueda tener el mismo sistema operativo. Ejemplos de RTOS son: ChibiOS/RT, NuttX, LynxOS y QNX.



Imagen 2.4 Sistemas operativos compatibles con las SBC.

Por otro lado, se pueden encontrar centros multimedia de entretenimiento o reproductores de medios basados generalmente en Linux con un sistema operativo mínimo, el cual incluye sólo las partes necesarias para ejecutar el centro multimedia sin tener que entrar primero al escritorio del sistema, esto hace que el reproductor sea más eficiente, más seguro y más rápido a que si fuera ejecutado en un sistema operativo completo de propósito general, algunos ejemplos son: LibreELEC, Openelec, xbian y OSMC, este último se visualiza en la imagen 2.5.

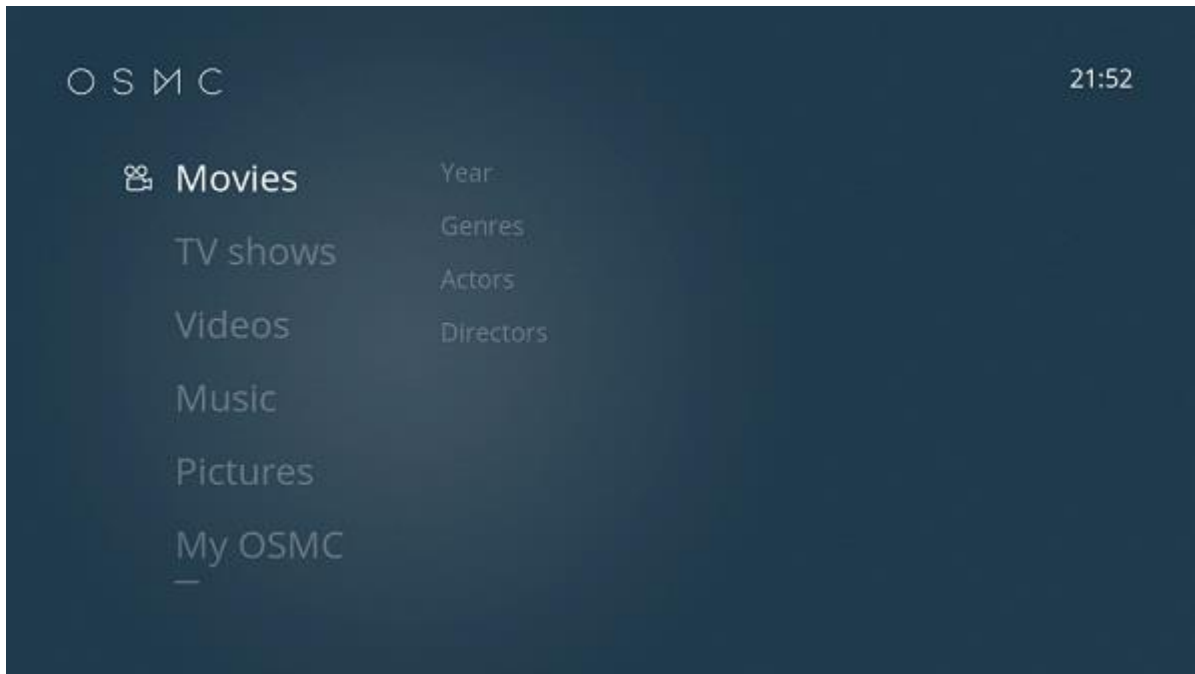


Imagen 2.5 Interfaz gráfica de OSMC [18].

2.4 Accesorios

Es posible aumentar la cantidad de funciones de las single board computers con placas de expansión, las cuales permiten extender la variedad de dispositivos que se pueden conectar.

Por otra parte, las SBC como cualquier otra computadora requieren de accesorios para alcanzar una funcionalidad completa dependiendo del tipo de proyecto que se pretende desarrollar. Pese a que existe un gran número de accesorios compatibles con este tipo de computadoras sólo se mencionarán los más esenciales.

2.4.1 Periféricos básicos

La pantalla o display, el mouse y el teclado son de los periféricos más elementales y conocidos que usan las computadoras de placa reducida.

2.4.2 Fuente de alimentación

Para energizar una SBC se logra mediante el puerto USB de una computadora, un eliminador o pilas, aparte del cable adecuado para los puertos requeridos. Todo esto depende principalmente del diseño de la tarjeta.

2.4.3 Cable Ethernet

Este cable sirve esencialmente para tener comunicación con la tarjeta y otros dispositivos a través de la red donde se encuentren conectados. Es usado para tener conexión a internet y maneja velocidades de transmisión de datos de 10, 100 y 1000 Mbps¹⁵.

2.4.4 Cable HDMI

El cable HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*) es empleado para transmitir audio y video digital. El tipo A es el más común y tiene 3 tamaños: estándar, mini y micro.

2.4.5 HUB USB

Es un accesorio que hace posible conectar varios dispositivos USB a un mismo puerto, operando simultáneamente sin que su funcionamiento se vea afectado. Es de gran ayuda cuando no hay suficientes puertos USB disponibles para la cantidad de dispositivos que se pretenden usar al mismo tiempo.

En el mercado se encuentra una extensa variedad de formas, tamaños, colores y diseños de HUBs, aunque los más comunes son los de cuatro puertos debido a que la corriente que suministra cada puerto USB del ordenador es de aproximadamente 500 mA, la cual es asignada en porciones de 100 mA para cada puerto del HUB aparte de los 100 mA que

¹⁵ Un Mbps es ocho veces menor a un MB/s.

requiere para autoalimentarse. Esto quiere decir que si un HUB cuenta con un mayor número de puertos su flujo eléctrico se verá estrictamente reducido por lo que es necesario incorporar una fuente de alimentación externa que sea capaz de proporcionar a cada dispositivo la energía suficiente para su funcionamiento.

2.5 Almacenamiento de datos

Para guardar, mostrar y recuperar la información que manipulan las single board computers se utilizan diversos tipos de dispositivos y medios de almacenamiento de datos, los cuales no se deben confundir, puesto que los dispositivos son los que realizan las operaciones de lectura y escritura sobre los medios, mientras que estos últimos se encargan de retener la información escrita. Estas computadoras pueden incluir o no una memoria interna tipo flash la cual es primordial para arrancar el sistema operativo, si no es así, se puede arrancar el sistema desde la unidad de almacenamiento externo. Normalmente, contienen un puerto para tarjeta *microSD* además de las interfaces de conexión para dispositivos de almacenamiento auxiliar como los discos duros, discos de estado sólido, unidades de discos ópticos y memorias USB.

A continuación se describen brevemente los dispositivos de almacenamiento anteriormente mencionados:

2.5.1 Disco duro

Hard Disk Drive (HDD) es un dispositivo que emplea un sistema de grabación magnética para almacenar archivos digitales en discos de aluminio, cristal o cerámica, dichos discos están recubiertos con puntos de un material magnético y unas capas de protección.

Esta unidad requiere de su propia fuente de alimentación para su funcionamiento debido a los componentes electromecánicos que posee, además, sus discos son capaces de contener los datos una vez que el dispositivo ha sido desconectado de la energía eléctrica (memoria no volátil). Se han fabricado diversos tamaños de HDD pero los más empleados hoy en día son

los de 3.5" (101.6 mm × 146 mm × 25.4 mm) para las computadoras de escritorio y los de 2.5" (69.85 mm × 100 mm × 9.5-15 mm) para las laptops.

En general, los discos duros son empleados como memoria primaria para guardar el sistema operativo pero también se pueden ocupar como memoria secundaria para los programas, archivos de texto, audios, imágenes, videos, entre otros.

Para transferir datos desde o hacia el HDD existen básicamente cuatro estándares de conexión que son: IDE/PATA¹⁶, SATA¹⁷, SCSI¹⁸ y SAS¹⁹, sin embargo, pueden encontrarse discos duros externos de conexión USB. SATA es el estándar más usado, incluso se encuentra presente en los discos de estado sólido y las unidades de discos ópticos. Su versión más reciente es SATA III, capaz de transmitir datos a una velocidad máxima de 600 MB/s.

2.5.2 Disco de estado sólido

Solid State Drive (SSD) es un dispositivo que emplea circuitos integrados para grabar eléctricamente información digital y es usado frecuentemente como memoria auxiliar.

En comparación con los discos duros tradicionales son menos sensibles a los golpes debido a que no contienen partes móviles y por lo mismo son prácticamente inaudibles, en otras palabras, no producen ruido. Asimismo, consumen menos energía, producen menos calor y requieren menos espacio, sin embargo, heredaron las mismas dimensiones comerciales de los HDD y ocupan la misma interfaz SATA. Adicionalmente, arrancan más rápido, poseen mayores velocidades de lectura y escritura, y su rendimiento no se deteriora mientras se llena el medio, no obstante, las operaciones de escritura serán cada vez más lentas a medida que la unidad envejezca.

¹⁶ *Parallel Advanced Technology Attachment* originalmente *Integrated Drive Electronics* es actualmente muy poco usado.

¹⁷ *Serial Advanced Technology Attachment*.

¹⁸ *Small Computer System Interface* (conexión en paralelo) fue diseñada especialmente para discos duros de gran capacidad de almacenamiento y altas velocidades, es ampliamente usado en estaciones de trabajo y servidores.

¹⁹ *Serial Attached SCSI* es el sucesor del SCSI pero en conexión serie que termina con la limitación de 15 dispositivos conectados manteniendo una velocidad constante para cada uno.

Uno de los principales inconvenientes que tienen los SSD, son sus elevados costos, sumado a esto y a pesar de que pueden leer los datos un sin número de veces contienen un número limitado de ciclos de escritura, lo cual se traduce en un menor período de vida útil. Otro de los problemas que se presentan en estos dispositivos, es que al ocurrir un fallo físico es imposible recuperar la información.

Actualmente se están desarrollando dispositivos que combinan el SSD y el HDD, creando las unidades de estado sólido híbridas (SSHD²⁰) que intentan aportar lo mejor de ambas tecnologías.

2.5.3 Unidad de discos ópticos

Este dispositivo utiliza rayos láser para realizar e interpretar surcos microscópicos en las caras de los discos ópticos que son su medio de almacenamiento, algunos ejemplos de estos discos son: CD, DVD y Blu-ray (BD). Tanto las unidades como los discos pueden ser de solo lectura o de lectura y escritura. Estos dispositivos han reemplazado totalmente a las disqueteras y a las unidades de cinta magnéticas como almacenamiento auxiliar debido al bajo costo de los medios ópticos.

2.5.4 Memoria USB

Un *pendrive* o memoria USB es un dispositivo que contiene un chip de memoria flash como medio de almacenamiento de datos, un controlador para la gestión de la información, un oscilador de cristal, una interfaz USB para una comunicación serie con el CPU y un LED indicador. También, puede incluir un interruptor de seguridad contra escrituras y un espacio disponible para un segundo chip de memoria flash lo que facilita que un mismo diseño posea diferentes capacidades de almacenamiento. Al igual que los discos de estado sólido su tiempo de vida útil está limitado por el número de ciclos de escritura. La energía es suministrada desde la PC a través de un par de pines del puerto USB mientras que los datos son

²⁰ *Solid State Hybrid Drive.*

transmitidos por otro par, por lo que se recomienda “quitar de forma segura” la unidad antes de desconectarla físicamente puesto que se pueden perder o dañar los datos si están siendo ocupados por algún otro programa. En la tabla 2.1 se encuentran los atributos básicos que posee cada generación de memorias USB.

La mayoría de estas memorias poseen la característica *Plug and Play*, es decir, gran parte de los sistemas operativos modernos pueden leer o escribir en dichas unidades sin necesidad de drivers (controladores de software) adicionales. Para usar Plug and Play correctamente tanto el sistema operativo como el dispositivo a instalar deben ser compatibles con esta característica, además, la BIOS debe ser capaz de soportarla.




Atributo	Generación		
	Default	High Speed	Super Speed
Logotipo			
Versión	1.1	2.0	3.0
Capacidad	Desde 8 MB hasta 256 MB	Desde 128 MB hasta 256 GB	Desde 1 GB hasta 2 TB
Velocidad máxima ideal ²¹	1.5 MB/s	60 MB/s	600 MB/s
Número de contactos	4	4	6
Ahorro de energía	No	No	Sí
Compatibilidad con versiones anteriores	–	Sí	Sí

Tabla 2.1 Atributos básicos que poseen las generaciones de memorias USB.

²¹ Las velocidades de escritura son menores.

Existen aplicaciones como H2testw que miden la velocidad de lectura y escritura de algunos dispositivos de almacenamiento, inclusive pueden detectar sectores dañados (corruptos) o si la capacidad es falsa.

2.5.5 Memoria flash

La tarjeta de memoria o *memoria flash* es un medio de almacenamiento que implementa circuitos integrados para guardar y borrar información binaria a través de pulsos eléctricos. Es considerada como la evolución de EEPROM, su costo es considerablemente bajo, posee una gran capacidad de almacenamiento y puede actualizarse fácilmente. Este tipo de tarjetas pueden encontrarse como memoria interna o externa de teléfonos móviles, tabletas, cámaras digitales, videojuegos, entre otros. Pueden ser leídas y grabadas por dispositivos llamados “lectores de tarjetas de memoria”.

A lo largo de los años se han desarrollado diversos estándares para memorias flash, por ejemplo: Compactflash, SmartMedia, Memory Stick, MultiMediaCard (MMC), Secure Digital (SD) y XD-picture, no obstante, el más dominante hoy en día es SD. Secure digital es una versión avanzada del estándar MMC que comprende principalmente tres categorías de capacidad de almacenamiento hasta el momento aparte de las especificaciones para aplicaciones opcionales. En la tabla 2.2 se presentan las características principales de estas tres especificaciones de capacidad.




Característica	Especificación		
	Standard Capacity	High Capacity	Extended Capacity
Logotipo			
Siglas	SDSC	SDHC	SDXC
Rango de Capacidad	Hasta 2 GB	Superiores a 2 GB y hasta 32 GB	Más de 32 GB hasta un máximo de 2 TB
Sistema de Archivos ²² recomendado	FAT 12 y FAT 16	FAT 32	exFAT
Dimensiones SD	32 mm x 24 mm x 2.1 mm		
Dimensiones miniSD	21.5 mm x 20 mm x 1.4 mm		
Dimensiones microSD	15 mm x 11 mm x 1 mm		

Tabla 2.2 Características de las especificaciones SD por capacidad.

Recientemente se dio a conocer la nueva especificación 7.0 *SD Express* que comprende capacidades por encima de los 2 TB hasta 128 TB (UltraCapacidad) y con una velocidad máxima de 985 MB/s, sólo es cuestión de tiempo para que esté disponible en el mercado.

En relación con las velocidades de trabajo de las tarjetas SD hay varias formas de agruparlas, a pesar de ello, usualmente se indican de forma comercial dos tipos de velocidades, una es la velocidad mínima de escritura y la otra es la velocidad máxima del bus. La primera puede organizarse en tres clases: Speed Class, Ultra High Speed (UHS) Class y Video Speed Class, esta última ha surgido como consecuencia de la exigencia de grabación de vídeo de alta resolución (4K y 8K) debido a que se requiere de una velocidad mínima de escritura constante para evitar pérdidas de cuadros durante la grabación con el objetivo de que al final se tenga una buena reproducción. Las memorias son marcadas con símbolos y números para indicar su clase y velocidad mínima de escritura, tal como se clasifican en la tabla 2.3. Aunque, en ocasiones se colocan algunos signos para señalar su compatibilidad con diferentes dispositivos.

²² Son los métodos y estructuras que emplea el sistema operativo para designar la ubicación de un archivo, en otras palabras, es la forma en la que se organizan los archivos dentro de la memoria.

Clases de velocidad			Velocidad mínima de escritura	Resolución de video
Speed Class	UHS Class	Video Speed Class		
CLASS 2			2 MB/s	
CLASS 4			4 MB/s	
CLASS 6		V6	6 MB/s	
CLASS 10	U1	V10	10 MB/s	
	U3	V30	30 MB/s	
		V60	60 MB/s	
		V90	90 MB/s	

Tabla 2.3 Velocidad mínima de escritura en la grabación de video de las tres clases de velocidad.

Con respecto a la velocidad máxima del bus, la velocidad que alcanza cada especificación depende directamente de la interfaz de bus y su modo de transferencia, como se indica en la tabla 2.4. Las interfaces Default, High Speed y UHS-I tienen solamente una línea de pines para la comunicación con los dispositivos mientras que en UHS-II y UHS-III se incorpora una segunda línea de pines por donde trabaja esta nueva interfaz física, ejecutando Half y Full Duplex²³ en UHS-II y solo Full Duplex en UHS-III. La velocidad máxima del bus indica la velocidad máxima que puede alcanzar cada tipo de interfaz y no la que debe alcanzar la tarjeta SD ya que esto depende directamente de la marca y fabricante, por lo que se pueden encontrar memorias con las mismas características pero con diferentes velocidades. Además, el lector de tarjeta debe ser del mismo tipo para tener un rendimiento óptimo.

²³ El modo *Full Duplex* envía información a través de un par de pines para datos al mismo tiempo que otro par recibe, es decir, envía y recibe de forma simultánea. Mientras que el modo *Half Duplex* logra duplicar la tasa transferencia utilizando primero ambos pares para enviar y luego para recibir.

Versión de la especificación	Interfaz de Bus	Símbolo de la interfaz de Bus	Modo de transferencia	Velocidad máxima del bus	Tipo de capacidad
1.01	Default	–	–	12.5 MB/s	SDSC SDHC SDXC
1.10	High	–	–	25 MB/s	SDSC SDHC SDXC
3.01	UHS-I	I	SDR12 SDR25 SDR50/DDR50 ²⁴ SDR104	12.5 MB/s 25 MB/s 50 MB/s 104 MB/s	SDHC SDXC
4.00	UHS-II	II	Full Duplex Half Duplex	156 MB/s 312 MB/s	SDHC SDXC
6.00	UHS-III	III	Full Duplex Full Duplex	312 MB/s 624 MB/s	SDHC SDXC

Tabla 2.4 Velocidad máxima posible de cada interfaz de bus.

Las tarjetas SD son las más comúnmente empleadas por los sistemas embebidos sobre todo como unidades de memoria auxiliar puesto que son memorias extraíbles, sin embargo, también se llegan a utilizar como almacenamiento principal, especialmente cuando el sistema no posee una memoria interna o no es lo suficientemente grande.

Embedded MultiMedia Card (eMMC) es la versión de MMC que integra memoria flash y controlador en un chip, frecuentemente empotrado en la placa madre de sistemas embebidos para implementarlo como memoria interna del sistema, no obstante, es posible encontrarlos como tarjetas de memoria externa.

²⁴ En el caso de *Single Data Rate* se utiliza cada flanco de subida del pulso de reloj para transferir 4 bits y en *Double Data Rate* se utiliza tanto el flanco de subida como el de bajada transmitiendo 8 bits (1 Byte) durante un ciclo de reloj, por lo tanto, ejecuta la transferencia en la mitad de tiempo.

2.6 Tarjetas más notables

En el mercado digital pueden encontrarse cientos de computadoras de placa reducida que sólo hasta hace unos años eran difícil de adquirir las cuales varían en precio, dimensiones, componentes básicos e incluso campo de aplicación. Algunas corporaciones que desarrollan este tipo de dispositivos son: Gumstix, Inforce Computing, Jaguar Electronic y SolidRun, sin embargo, las más destacadas en este sector provienen de Estados Unidos, Asia y Europa.

A continuación se describen las SBC más nombradas del mercado actual.

2.6.1 ODROID C2

En la imagen 2.6 se aprecia la placa ODROID C2, la cual pertenece a una serie de single board computers elaboradas por la compañía Hardkernel de Corea del Sur.



Imagen 2.6 ODROID C2 [19].

Esta pequeña computadora posee un chip que incorpora una unidad de procesamiento gráfico (GPU) y un procesador ARM v8 quad core de 64 bits a 1.5 GHz. Contiene una memoria RAM de 2 GB, un lector de tarjetas de memoria microSD de hasta 128 GB, un puerto para memoria eMMC de hasta 64 GB, 40 pines de expansión de propósito general (GPIO²⁵), un sensor infrarrojo y un conector DC para energizarla con 5 V y 2 A, del mismo modo, puede ser alimentada mediante el puerto microUSB. Incluye interfaces como Gigabit Ethernet, UART²⁶, USB y HDMI. Soporta Android y diversas distribuciones de Linux.

2.6.2 UDOO QUAD

Las compañías AIDILAB s.r.l. y SECO USA con oficinas en Italia y Estados Unidos trabajan en conjunto para desarrollar la gama de computadoras UDOO, las cuales contienen un microprocesador adicional debido a que han sido diseñadas para tener compatibilidad con las placas Arduino y sus shields.

En la imagen 2.7 se observa esta SBC, la cual tiene un SoC que integra un procesador ARM quad core de 32 bits a 1 GHz y tres GPUs. Dispone de una memoria RAM de 1 GB, una entrada para memorias microSD, dos puertos de 3.5 mm para entrada y salida de audio, 76 pines GPIO compatibles con Arduino DUE y un puerto DC para alimentarla con un voltaje recomendado de 6 V a 15 V. Utiliza interfaces como Gigabit Ethernet, USB, microUSB, CSI²⁷, Wi-Fi, SATA y HDMI. Es capaz de ejecutar Android y algunas distribuciones de Linux incluido UDOOBuntu²⁸, además, puede programarse mediante Arduino IDE.

²⁵ Los *General Purpose Input/Output* son pines genéricos que no tienen ningún propósito especial predefinido, cuyo comportamiento puede ser controlado por el usuario a través de programación.

²⁶ *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* es la interfaz que controla la comunicación serie con los dispositivos conectados a este puerto.

²⁷ *Camera Serial Interface* es el estándar de interfaz que permite conectar una cámara a un procesador mediante un bus serie.

²⁸ Versión de Ubuntu diseñada para las tarjetas UDOO.



Imagen 2.7 UDOO QUAD [20].

2.6.3 Banana Pi M2 Ultra

Es una tarjeta perteneciente a la familia de computadoras de código abierto *Banana Pi* producidas por la compañía china Shenzhen SINOVOIP Co. Ltd., que desarrolla productos de electrónica y telecomunicaciones. Tiene un chip que consta de un microprocesador quad core de 32 bits a 1.5 GHz, una GPU de 500 MHz y una RAM de 2 GB (compartida con la GPU). Cuenta con una memoria interna eMMC de 8 GB, un lector de tarjetas microSD de hasta 64 GB, un micrófono, un puerto de salida de audio de 3.5 mm, un receptor infrarrojo, 40 pines GPIO (compatibles con Raspberry Pi), botones de encendido, restauración y reinicio. Incluye un puerto para conectar una pila aparte del conector DC que tiene para su alimentación eléctrica de 5 V a 2 A. Emplea interfaces como USB, SATA, HDMI, DSI²⁹, CSI, UART, Gigabit Ethernet, Wi-Fi y Bluetooth. Corre Bananian (su propia versión de Debian) así como también otros sistemas operativos compatibles. Esta placa se puede ver en la imagen 2.8.

²⁹ *Display Serial Interface* es una especificación de protocolo y bus serie para la comunicación entre un monitor y una computadora.



Imagen 2.8 Banana Pi M2 Ultra [21].

2.6.4 CubieBoard 6

Esta tarjeta es parte de una serie de computadoras de placa reducida de la organización Cubitech Limited con sede en China. Posee un SoC que integra una GPU, una unidad de proceso de video (VPU) independiente y un microprocesador quad core ARM de 32 bits a 1.2 GHz. Cuenta con una memoria interna eMMC de 8 GB, una memoria RAM de 2 GB, 96 pines de expansión de propósito general, un sensor infrarrojo, entrada para memoria microSD de hasta 32 GB, puertos de entrada y salida de audio de 3.5 mm; e interfaces como Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, SATA, USB y HDMI.

Cubieboard 6 es ilustrada en la imagen 2.9 y puede ser energizada por medio de una pila de litio de 3.7 V o mediante el conector DC con un eliminador de 5 V a 2.5 A, de igual manera, admite la alimentación vía USB. Usualmente ejecuta Cubian (versión de Debian para Cubieboard) y soporta diversas distribuciones de Linux y Android (optimizadas para las Cubieboards).



Imagen 2.9 CubieBoard 6 [22].

2.7 BeagleBone Black

BeagleBoard.org Foundation es una corporación estadounidense no lucrativa que promueve la educación y colaboración entorno al uso de hardware y software libre en la computación embebida, fundada por un grupo de personas apasionadas e interesadas en crear dispositivos potentes, integrados y de código abierto, incluidos varios empleados de Texas Instruments. Su primera producción fue inicialmente financiada y distribuida por Digi-Key, no obstante, actualmente tiene decenas de distribuidores en todo el mundo. Los socios han proporcionado financiamiento continuo para prototipos de SBC mientras que Texas Instruments han brindado apoyo y desarrollo al proyecto BeagleBoard [23].

Las tarjetas de esta fundación son computadoras de placa reducida sin ventilador, de baja potencia y de bajo costo basadas en los procesadores de Texas Instruments con núcleo de la serie ARM Cortex-A, lo que proporciona todas las características de una computadora de escritorio pero sin el volumen, costo ni ruido. Todos los diseños son completamente de código abierto y los componentes están disponibles para que cualquiera pueda fabricar hardware compatible.

El soporte para las placas proviene de la comunidad BeagleBoard activa a través de su página oficial (<http://beagleboard.org>) que posee un foro para los propietarios y desarrolladores

donde intercambian ideas, conocimientos y experiencia. También, la comunidad colabora en el desarrollo de soluciones de proyectos computacionales tales como robótica, impresoras 3D, cortadoras láser, herramientas de fabricación personal y algunos otros tipos de controles.

BeagleBoard.org es una de las comunidades de SBC más grandes del mundo, donde se brinda información completa y detallada de la popular tarjeta BeagleBone Black (BBB) que se muestra en la imagen 2.10. Esta tarjeta tiene un circuito integrado que se compone de un microprocesador ARM single core de 32 bits a 1 GHz, una unidad de procesamiento gráfico y 2 Unidades Programables en tiempo Real (PRU) de 32 bits a 200 MHz.

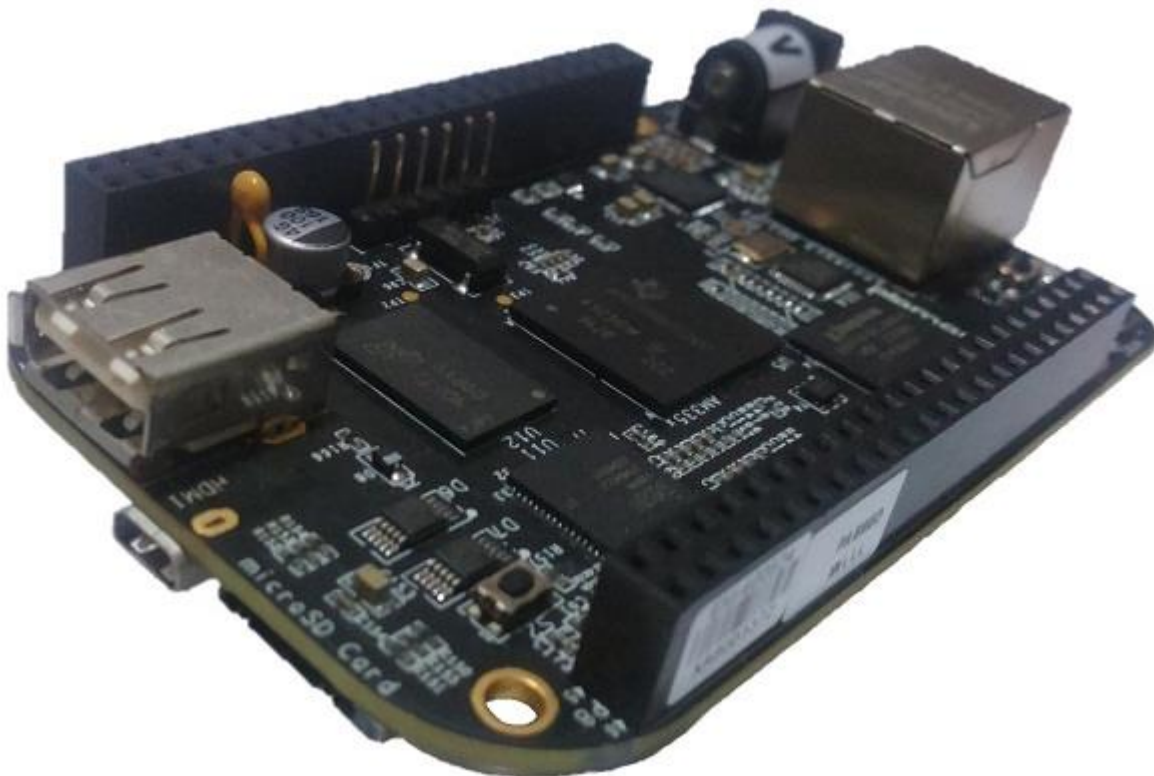


Imagen 2.10 BeagleBone Black.

La BBB cuenta con una memoria RAM de 512 MB, 92 pines de expansión de propósito general, un lector de tarjetas microSD de hasta 32 GB, botones de encendido, restauración y reinicio, adicionalmente, la revisión C aumenta su memoria interna eMMC de 2 GB a 4 GB.

Contiene las interfaces Ethernet, HDMI, USB y UART, incluso soporta otras por medio de adaptadores como Wi-Fi y Bluetooth. Con relación a su energización, es posible conectar un eliminador de 5 V a 1 A al puerto DC, aunque si se tienen varios dispositivos conectados es recomendable usar una fuente de 5 V a 2 A, de igual forma, esta tarjeta soporta la alimentación eléctrica mediante el puerto miniUSB tipo B (USB client), mismo que se emplea para la comunicación con la computadora. Generalmente viene precargada una versión de Debian diseñada especialmente para esta tarjeta pero es capaz de ejecutar algunas otras distribuciones de Linux y Android.

2.8 Raspberry Pi 2B

Raspberry Pi Foundation es una organización británica sin fines de lucro apoyada por el laboratorio de computación de la Universidad de Cambridge y la compañía Broadcom para promover la enseñanza básica de las ciencias de la computación en escuelas, fue formada en 2009 y es la responsable de desarrollar la serie de computadoras de placa reducida Raspberry Pi, tarjetas que son las más vendidas en todo el Reino Unido [24]. Esta fundación proporciona computadoras de aproximadamente el tamaño de una tarjeta de crédito, son de bajo costo y alto rendimiento, utilizadas habitualmente para aprender, resolver problemas e incluso divertirse. Se han lanzado a la venta varias generaciones de estas placas las cuales mejoran cada vez más en cuanto a su velocidad, interfaces y precios.

En la imagen 2.11 se aprecia la Raspberry Pi 2B, que contiene un SoC que integra un microprocesador ARM quad core de 32 bits a 900 MHz y una GPU que soporta video Full HD. Dispone de una memoria RAM de 1 GB, 40 pines GPIO, una salida de audio de 3.5 mm y un lector de memorias microSD de hasta 32 GB. Además, posee interfaces como Ethernet, USB, HDMI, DSI y CSI.



Imagen 2.11 Raspberry Pi 2B.

La alimentación eléctrica de esta placa se realiza a través del puerto microUSB con una fuente de 5 V a 2 A o por el puerto USB de una computadora. El firmware oficial es de código cerrado libremente redistribuible, no obstante, existe una versión no oficial disponible en código abierto.

La Fundación distribuye *Raspbian* como sistema operativo oficial que es una distribución de Linux basada en Debian optimizada para todos los modelos Raspberry Pi, la cual se encuentra disponible para descargar desde la página oficial de la fundación al igual que otros sistemas operativos de terceros como Ubuntu, LibreELEC, Windows 10 IoT Core y distribuciones especializadas, además de un sencillo instalador de sistemas operativos llamado NOOBS (*New Out of Box Software*) recomendado para principiantes, el cual contiene distribuciones GNU/Linux compatibles como ArchLinux ARM, Pidora, Openelec, RaspBMC y Risc OS aparte de Raspbian. Adicionalmente promueve Python y Scratch como lenguajes de programación pero con compatibilidad para muchos otros lenguajes.

Capítulo 3

Desarrollo de una mesa interactiva

La era digital ha traído consigo grandes cambios a la vida cotidiana del ser humano, un claro ejemplo es el teléfono celular que hasta la fecha no ha dejado de evolucionar en todos sus aspectos y que por su gran aceptación entre el público provocó el surgimiento de las tabletas, y más recientemente el de las mesas interactivas. Estas mesas son una innovación tecnológica que permiten comunicarse, colaborar y exponer de manera diferente a la tradicional, por lo que son muy útiles en grupos de trabajo, estudios de diseño, restaurantes, hospitales y museos. En el sector educativo se están integrando como herramientas para apoyar y promover actividades colaborativas en beneficio de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Las mesas interactivas tienen una gran variedad de formas y tamaños, que dependen principalmente de la tecnología multitáctil aplicada en su diseño y de la unidad central de procesamiento que contiene un software para la gestión centralizada de la información a través de una interfaz de usuario. Hasta el momento, en los medios educativos, este tipo de mesas son muy escasas en México debido a que no son dispositivos comercialmente populares y a que la mayoría de sus fabricantes son de origen asiático, lo que dificulta su adquisición. Aunque se pueden adquirir a través de internet, sus precios son elevados y su entrega puede tardar hasta 15 días hábiles dependiendo del distribuidor. Por esta razón, se decidió desarrollar un prototipo de mesa interactiva con elementos más asequibles y con las características necesarias para su propósito, teniendo la ventaja de poder realizar cambios tanto al hardware como al software.

3.1 Diseño

Para esta mesa interactiva se pretende desarrollar un prototipo que sea multitáctil, multiusuario, que tenga protección contra fluidos, que posea una interfaz fácil de controlar,

que su funcionamiento sea autónomo (es decir, conectar y usar) y que sea capaz de correr aplicaciones educativas basadas en html, con el fin de implementarla dentro de un aula para mejorar la comunicación, el trabajo colaborativo, el aprendizaje de los usuarios y la forma de proporcionar la información.

En el diseño del prototipo se consideró principalmente una superficie multitáctil como dispositivo de entrada, una SBC como unidad central de procesamiento, una pantalla como dispositivo de salida y una estructura simple y práctica para la base de la mesa. Además, se decidió utilizar un teclado físico y un mouse para mejorar el control del sistema.

A continuación se describen los elementos contemplados:

3.1.1 Entrada táctil

De acuerdo con las tecnologías multitáctiles descritas en el capítulo 1, se concluyó que la tecnología táctil capacitiva proyectada es la más adecuada para este proyecto, por lo que se decidió implementar una película capacitiva como entrada táctil para el control del sistema y la interacción con el contenido multimedia puesto que no es afectada por agentes externos, es muy delgada, tiene un alto grado de transparencia y posee una excelente sensibilidad de toque.

3.1.2 Dispositivo de salida

Para mostrar al usuario el contenido virtual del sistema se eligió como dispositivo de salida un televisor LED spectra ya que presenta un grosor considerablemente delgado, es de costo accesible y tiene buena calidad de imagen. Algunas de sus características se encuentran en la tabla 3.1.

Marca	Spectra
Tecnología	LED
Tamaño ³⁰	32" (pulgadas)
Resolución	HD (1366 x 768 pixeles)
Relación de aspecto	16:9
Entrada para TV	Coaxial RF
Entrada de video componente	Entradas RCA (Y, pb, pr)
Entrada de audio	Entradas RCA (L, R)
Salida de audio	Bocinas ocultas y una salida para plug de 3.5 mm
Salida de audio digital	Salida RCA "Coaxial"
HDMI	3 entradas
VGA	Entrada VGA + entrada de audio para plug de 3.5 mm
USB	Una entrada
Formato multimedia	MP3, JPG, 3gp y MP4
Tiempo de respuesta	23 ms
Iluminación	180 cd/m ² (+/- 10 %)
Tiempo de vida	30 000 h
Consumo de energía	60 W
Voltaje nominal	100-240 V~
Frecuencia	50/60 Hz
Temperatura de operación	De -5 °C a 45 °C
Dimensiones	732 mm x 475 mm x 200 mm
Peso	4.3 kg (aprox.)

Tabla 3.1 Características del televisor utilizado.

3.1.3 Unidad Central de Procesamiento (CPU)

Para gestionar el comportamiento de la mesa interactiva se optó por utilizar como CPU una computadora de placa reducida debido a su bajo costo y a que no ocupa mucho espacio, lo que permite que la mesa sea notablemente delgada. También, se consideró que el hardware de estas computadoras tiene gran capacidad de expansión con dispositivos periféricos y que su compatibilidad con diferentes sistemas operativos permite realizar actualizaciones del sistema.

Entre las diversas marcas y modelos de SBC que se encontraron en el mercado, se decidió comparar el rendimiento de dos que tienen un gran número de seguidores, la BeagleBone

³⁰ Para el prototipo se decidió emplear un tamaño regular.

Black y la Raspberry Pi 2B, ya que existe más información de estas tarjetas que de otras. La primera se prefirió por su gran capacidad de procesamiento de datos, mientras que la segunda porque sus características son ideales para proyectos multimedia. Sumado a esto, ambas son de bajo costo y tienen un gran soporte técnico por parte de sus comunidades que están constituidas por desarrolladores y aficionados a sistemas embebidos.

3.1.4 Estructura física

Con el objetivo de construir una base adecuada a las necesidades del prototipo se procedió a tomar medidas de los dispositivos principales como en el caso de la imagen 3.1 donde se muestra la medición de la película capacitiva. Después, se seleccionó acrílico, aluminio de tecnología OCTANORM³¹ y otros componentes para elaborar un soporte sencillo, ligero y económico. En la imagen 3.2 se puede ver el diagrama estructural de este soporte.

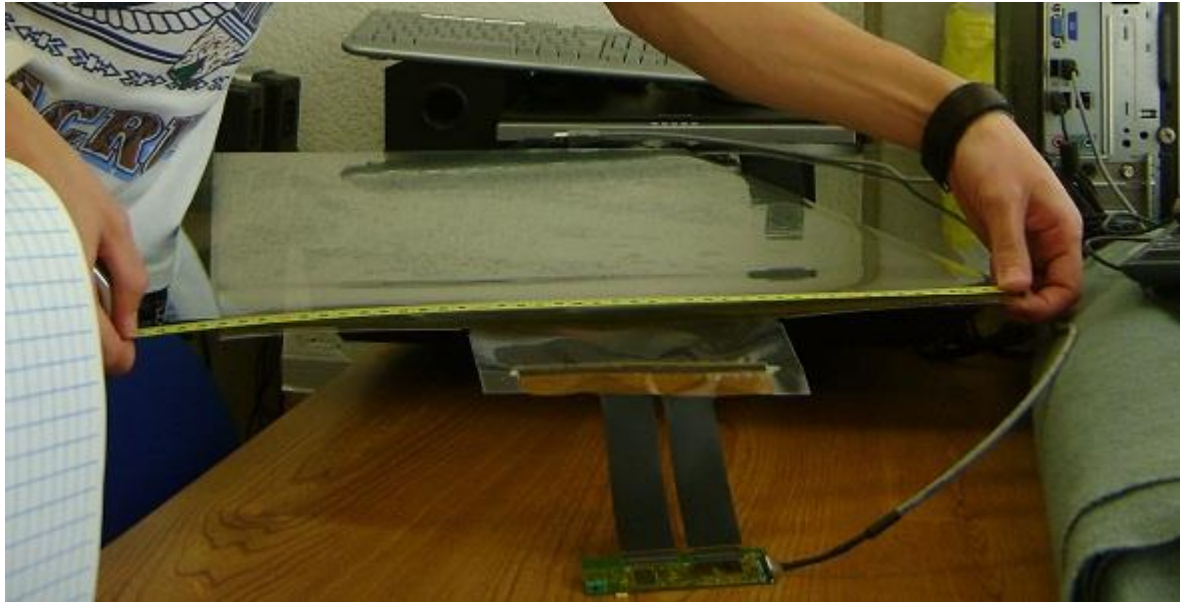


Imagen 3.1 Medición de la película capacitiva.

³¹ Es un conjunto de perfiles de aluminio, conectores y accesorios diseñados para facilitar la construcción de soportes como paneles, stands, mamparas, entre otros. Los perfiles cuentan con una ranura en todo su largo, lo cual permite conectarlos entre sí usando la “tensochapa” o grapa de unión que con un simple giro tensa y sujeta los elementos de manera firme y segura, utilizando sólo una llave [27].

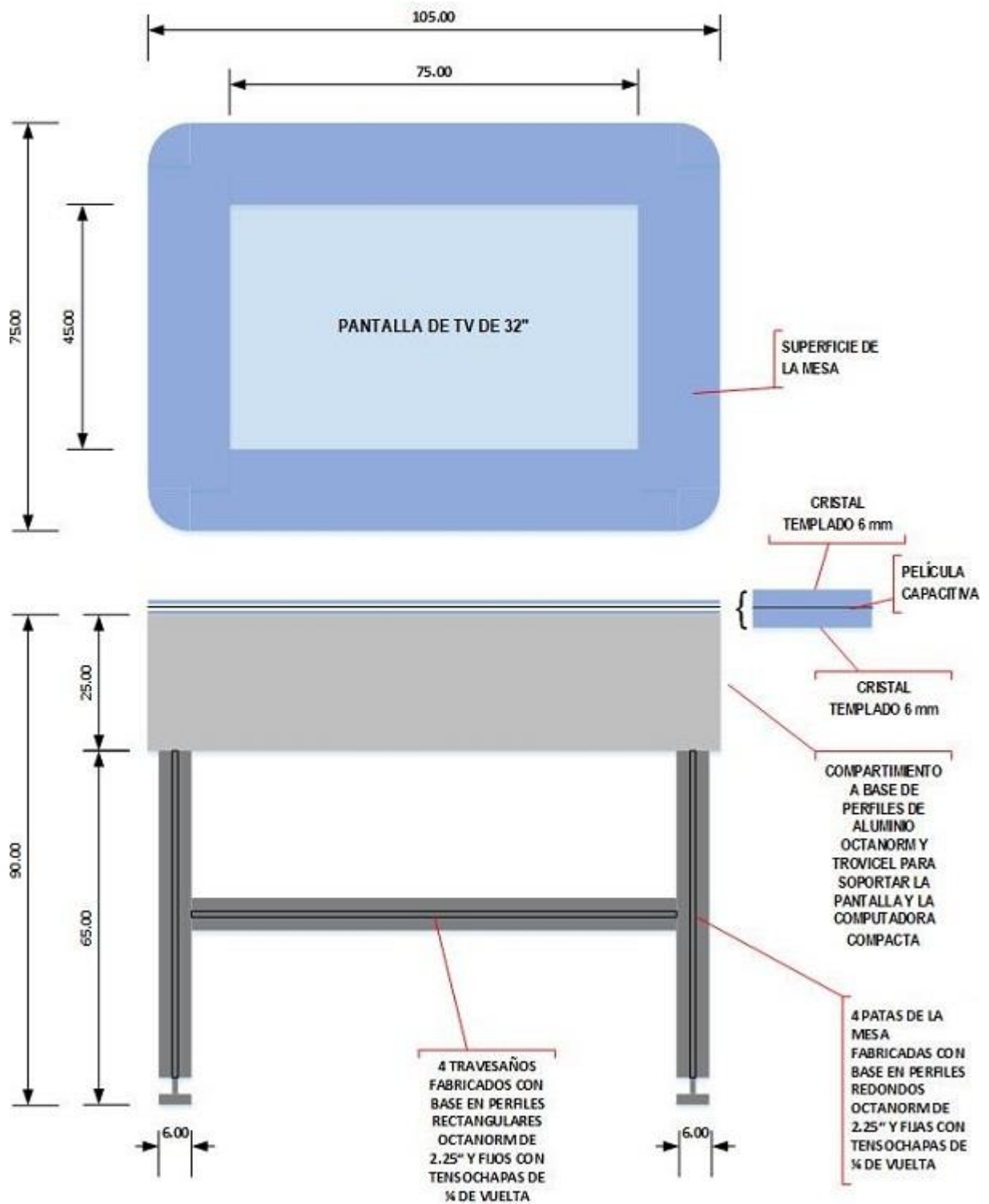


Imagen 3.2 Diagrama del diseño estructural de la mesa interactiva³².

³² Todas las medidas están en cm, el trovicel es un PVC (Policloruro de vinilo) espumado que usualmente se fabrica por hojas.

La pantalla de TV tiene a su alrededor una franja de 15 cm de teflón, con la finalidad de proteger la proyección cuando los usuarios se recarguen en la mesa, de tal forma que la superficie total de la mesa se agranda por esta causa.

Por otro lado, para que la película capacitiva quedara firme se decidió ocupar una capa de cristal templado como base ya que este material no afecta su funcionamiento, adicionalmente, se determinó incluir otra capa de cristal templado por encima de la película, abarcando toda la superficie, para evitar que algún líquido derramado sobre la mesa afecte la circuitería del sistema, mejorando así, la calidad y eficiencia de la mesa interactiva sin aumentar demasiado su volumen, además de facilitar su limpieza.

3.1.5 Control principal de encendido y apagado

Con el propósito de administrar plenamente la energía suministrada a los elementos de la mesa interactiva se decidió agregar a su diseño un sistema de encendido y apagado general donde se utilizó un interruptor de pared de 2 posiciones 1 polo, dos metros de cable calibre 12, un contacto (triple) con 3 tomacorrientes, una clavija monofásica aterrizada y tornillos, tomando en cuenta las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana para instalaciones eléctricas (NOM-001-SEDE) [25]. Todos estos elementos se encuentran en la imagen 3.3.



Imagen 3.3 Cable, contacto, interruptor, clavija y tornillos (de arriba abajo y de izquierda a derecha).

3.2 Conexiones y montaje del sistema

Para crear la superficie interactiva, primero, se colocó un cristal templado de 6 mm de grosor sobre el televisor, encima de este cristal se puso la película capacitiva y arriba de ésta, otro cristal templado de 6 mm, a como se aprecia en la imagen 3.4.



Imagen 3.4 Montaje de la película y las capas de vidrio sobre la pantalla.

Después, se realizó la conexión de los elementos que constituyen la superficie interactiva multitáctil comenzando con la película capacitiva que tiene un cable USB y un controlador. Este último, se encarga de hacer el proceso de conversión de datos y los envía por medio del cable USB para que la computadora ejecute las órdenes ingresadas por el dispositivo táctil sin requerir otro programa para su control.

La película capacitiva contiene dos membranas de salida, las cuales se conectan al controlador verificando que las terminales hicieran contacto del lado correcto en las entradas de este mismo, tal y como se indica en la imagen 3.5. Luego, se utilizó el cable USB para conectar un extremo a la CPU y el otro extremo (de 10 pines) al controlador verificando el lado correcto de conexión.

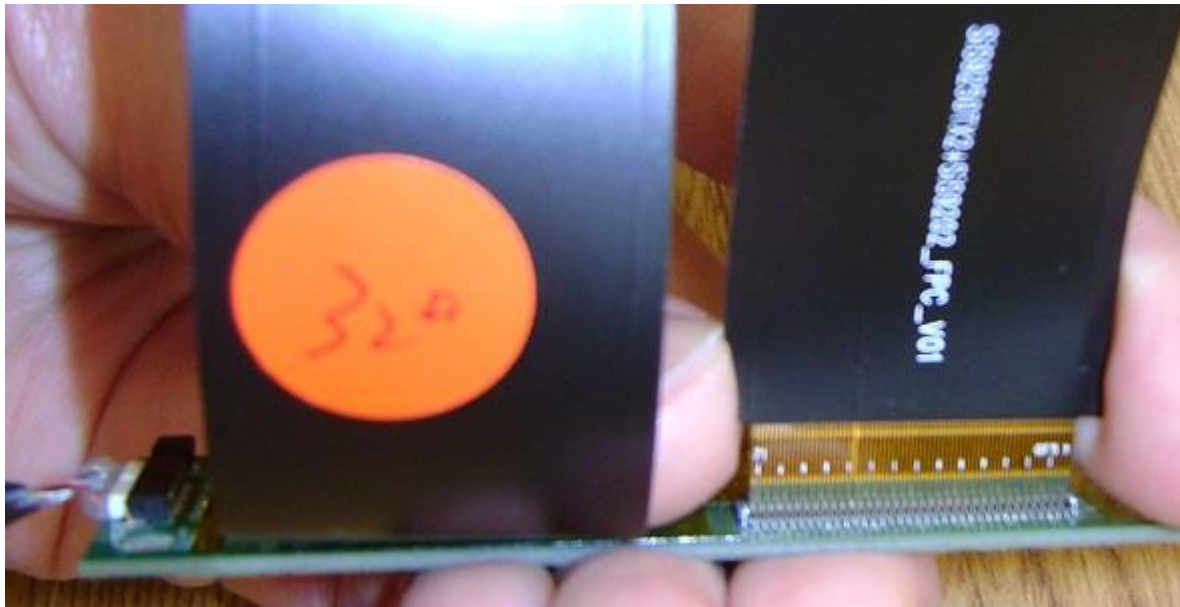


Imagen 3.5 Conexión correcta de las membranas de la película capacitiva.

Por otra parte, para conectar las computadoras de placa reducida como CPU se utilizaron dos estructuras diferentes: una para la BeagleBone Black y otra para la Raspberry Pi 2B, puesto que la BBB posee memoria interna y solamente un puerto USB, mientras que la Raspberry cuenta con 4 puertos USB pero no con memoria interna. Ambas estructuras son representadas respectivamente en las imágenes 3.6 y 3.7.

En el caso de la BeagleBone Black se empleó un eliminador de 5 V y 1.2 A con conector de 2.5 mm x 0.8 mm para su alimentación eléctrica, un cable microHDMI a HDMI para conectarla al televisor, un cable Ethernet para la conexión a internet a través de un módem inalámbrico y un HUB³³ USB debido a que esta tarjeta sólo contiene un puerto USB y se requiere conectar el mouse, el teclado y la película táctil.

³³ Si los periféricos demandan mayor corriente, colocar de preferencia un HUB con alimentación externa para evitar sobrecargar el regulador de la tarjeta.



Imagen 3.6 Conexión de la BeagleBone Black con los periféricos.

Para la Raspberry Pi se utilizó un cable HDMI a HDMI para la conexión con la pantalla, un cable Ethernet para conectarla al módem de internet, un eliminador de conector microUSB tipo B de 2 A y 5 V para su alimentación, una memoria microSD clase 10 de 32 GB para poder arrancar el sistema operativo. Asimismo, se conectaron nuevamente el mouse, el teclado y la película capacitiva, pero ahora a los puertos USB de esta placa.

Por último, en la imagen 3.8 se ilustra el diagrama de conexiones del sistema completo generalizando el uso del HUB USB y la memoria microSD, los cuales pueden ser omitidos según la estructura de conexión de cada tarjeta.



Imagen 3.7 Conexión de la Raspberry Pi 2B con los periféricos.

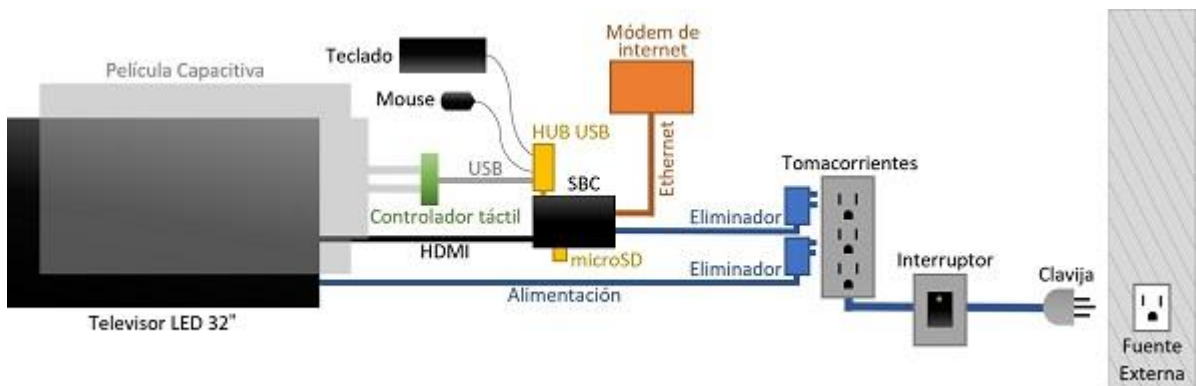


Imagen 3.8 Diagrama de conexiones de todo el sistema.

Capítulo 4

Configuración y pruebas del sistema

Con respecto a la instalación y configuración del software que va a ejecutar la mesa interactiva, primero, se realizaron pruebas por separado tanto con las computadoras de placa reducida como con la película capacitiva y luego, se integró el sistema completo. Este proceso se describe a detalle en este capítulo.

4.1 Configuración y pruebas de las SBC

Para decidir qué single board computer es la más apropiada para la mesa interactiva, se le realizaron pruebas a cada tarjeta con su propio sistema operativo (SO) examinando la velocidad de procesamiento, la compatibilidad con diversos periféricos y la capacidad para ejecutar diferentes aplicaciones.

4.1.1 BeagleBone Black

Dado que la BeagleBone Black viene con su propio SO precargado no fue necesario instalarle uno, por lo cual se efectuó la conexión descrita en el capítulo 3.2 para realizar pruebas con los periféricos. Para este caso, se recomienda prender la pantalla antes que la BBB con el propósito de que la tarjeta pueda reconocer el formato digital que va a mostrar debido a que en ocasiones la frecuencia y la resolución enviadas a la pantalla no son compatibles provocando una distorsión de la señal a como se observa en la imagen 4.1. Algunas de las resoluciones compatibles con esta placa son: 640 x 480 a 60 Hz, 720 x 480 a 60 Hz, 1280 x 720 (HD) a 60 Hz y 1920 x 1080 (Full HD) a 24 Hz.



Imagen 4.1 Distorsión de la señal enviada.

Cuando se hizo el encendido de la placa, se observó en el televisor el arranque del sistema operativo que en este caso es una versión de *Debian 7 "Wheezy"* especializada para la BeagleBone con LXDE (*Lightweight X11 Desktop Environment*) como entorno de escritorio, el cual se visualizó posteriormente tal como se muestra en la imagen 4.2.



Imagen 4.2 Escritorio LXDE para la BBB.

Al probar los periféricos, fue posible percatarse que no todos los HUB USB son compatibles con la BBB ya sean de alimentación externa o no, debido a que varios dispositivos USB no fueron reconocidos simultáneamente por el sistema operativo. Este paso fue necesario ya que el SO de la tarjeta no contaba con un teclado virtual que permitiera controlar el sistema únicamente con la película capacitiva, por lo cual sólo se podían realizar funciones de mouse mientras que para ingresar letras o números fue necesario utilizar el teclado físico tal y como se nota en la imagen 4.3. En este caso, el HUB que funcionó correctamente con la BeagleBone Black es de la marca SABRENT, contiene 4 puertos y no requiere alimentación externa; dicho HUB se puede ver en la imagen 4.4.



Imagen 4.3 Uso del teclado físico para controlar la BeagleBone Black.



Imagen 4.4 HUB USB empleado para la BBB.

La interacción entre el usuario y el entorno gráfico de la BBB es realmente sencilla y al igual que en los sistemas operativos basados en Linux contiene una *interfaz de línea de comandos* (terminal o consola) que se presenta en la imagen 4.5. Habitualmente es usada para descargar archivos, actualizar el software e instalar y desinstalar programas, además de muchas otras funciones básicas.



Imagen 4.5 Terminal de la BeagleBone Black.

Una terminal de comandos es una interfaz donde se ingresan instrucciones que permiten tener acceso y control de la PC (Personal Computer), en sistemas Linux se pueden tener múltiples usuarios como en Windows pero solamente uno puede tener el control total sin ningún tipo de restricciones, a este usuario se le llama *root* o *superusuario*, el cual nada más puede ingresar a través de la terminal mientras que los demás usuarios pueden acceder mediante el entorno gráfico. Por otra parte, existe el comando *sudo* (SuperUser DO) que es una utilidad de los sistemas operativos tipo Linux, este comando permite a otros usuarios ejecutar órdenes con

privilegios de superusuario siempre y cuando su identificación de usuario se encuentre en el archivo *sudoers*, el cual determina quien puede usar la instrucción *sudo* y que puede hacer con ella. Sin embargo, sin el archivo *sudoers* el único administrador es *root*.

En relación con el acceso a internet, se revisó abriendo el navegador que tiene por defecto el escritorio de la BBB llamado *Chromium* y aunque tardó un poco en cargar el contenido de algunas páginas, se ingresó a la Web sin problemas. Sin embargo, podría ocurrir el caso de que se restringiera el acceso al sitio web mostrando un mensaje de error SSL³⁴ en el navegador como se ilustra en la imagen 4.6. A pesar de que este mensaje puede surgir por diversos motivos como que la conexión no sea segura, que los certificados de seguridad no sean válidos, que el sitio web no sea de confianza o que exista un error en el protocolo SSL, la causa más común es que el equipo tenga una fecha equivocada con un retraso o anticipación mayor a dos semanas debido a que la fecha errónea provoca que el navegador no pueda verificar los certificados SSL ocasionando errores de seguridad en muchos sitios seguros a los que se quiere acceder. Este error se debe a que cada vez que se prende la BeagleBone Black su sistema operativo fija la hora y fecha con los valores preestablecidos puesto que no cuenta con una batería que mantenga activa su memoria. Usualmente esta tarjeta establece automáticamente la conexión a internet y cambia la hora y fecha, no obstante, si esto no sucede se deben cambiar los datos manualmente por medio de la consola ejecutando la instrucción **`sudo date --set "AAAA/MM/DD hh:mm"`**, donde *AAAA* es el año; *MM* el mes; *DD* el día; *hh* la hora; y *mm* los minutos. A continuación, se debe abrir la aplicación de administración de redes *Wicd Network Manager* y dar clic en el botón **connect** para conectar finalmente la placa a la red.

³⁴ *Secure Socket Layer* es un protocolo de seguridad de internet que sirve para proteger la privacidad del usuario mientras accede a un sitio web utilizando certificados SSL para demostrar que una página es auténtica, real y confiable.

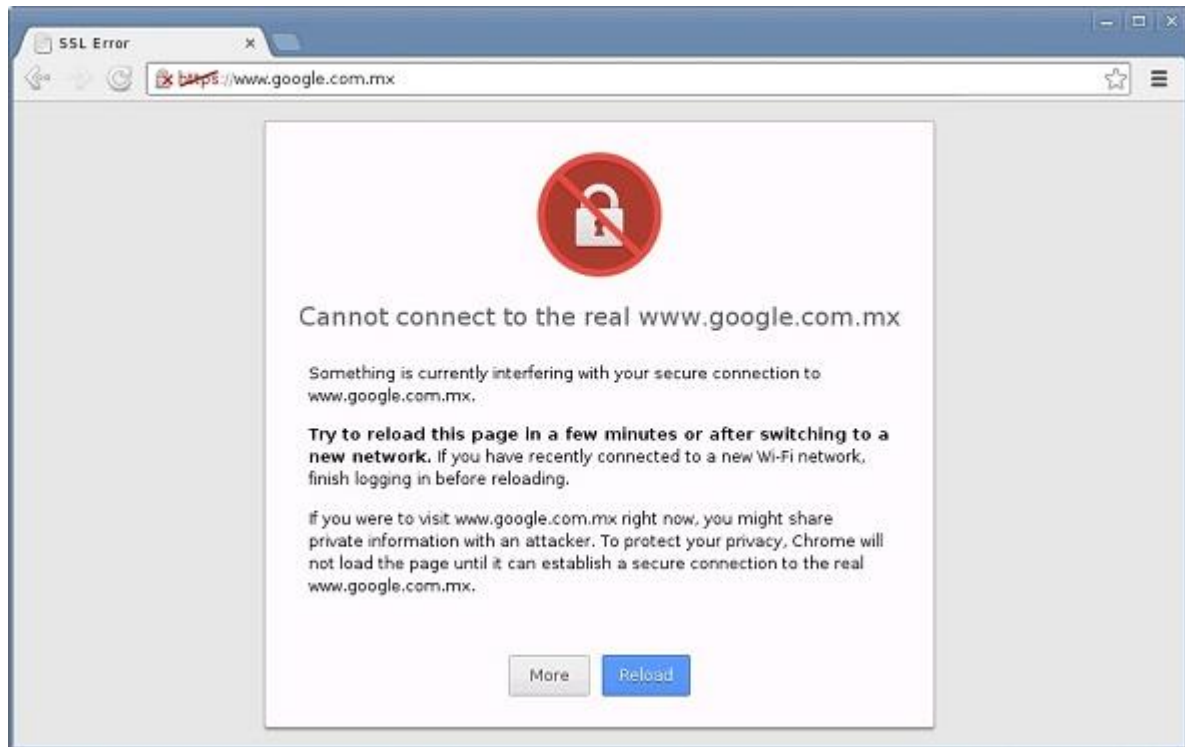


Imagen 4.6 Mensaje de Error SSL.

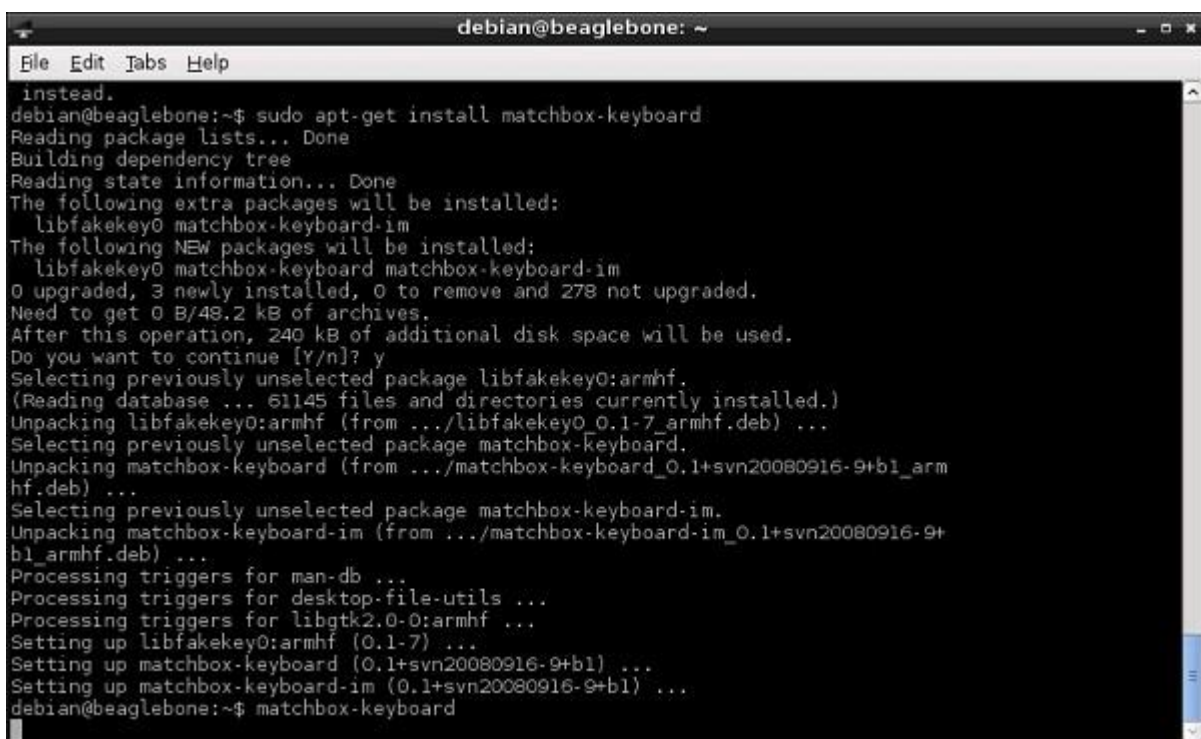
Más tarde, con el propósito de que la mesa interactiva pudiera establecer una conexión inalámbrica fue necesario usar un adaptador (*Dongle*) de Wi-Fi dado que la BeagleBone Black no contiene un módulo de éstos en su hardware. Lamentablemente en ningún momento la tarjeta identificó el adaptador, lo mismo que ocurrió al emplear un módulo Bluetooth.

En vista de que no era posible operar completamente el sistema operativo de la BeagleBone Black sólo usando la película capacitiva se procedió a instalar un teclado virtual. Entre diversos teclados virtuales se probaron dos: *Matchbox* y *Florence*, ya que son ligeros, gratuitos y funcionales, además de que su instalación por medio de la consola es muy sencilla. Para esto, primero que nada, se abrió la terminal de la BBB, después fue necesario cerciorarse de que la lista de paquetes de software se encontrara actualizada por lo que se ejecutó la instrucción **sudo apt-get update**.

El comando *apt-get* es un programa utilizado por el sistema de administración de paquetes APT (*Advanced Packaging Tool*) para manejar y distribuir paquetes de software en los

sistemas GNU/Linux, este programa puede considerarse como la interfaz que interactúa con otras herramientas que usan la biblioteca APT. Advanced Packaging Tool fue creado por Debian y simplifica en gran medida el proceso de administración de software automatizando la recuperación, configuración, instalación y eliminación de paquetes, ya sea de archivos precompilados o compilando el código fuente.

Luego, se ingresó la línea **sudo apt-get install matchbox-keyboard** para instalar el paquete (*matchbox-keyboard*) que contiene el teclado virtual, a continuación se tecleo “y” para aceptar la instalación, más tarde se ejecutó la instrucción **matchbox-keyboard** para mostrar el teclado en pantalla, enseguida se comprobó que funcionara correctamente tanto con la película capacitiva como con el mouse y al final se cerró la ventana de la consola, este proceso se ejemplifica en la imagen 4.7. Para el teclado Florence se metió la misma línea sólo que en este caso se cambió el nombre del paquete por *florence*, ambos teclados se encuentran en la imagen 4.8.



```
debian@beaglebone: ~
File Edit Tabs Help
instead.
debian@beaglebone:~$ sudo apt-get install matchbox-keyboard
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following extra packages will be installed:
  libfakekey0 matchbox-keyboard-im
The following NEW packages will be installed:
  libfakekey0 matchbox-keyboard matchbox-keyboard-im
0 upgraded, 3 newly installed, 0 to remove and 278 not upgraded.
Need to get 0 B/48.2 kB of archives.
After this operation, 240 kB of additional disk space will be used.
Do you want to continue [Y/n]? y
Selecting previously unselected package libfakekey0:armhf.
(Reading database ... 61145 files and directories currently installed.)
Unpacking libfakekey0:armhf (from ../libfakekey0_0.1-7_armhf.deb) ...
Selecting previously unselected package matchbox-keyboard.
Unpacking matchbox-keyboard (from ../matchbox-keyboard_0.1+svn20080916-9+b1_armhf.deb) ...
Selecting previously unselected package matchbox-keyboard-im.
Unpacking matchbox-keyboard-im (from ../matchbox-keyboard-im_0.1+svn20080916-9+b1_armhf.deb) ...
Processing triggers for man-db ...
Processing triggers for desktop-file-utils ...
Processing triggers for libgtk2.0-0:armhf ...
Setting up libfakekey0:armhf (0.1-7) ...
Setting up matchbox-keyboard [0.1+svn20080916-9+b1] ...
Setting up matchbox-keyboard-im (0.1+svn20080916-9+b1) ...
debian@beaglebone:~$ matchbox-keyboard
```

Imagen 4.7 Proceso de instalación del teclado virtual.

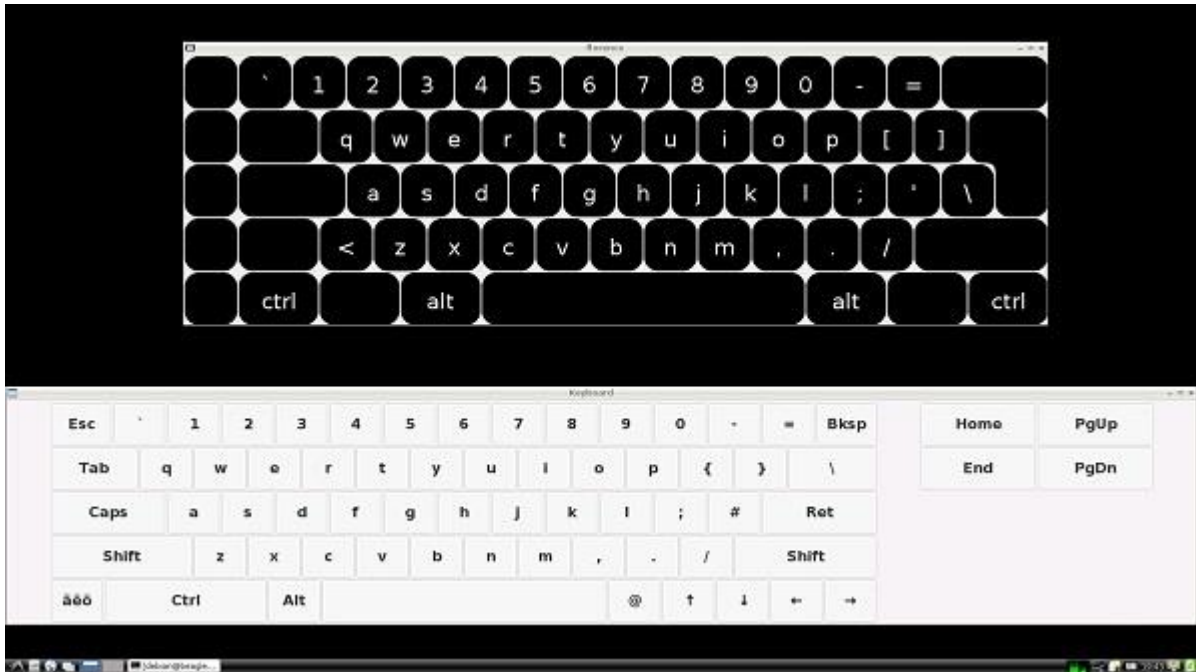


Imagen 4.8 Teclado virtual Florence (arriba) y Matchbox (abajo).

Por último, se probaron algunas de las aplicaciones que contiene la BBB presentando buenos resultados, sin embargo, para poder comprobar la reproducción de varios archivos multimedia se instalaron dos programas de libre distribución mediante la línea de comandos dado que el SO no poseía ninguna aplicación para reproducir música ni videos. Para la instalación de dichos programas se usó la estructura del comando *sudo apt-get install nombre_del_paquete* misma que fue empleada anteriormente para instalar el teclado virtual. Los reproductores instalados fueron *VLC* y *GNOME Media Player* que mostraron un escaso rendimiento, *VLC* reprodujo la música sin complicaciones aunque no soportó ningún tipo de video, mientras que *GNOME* reproduce videos de baja y media resolución sin problemas pero cuando se trata de reproducir videos de alta definición las imágenes se muestran lentamente además de presentar un retraso respecto al audio. En la imagen 4.9 se distingue el error en la reproducción de video en *VLC*.



Imagen 4.9 Reproductor GNOME Media Player (izquierda) y VLC (derecha).

4.1.2 Raspberry Pi 2B

Primero que nada, para usar cualquier Raspberry Pi se necesita instalar un sistema operativo sobre la tarjeta de memoria que se va a utilizar para su arranque debido a que esta familia de single board computers no cuentan con almacenamiento interno, por esta razón, se tomó la decisión de emplear la última versión de Raspbian disponible en la página oficial de Raspberry Pi (<https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>), donde se recomienda el uso de una memoria microSD de al menos 8 GB clase 4 para instalar la versión de escritorio de Raspbian.

La estructura y contenido completo de Raspbian es concentrada en un solo archivo llamado imagen de disco que habitualmente tiene las extensiones³⁵ *img* o *iso*, este tipo de archivos son

³⁵ La extensión de un archivo es una cadena de caracteres anexada al nombre del archivo, la cual es precedida por un punto. Su función principal es indicar que tipo de archivo es de acuerdo con lo que contiene para que el sistema operativo determine el procedimiento adecuado de ejecución o interpretación.

usados con frecuencia para poder compartir más fácilmente programas y sistemas operativos de distribución libre.

La imagen de disco de Raspbian se encuentra en un archivo comprimido con la extensión *zip* con la idea ahorrar tiempo en su descarga, así que después de descargar este archivo se necesitó descomprimirlo, por lo cual se decidió utilizar el programa *WinRAR* entre los diversos programas que existen para ejecutar este tipo de acciones. Con el fin de descomprimir la imagen de disco se dio clic derecho sobre el archivo *.zip*, se seleccionó **Extraer aquí** y se esperó a que terminara el proceso de descompresión visualizado en la imagen 4.10.

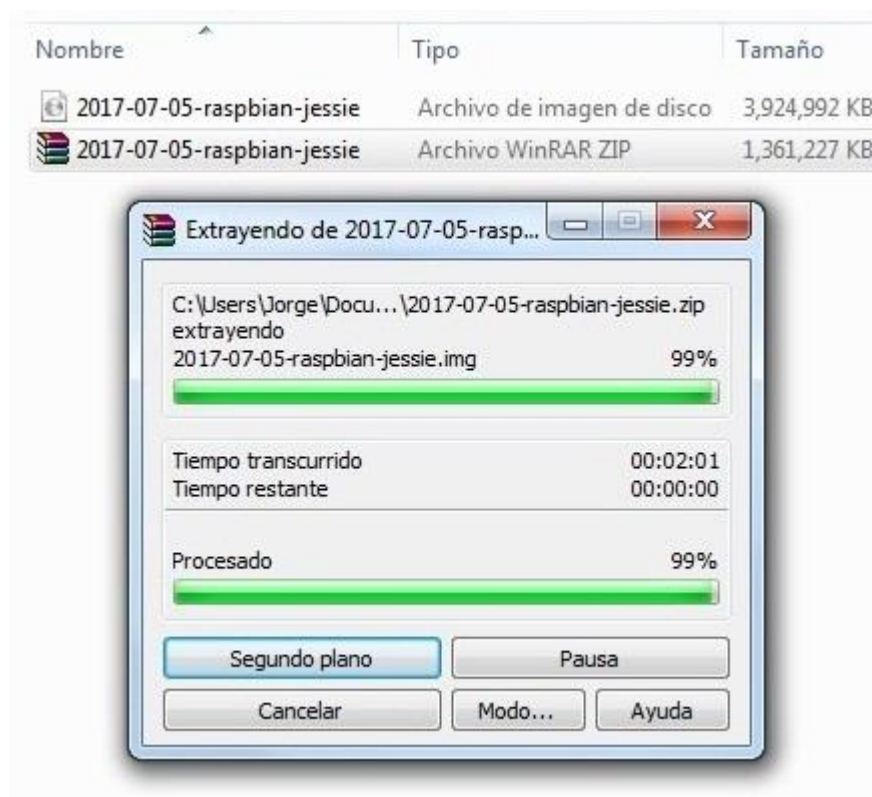


Imagen 4.10 Descompresión de Raspbian mediante WinRAR.

Posteriormente, se necesitó grabar la imagen de disco del sistema operativo sobre la memoria microSD para que al final la Raspberry Pi pudiera ejecutarlo y, puesto que este proceso se realizó mediante Windows, se tomó la decisión de descargar e instalar el programa *Win32*

Disk Imager, esta herramienta se puede descargar de forma gratuita a través de la página <https://sourceforge.net/projects/win32diskimager/> de la comunidad de código abierto *Sourceforge*. Para abrir el asistente de instalación de este programa se hizo doble clic sobre el archivo ejecutable (.exe) descargado y luego, se siguieron los pasos indicados. A continuación, se arrancó la aplicación haciendo clic derecho sobre el acceso directo de Win32 Disk Imager y se seleccionó **Ejecutar como administrador**³⁶. Con el objetivo de grabar Raspbian sobre la microSD, se escogió la letra correcta³⁷ asignada a esta memoria en el campo **Device** de Win32 Disk Imager cuya interfaz se representa en la imagen 4.11. Por otra parte, la ubicación del archivo .img fue colocada en **Image File** usando el botón situado a la derecha de este campo y que posee el icono de una “carpeta”. Luego, se seleccionó **Write**, se esperó a que terminara el proceso de grabación del SO, se cerró la aplicación y por último se extrajo la tarjeta de la PC.

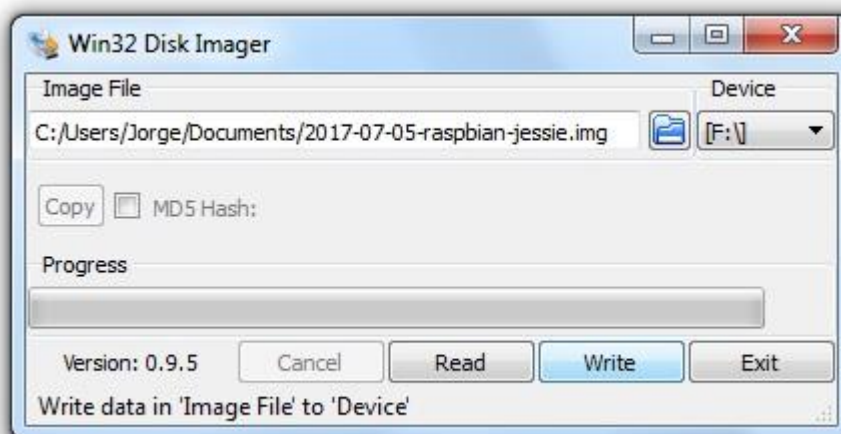


Imagen 4.11 Interfaz de usuario de Win32 Disk Imager.

Es importante mencionar que después de emplear Win32 Disk Imager el sistema operativo puede identificar la microSD como si fueran varias unidades de almacenamiento debido a que

³⁶ Este programa accede directamente al hardware de la PC por lo que requiere permisos de administrador para realizar su tarea [28].

³⁷ Cerciorarse que la unidad seleccionada tenga la letra correspondiente a la unidad a formatear, por ejemplo: (D:), (F:) o (G:), puesto que de no ser así se perderá toda la información contenida en la unidad seleccionada.

este programa particiona³⁸ la memoria según sean las necesidades de la imagen de disco que va a grabar, aunque normalmente Windows reconoce la partición de arranque como la unidad de almacenamiento insertada, en la imagen 4.12 se señala como la computadora identifica la partición (F:) como la única unidad introducida aun cuando la microSD (Disco 1) comprende otras particiones. No obstante, si se desea escribir otra imagen de disco sobre esa misma tarjeta de memoria no es necesario reestructurar sus particiones a que sean una sola como al principio ya que este programa utiliza la memoria completa y no sólo una de sus particiones pese a que se elija nada más una de ellas en el campo Device. Si por algún motivo se requiere restablecer la estructura inicial de la microSD existen diversas herramientas para efectuar esta tarea, en el apéndice A se explica cómo usar las más comúnmente empleadas.

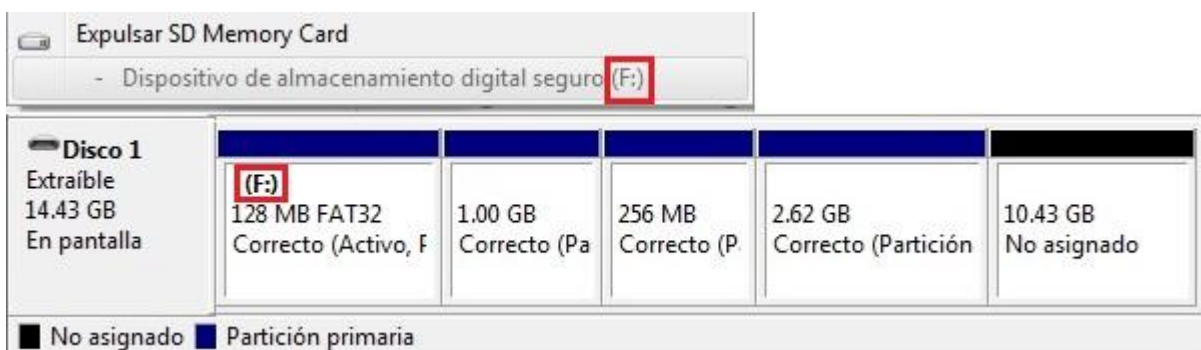


Imagen 4.12 Particiones de la microSD, de las cuales únicamente se puede acceder al contenido de (F:).

Más tarde se realizó la conexión para la Raspberry Pi 2B descrita en el capítulo 3.2, se insertó cuidadosamente la memoria en la ranura correspondiente ya que sólo entra de una manera, y después se energizó el sistema.

Cuando se encendió la tarjeta se vio sin problemas en la pantalla el arranque del SO y enseguida el escritorio de Raspbian (que al igual que la BBB también utiliza LXDE) donde ya se pudo interactuar con la interfaz de usuario a través de la película capacitiva sin necesidad de programas adicionales permitiendo realizar solamente acciones de mouse. Asimismo, el

³⁸ El particionamiento de una unidad de almacenamiento consiste en dividir de forma lógica un único disco físico en dos o más partes para que el sistema operativo identifique cada partición como una unidad de disco lógico independiente [29].

sistema no tuvo inconvenientes para reconocer el teclado y el mouse. El escritorio de Raspbian se puede ver en la imagen 4.13.

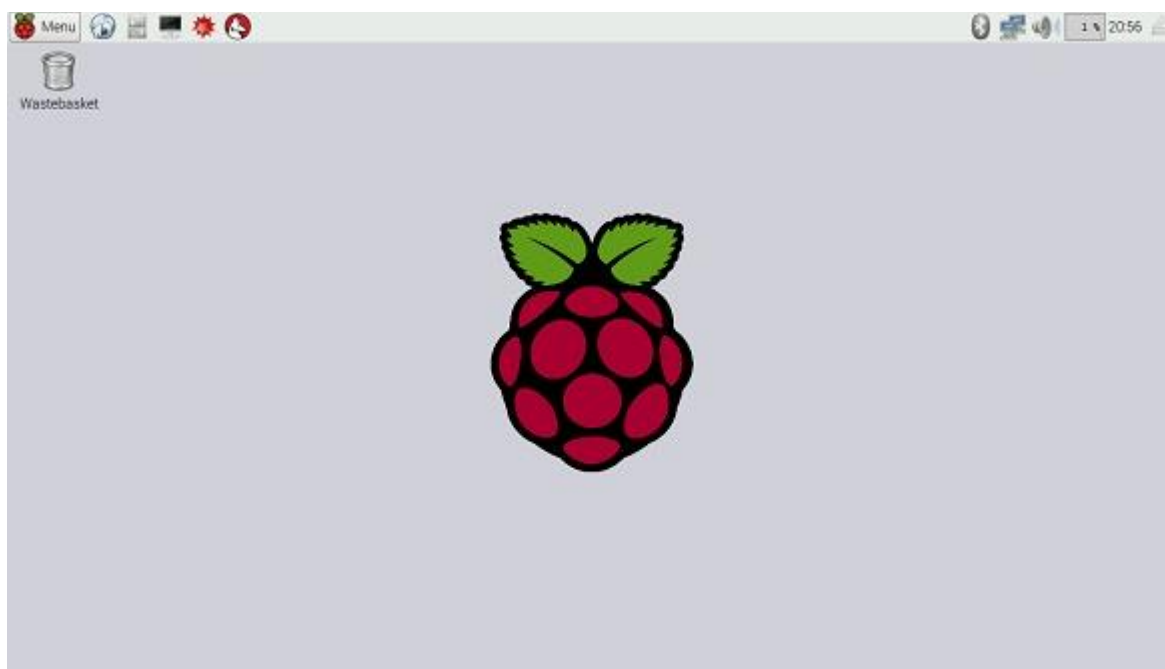


Imagen 4.13 Escritorio de Raspbian.

A continuación, para corroborar que la placa se conectara a internet por medio del cable Ethernet sólo se ejecutó *Epiphany* que es el explorador que incluye Raspbian entrando a la página web de Raspberry sin complicaciones a como se aprecia en la imagen 4.14. En contraste, para checar la conexión inalámbrica se empleó el mismo módulo Wi-Fi que con la BeagleBone Black, sin embargo, en este caso Raspbian identificó automáticamente el adaptador sin tener que instalar *drivers* (controladores), así que se buscó una red disponible y se digitó su contraseña de tal modo que se conectara a la red adecuadamente, lo cual se muestra en la imagen 4.15. Igualmente, se abrió el navegador para comprobar que se pudiera ingresar a internet.

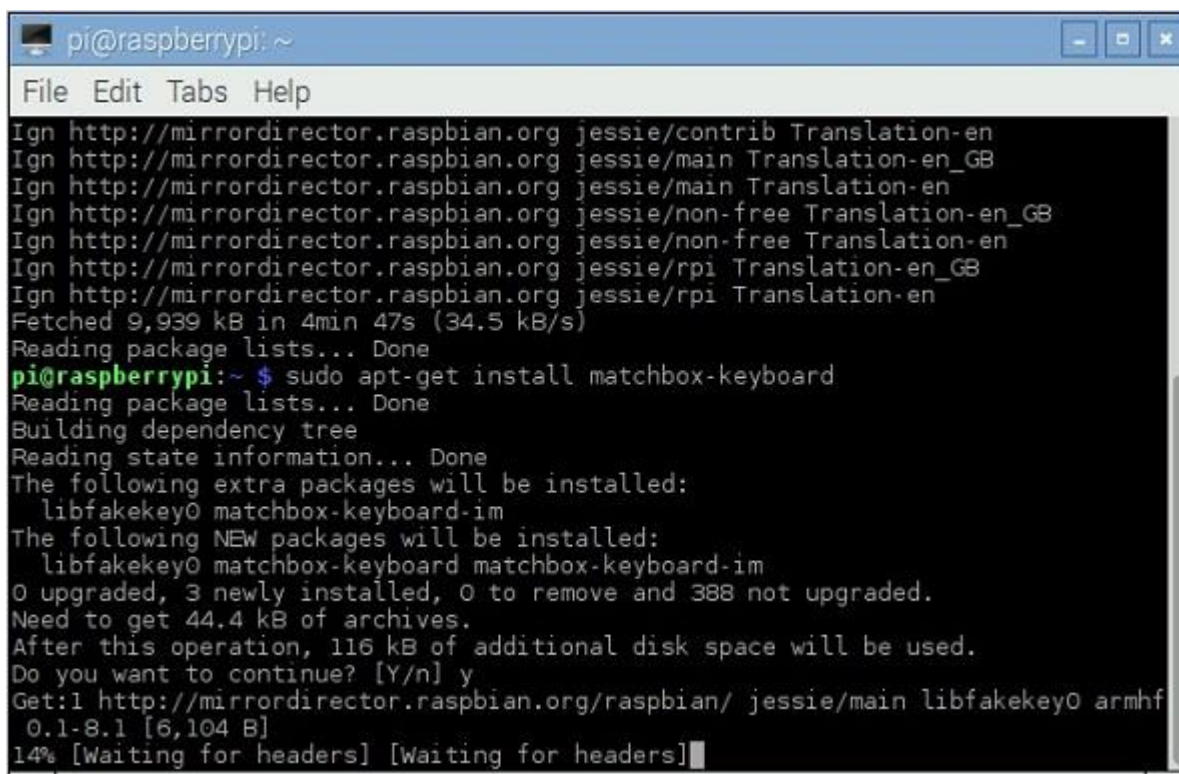


Imagen 4.14 Página de Raspberry Pi.



Imagen 4.15 Conexión de la Raspberry a una red Wi-Fi.

Al igual que Debian Wheezy, Raspbian no contaba con un teclado virtual que permitiera controlar completamente la tarjeta por medio de la película capacitiva, así que se decidió instalar el teclado Matchbox que se instaló en la BBB ya que es compatible con Raspbian y el procedimiento para instalarlo es el mismo, este proceso es representado en la imagen 4.16.

A terminal window titled 'pi@raspberrypi: ~' showing the process of installing the 'matchbox-keyboard' package. The terminal output includes several lines of 'Ign' (ignore) for translation packages, followed by 'Fetched 9,939 kB in 4min 47s (34.5 kB/s)', 'Reading package lists... Done', and the execution of 'sudo apt-get install matchbox-keyboard'. The output shows that three new packages will be installed: 'libfakekey0', 'matchbox-keyboard', and 'matchbox-keyboard-im'. It also indicates that 44.4 kB of archives need to be fetched and 116 kB of additional disk space will be used. The prompt 'Do you want to continue? [Y/n] y' is followed by the start of a download from the raspbian.org mirror, showing 'Get:1 http://mirrordirector.raspbian.org/raspbian/ jessie/main libfakekey0 armhf 0.1-8.1 [6,104 B] 14% [Waiting for headers] [Waiting for headers]'.

```
pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
Ign http://mirrordirector.raspbian.org jessie/contrib Translation-en
Ign http://mirrordirector.raspbian.org jessie/main Translation-en_GB
Ign http://mirrordirector.raspbian.org jessie/main Translation-en
Ign http://mirrordirector.raspbian.org jessie/non-free Translation-en_GB
Ign http://mirrordirector.raspbian.org jessie/non-free Translation-en
Ign http://mirrordirector.raspbian.org jessie/rpi Translation-en_GB
Ign http://mirrordirector.raspbian.org jessie/rpi Translation-en
Fetched 9,939 kB in 4min 47s (34.5 kB/s)
Reading package lists... Done
pi@raspberrypi:~ $ sudo apt-get install matchbox-keyboard
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following extra packages will be installed:
  libfakekey0 matchbox-keyboard-im
The following NEW packages will be installed:
  libfakekey0 matchbox-keyboard matchbox-keyboard-im
0 upgraded, 3 newly installed, 0 to remove and 388 not upgraded.
Need to get 44.4 kB of archives.
After this operation, 116 kB of additional disk space will be used.
Do you want to continue? [Y/n] y
Get:1 http://mirrordirector.raspbian.org/raspbian/ jessie/main libfakekey0 armhf
 0.1-8.1 [6,104 B]
14% [Waiting for headers] [Waiting for headers]
```

Imagen 4.16 Proceso de instalación de Matchbox en la Raspberry Pi 2B.

Con la finalidad de efectuar pruebas de audio y video en la Raspberry, se usó el reproductor multimedia *OMXPlayer*³⁹ al cual se accede mediante la línea de comandos. Dichas pruebas mostraron que los videos de alta calidad como Full HD pueden ser reproducidos sin ninguna dificultad. Sin embargo, se presentó un problema: el audio no se reproducía por la salida digital (HDMI) debido a que la configuración del sistema operativo provocaba que la

³⁹ Este reproductor viene integrado por defecto en Raspbian y fue diseñado específicamente para la GPU de la Raspberry Pi [30].

Raspberry enviara una señal de video para *DVI*⁴⁰ por el puerto HDMI, dicho error se enmarca en la imagen 4.17.

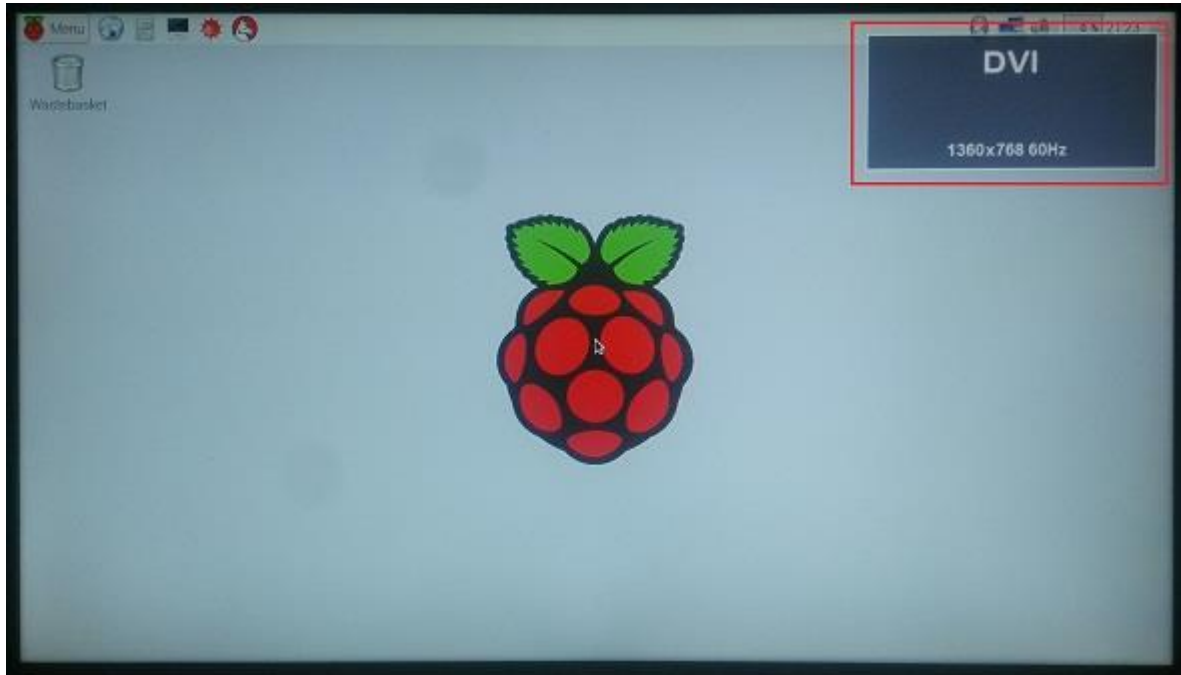
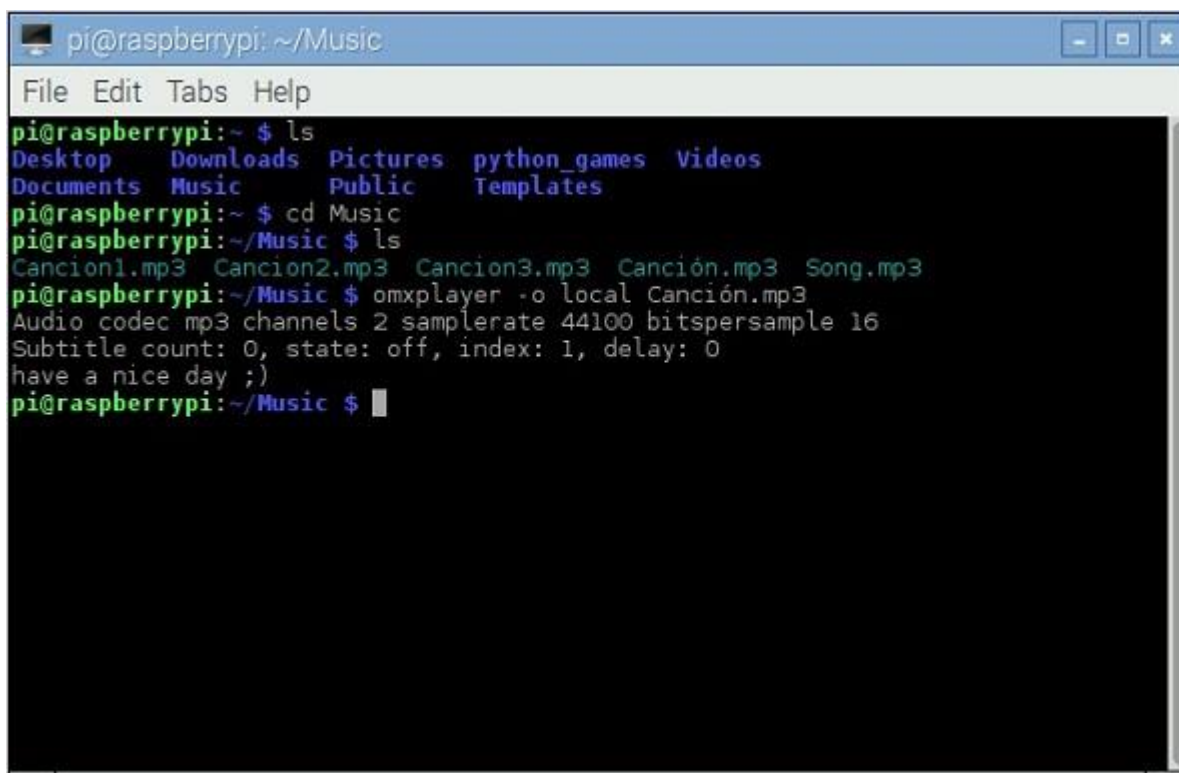


Imagen 4.17 Señal DVI recibida por el televisor.

La reproducción de audio o video mediante OMXPlayer se realiza ejecutando el comando *omxplayer* seguido del nombre del archivo y su extensión, después de localizar o ingresar su ubicación. No obstante, en esta ocasión la señal de audio será enviada por la salida predeterminada, por lo que se puede agregar el parámetro *-o* seguido del nombre de la salida (*hdmi/local/both*) para determinar por donde se enviará la señal de audio. Como ejemplo se reprodujo por la salida analógica (puerto de 3.5 mm) el archivo *canción* de extensión *mp3* que se encontraba en la carpeta interna *Music*, por lo cual, primero se abrió la terminal haciendo clic sobre el botón situado en la barra de tareas o en el menú de aplicaciones. A continuación, se utilizaron los comandos *ls* y *cd* con la finalidad de encontrar la dirección del archivo a reproducir. El comando *cd* seguido de la dirección deseada se usa para navegar entre los

⁴⁰ *Digital Visual Interface* es una interfaz de video diseñada para obtener la máxima resolución posible en pantallas digitales la cual puede transmitir tanto video digital como analógico a través del mismo conector.

archivos del sistema ya sea entrando carpeta por carpeta o ingresando la ruta de acceso completa, en cambio, si solamente se tecléa *cd* en la consola se regresa a la carpeta anterior. Mientras tanto, el comando *ls* (sin parámetros) sirve para ver los archivos que contiene la ruta actual, sin embargo, también se puede agregar una dirección específica para mostrar su contenido. Por último, se ingresó la instrucción **omxplayer -o local canción.mp3** con el fin de iniciar la reproducción de dicho archivo, este procedimiento se indica en la imagen 4.18.

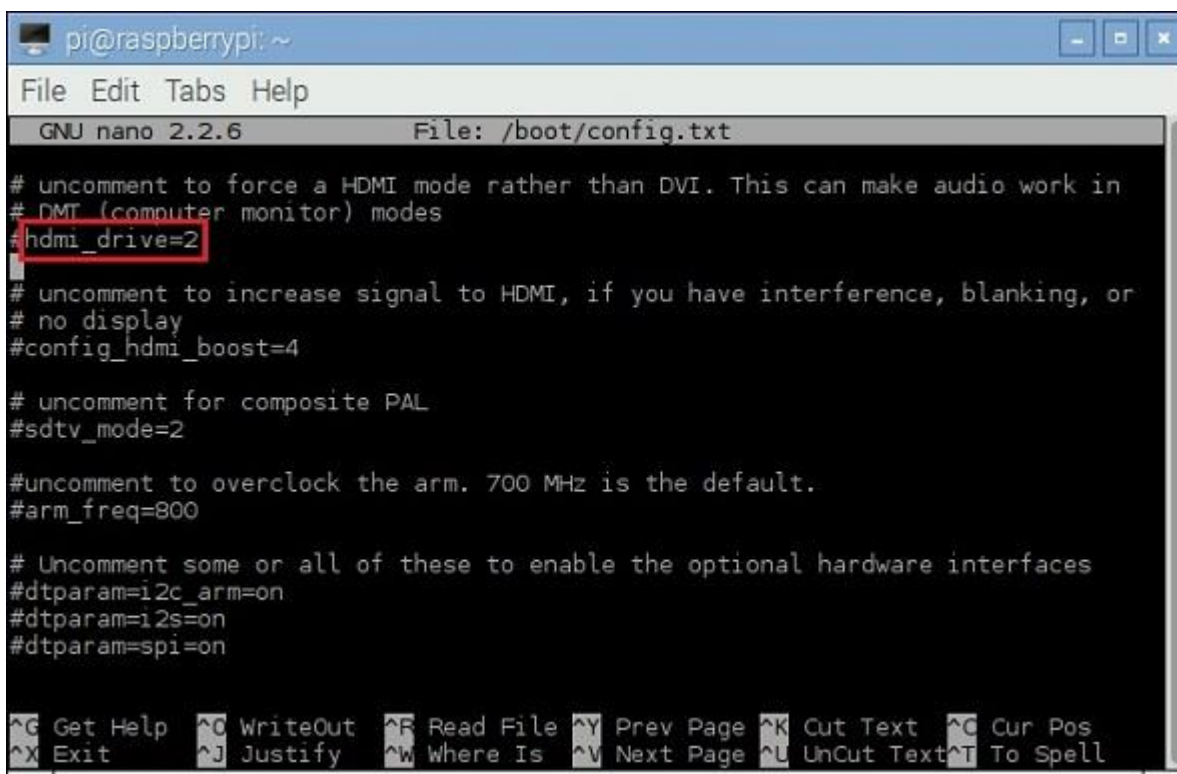


```
pi@raspberrypi: ~/Music
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~ $ ls
Desktop  Downloads  Pictures  python_games  Videos
Documents Music      Public    Templates
pi@raspberrypi:~ $ cd Music
pi@raspberrypi:~/Music $ ls
Cancion1.mp3 Cancion2.mp3 Cancion3.mp3 Canción.mp3 Song.mp3
pi@raspberrypi:~/Music $ omxplayer -o local Canción.mp3
Audio codec mp3 channels 2 samplerate 44100 bitspersample 16
Subtitle count: 0, state: off, index: 1, delay: 0
have a nice day ;)
pi@raspberrypi:~/Music $
```

Imagen 4.18 Localización y reproducción del archivo *canción.mp3* mediante la terminal de Raspbian.

Por el contrario, en el caso del puerto HDMI no se pudo escuchar el audio mediante el televisor a pesar de que se le ordenó salir por ese puerto. Para resolver este inconveniente fue necesario agregar la línea *hdmi_drive=2* al archivo *config.txt* para forzar el modo HDMI en lugar del DVI puesto que sin esta línea el audio no es enviado por HDMI aunque se le ordene, esto se debe a que el modo HDMI permite que el sonido funcione a través de esta misma interfaz, lo cual el modo DVI no hace. Para añadir esta nueva línea dentro del archivo es

posible quitar el símbolo # de la línea ya existente (para descomentarla) así como se señala en la imagen 4.19 pero también se puede escribir al final del documento, para ello, se abrió la terminal de Raspbian y se ingresó la instrucción **sudo nano /boot/config.txt**. En la siguiente ventana, se escribió **hdmi_drive=2**, se tecleo **control+x** para cerrar la ventana, “y” para guardar los cambios, **Enter** para confirmar el nombre del archivo y finalmente, se ejecutó el comando **sudo reboot** para reiniciar el equipo y que los cambios surtieran efecto. Asimismo, es posible modificar el documento de texto *config* mediante Windows abriendo este archivo desde la partición *boot* de Raspbian y editando la línea `hdmi_drive=2`.



```
pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
GNU nano 2.2.6 File: /boot/config.txt
# uncomment to force a HDMI mode rather than DVI. This can make audio work in
# DMT (computer monitor) modes
#hdmi_drive=2
#
# uncomment to increase signal to HDMI, if you have interference, blanking, or
# no display
#config_hdmi_boost=4
#
# uncomment for composite PAL
#sdtv_mode=2
#
#uncomment to overclock the arm. 700 MHz is the default.
#arm_freq=800
#
# Uncomment some or all of these to enable the optional hardware interfaces
#dtparam=i2c_arm=on
#dtparam=i2s=on
#dtparam=spi=on
^G Get Help ^O WriteOut ^F Read File ^Y Prev Page ^K Cut Text ^C Cur Pos
^X Exit ^J Justify ^W Where Is ^V Next Page ^L UnCut Text ^T To Spell
```

Imagen 4.19 Modificación del archivo *config.txt*.

4.2 Instalación y pruebas de Android en las SBC

Con el fin de que la mesa interactiva posea una interfaz gráfica que se controle fácilmente, se decidió instalarle un sistema operativo con el cual el usuario esté familiarizado, por ello, se escogió a Android ya que es de código abierto, es el más utilizado en dispositivos móviles y fue diseñado especialmente para usarse con pantallas táctiles. Aun cuando Android sea de código abierto tiene el inconveniente de que los controladores de hardware son privados puesto que dependen únicamente de los fabricantes de dispositivos, en el caso de las single board computers los drivers que ejecutan usualmente son creados por los desarrolladores de cada comunidad, en consecuencia, existe un proyecto de Android diferente para cada SBC.

4.2.1 BeagleBone Black

Con relación a esta placa, se pueden encontrar varias adaptaciones de Android en internet entre las cuales se probó una de la versión 4.2.2 Jelly Bean y una llamada BBBAndroid.

Android para la BeagleBone Black

Este sistema operativo es una adaptación de Android 4.2.2 Jelly Bean para la BBB, fue diseñada por Andrew Henderson y es distribuida usando un enlace de descarga a través de la página <https://elinux.org/Beagleboard:Android>. Esta adaptación se encuentra precompilada en una imagen de disco comprimida con la extensión *.bz2*, por lo que después de descargar el archivo de internet fue necesario descomprimirlo usando el programa WinRAR.

Posteriormente, se insertó la memoria microSD donde se iba a grabar este SO y se ejecutó la aplicación Win32 Disk Imager para ingresar la ubicación de la imagen de disco y la letra que se le asignó a la microSD. Más adelante, se hizo clic en **Write**, se aguardó a que se escribiera el archivo *.img* sobre la memoria, se cerró la ventana de Win32 Disk Imager y por último, se extrajo la tarjeta de memoria de la PC.

A continuación, se insertó la microSD a la BeagleBone Black en la ranura correspondiente y con la estructura de conexión explicada en el capítulo 3.2 se prosiguió a prender esta placa, donde se notó que es necesario encender el televisor antes de arrancar la BBB ya que de no ser así la señal no se envía por el puerto HDMI, por tanto, no se muestra nada en pantalla.

Una vez efectuado lo anterior, se mostró en el televisor la palabra ANDROID por unos minutos mientras el sistema operativo terminaba de cargar. Enseguida, el SO indicó como abrir el menú de aplicaciones y como agregar una aplicación a la pantalla de inicio (escritorio) tal como se nota en las imágenes 4.20 y 4.21.

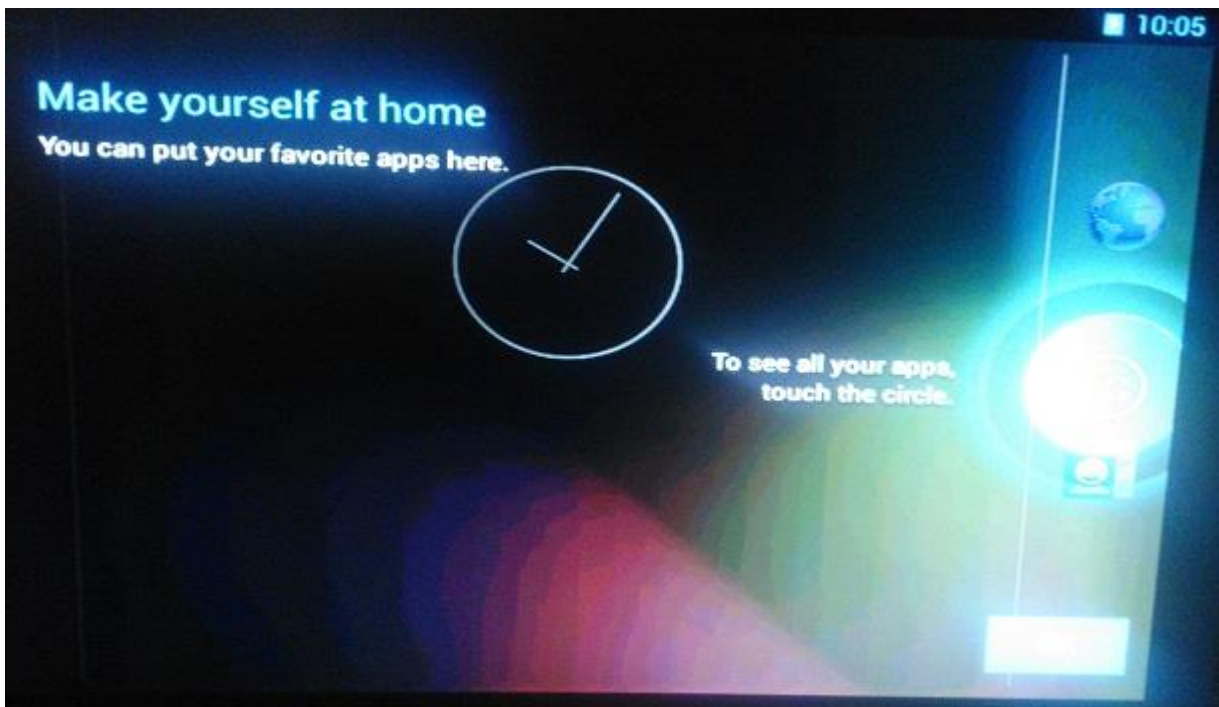


Imagen 4.20 Como abrir el menú de aplicaciones.

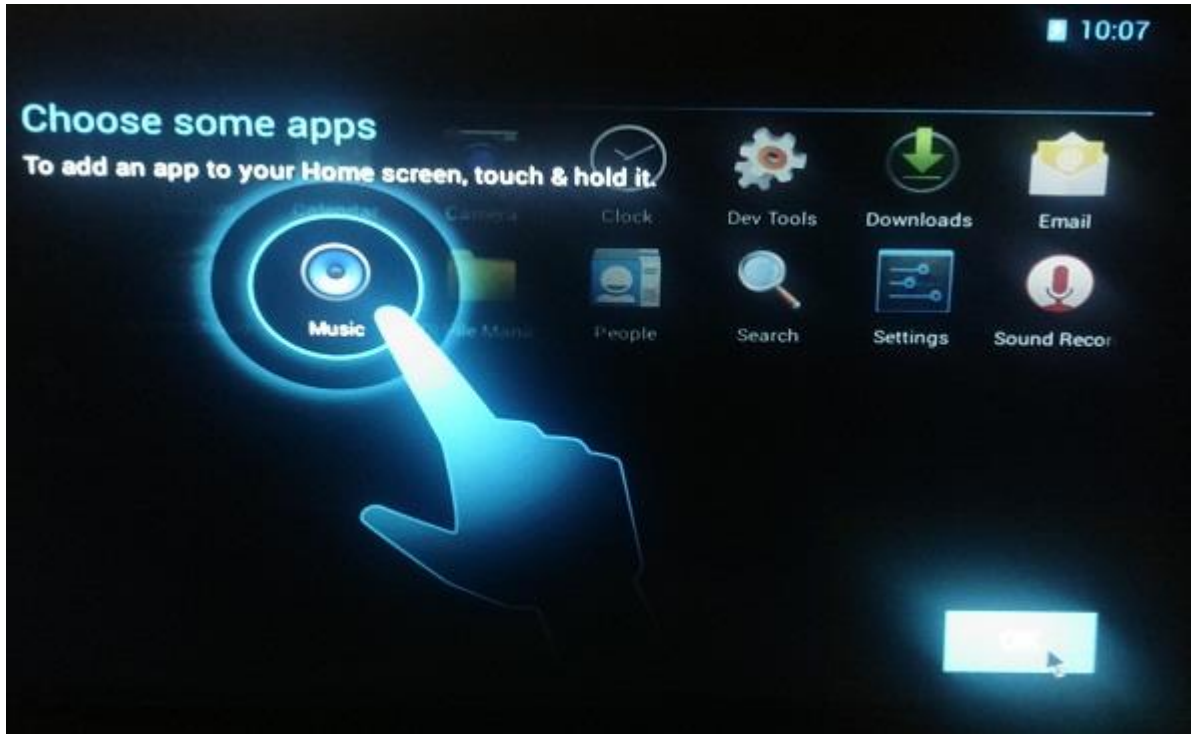


Imagen 4.21 Como agregar una aplicación a la pantalla de inicio.

Con referencia a los periféricos, el sistema los reconoció sin complicaciones permitiendo la interacción sin necesidad de controladores. En cuanto a la interfaz que se aprecia en la imagen 4.22, ésta no contiene los botones virtuales que incluye un Android actual para regresar, ir al escritorio y ver las ventanas abiertas. No obstante, la interfaz contiene una barra al costado derecho que al hacer clic sobre ella cambia de color y sirve para regresar al punto anterior de la aplicación. Otra manera de regresar es pulsando la tecla **Esc** del teclado físico, esto es posible debido a que el sistema intercambia el teclado virtual por el físico cuando detecta este último. En la imagen 4.23 se observa el teclado virtual que utiliza esta adaptación de Android.

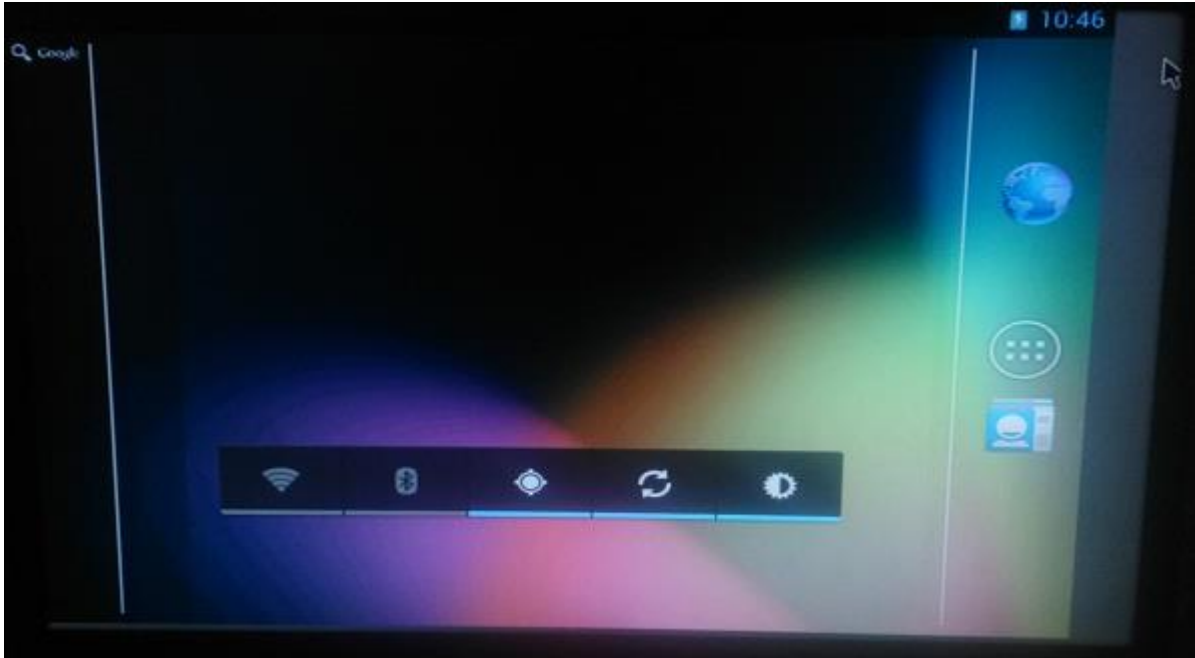


Imagen 4.22 Interfaz de Android 4.2.2 Jelly Bean para la BBB.

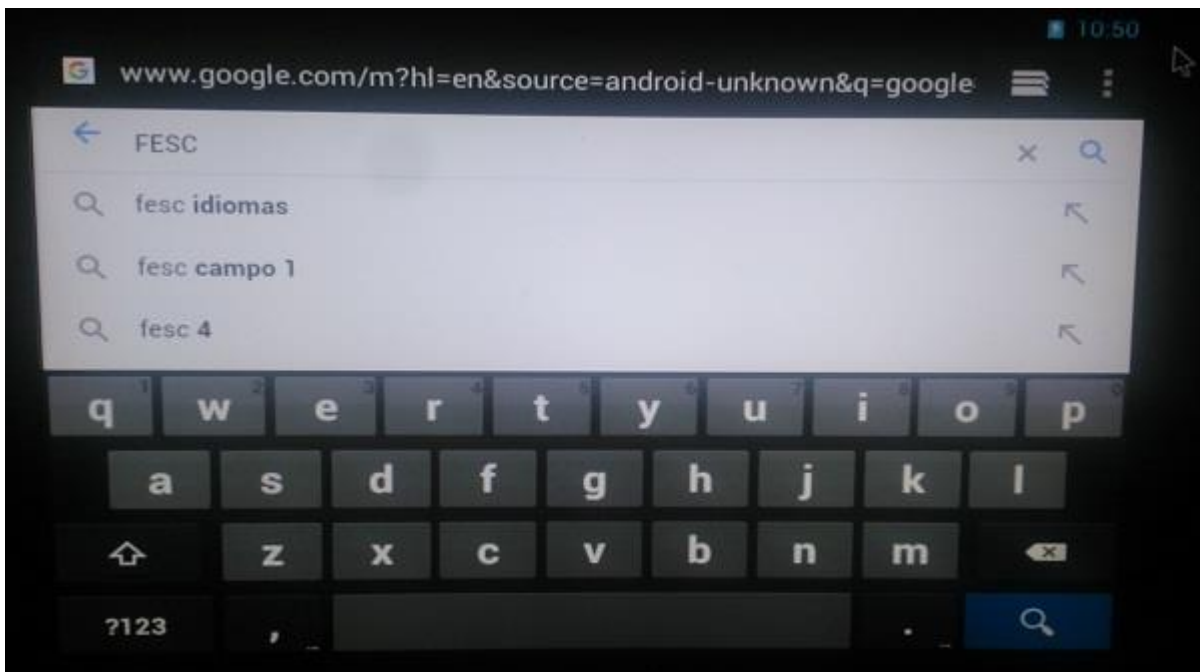


Imagen 4.23 Teclado Virtual de la adaptación de Android.

Respecto al sistema, fue posible percatarse de que no reconoció los dispositivos de almacenamiento USB ni permitió hacer capturas de pantalla (*screenshots*), mientras que el botón POWER de la BBB sirve tanto para bloquear la pantalla como para apagar el sistema así como se visualiza en la imagen 4.24.

Más tarde, se probó el acceso a internet a través del cable Ethernet usando el buscador que tiene este SO manifestando buenos resultados. Por el contrario, la conexión inalámbrica falló al intentar activar tanto el Wi-Fi como el Bluetooth de este dispositivo puesto que ambos módulos no fueron reconocidos por el sistema. Finalmente, se probaron todas las aplicaciones que contiene esta adaptación de Android Jelly Bean, las cuales funcionaron sin problemas.

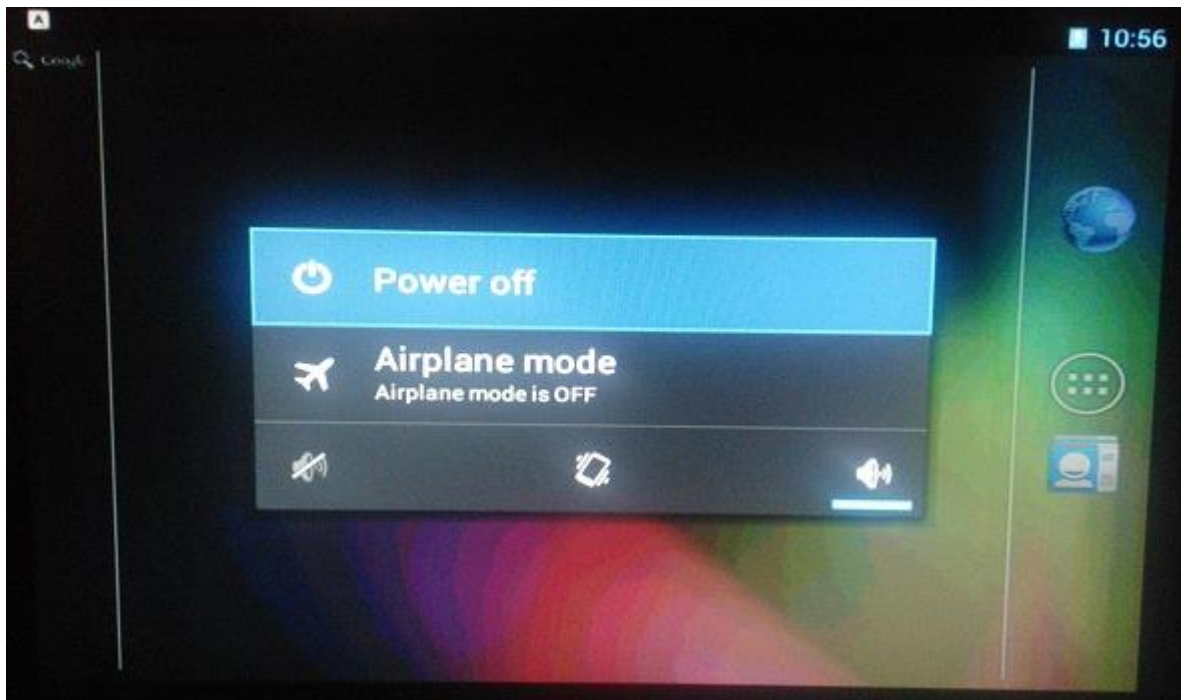


Imagen 4.24 Opción de apagado al pulsar el botón POWER de la placa.

BBBAndroid

Este sistema operativo es una adaptación de Android 4.4.4 KitKat para la BeagleBone Black distribuida gratuitamente por la comunidad Sourceforge mediante un enlace de descarga en la

página principal de este proyecto (<http://bbbandroid.sourceforge.net/>). Dicho enlace de descarga proporciona la versión compilada de BBBAndroid en una imagen de disco (.img) de aproximadamente 8 GB, la cual se encuentra comprimida en un archivo de extensión .xz con el objeto de facilitar su descarga. Por lo tanto, se descargó el archivo comprimido haciendo clic en el enlace y más adelante, se extrajo la imagen de disco empleando el programa WinRAR.

Una vez descomprimida la imagen de disco de BBBAndroid se insertó la microSD que se usó para la instalación de este SO y posteriormente, se abrió Win32 Disk Imager, donde se colocó la ubicación del archivo .img y la letra asignada a la memoria según los campos requeridos. Enseguida, se dio clic en **Write**, se esperó a que terminara el proceso de grabación, se cerró la aplicación y al final, se extrajo la tarjeta de memoria de la computadora.

Más tarde, con la configuración descrita en el capítulo 3.2 se insertó la microSD a la BeagleBone Black y se prosiguió a energizar la placa. Al igual que con Debian Wheezy se recomienda encender la pantalla antes que la BBB para que la pantalla reciba la señal adecuada y no presente la distorsión mostrada en la imagen 4.25.



Imagen 4.25 Distorsión recibida por la pantalla.

Cuando se terminó de cargar el sistema operativo, éste arrojó dos consejos para usar las aplicaciones e inmediatamente después permitió la interacción con el usuario sin ninguna configuración adicional. Asimismo, el teclado, el mouse y la película capacitiva no requirieron controladores para su funcionamiento. Sin embargo, no se pudo reconocer las memorias USB ni fue posible hacer capturas de pantalla, además de que el sistema en general trabajó lentamente. En la imagen 4.26 se puede ver el entorno de escritorio que emplea BBBAndroid, el cual posee un teclado virtual que sale cada vez que se necesita, este teclado se presenta en la imagen 4.27 y al igual que en la adaptación de Andrew Henderson el sistema es capaz de intercambiarlo con el teclado físico dependiendo si se encuentra o no conectado a la placa.

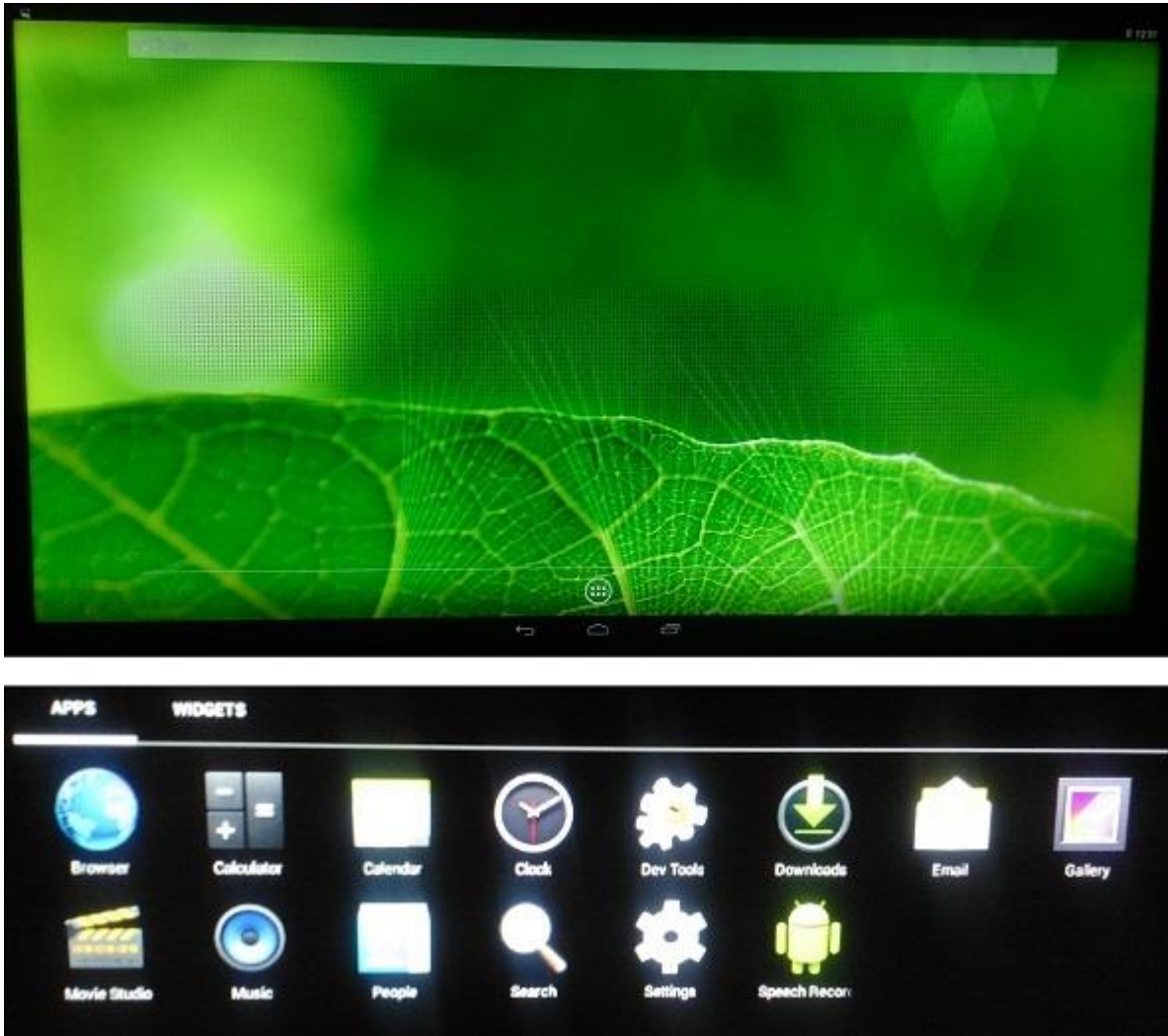


Imagen 4.26 Pantalla de inicio (arriba) y menú de aplicaciones (abajo) de BBBAndroid.

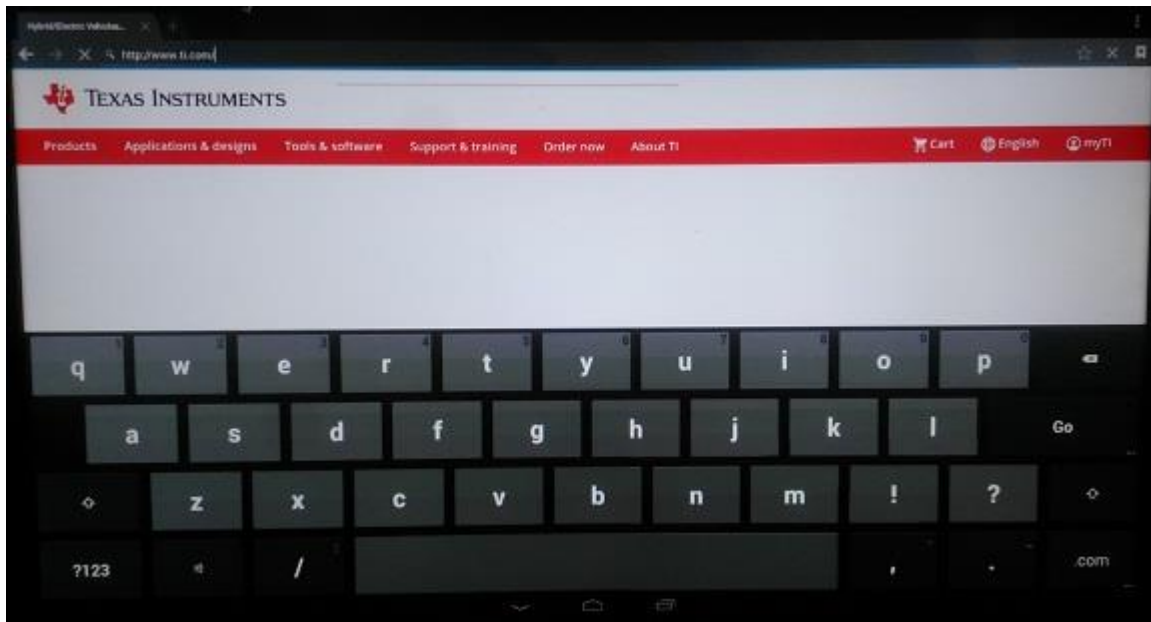


Imagen 4.27 Teclado virtual de BBBAndroid.

Para verificar la conexión a internet mediante el cable Ethernet se utilizó el buscador que contiene este SO a como se observa en la imagen anterior, lo que manifestó buenos resultados. En cambio, con la conexión inalámbrica no se pudo ingresar a la Web debido a que el sistema no identificó el módulo Wi-Fi ni el Bluetooth aunque tampoco dispone de una configuración para este último. Finalmente, se probaron todas las aplicaciones que contiene BBBAndroid funcionando correctamente con excepción de la aplicación *Gallery*, la cual se detiene al abrirla arrojando el mensaje que se distingue en la imagen 4.28.

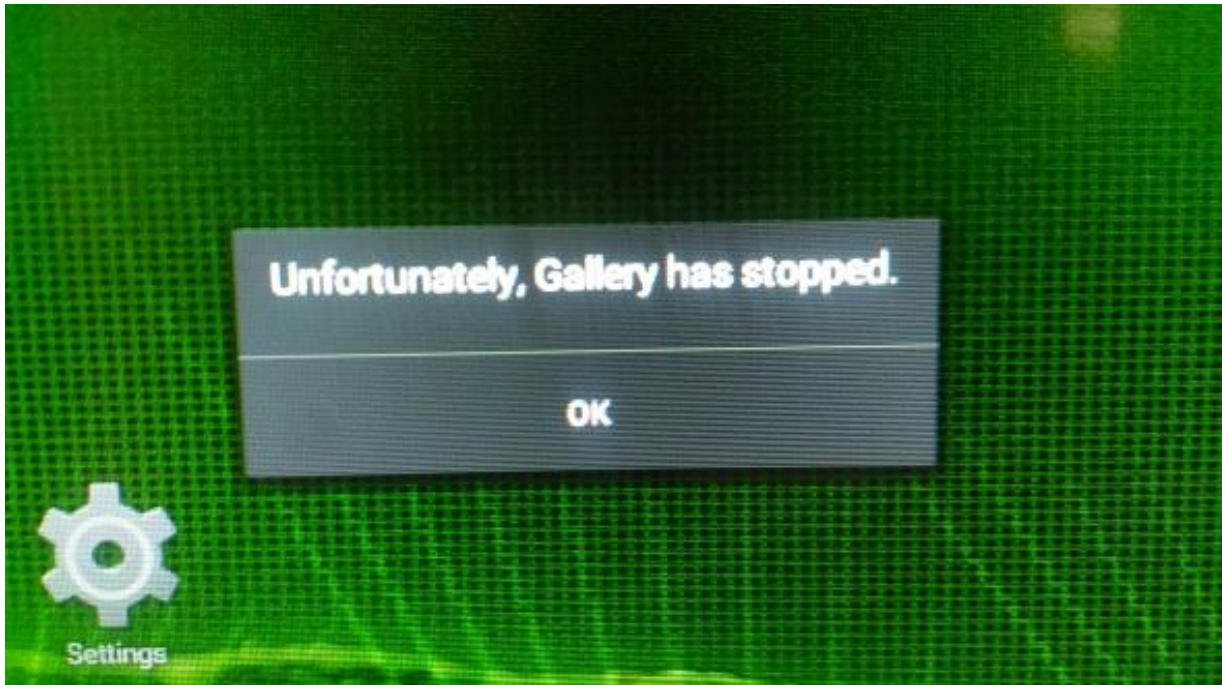


Imagen 4.28 Mensaje cuando se trata de abrir Gallery.

4.2.2 Raspberry Pi 2B

De manera oficial no existe una versión de Android para Raspberry, pero existen en la Red diversos proyectos basados en Android compatibles con estas tarjetas, algunos son privados como RTAndroid y RaspAnd, mientras que otros son gratuitos como CyanogenMod y algunas versiones de Android adaptadas para Raspberry Pi. No obstante, los sistemas de código cerrado no se probaron ya que hay que pagarlos y lo que se busca con este trabajo es reducir costos, además, existen críticas en cuanto a su velocidad. Por otro lado, con respecto a CyanogenMod, según los mismos desarrolladores era muy lento y en ocasiones llegaba al fallo debido a que las gráficas de aceleración de hardware para la Raspberry todavía no eran compatibles del todo con este sistema operativo, aun así, se intentó su instalación a fin de comprobar su rendimiento.

CyanogenMod 7.2

Este sistema operativo es una versión de Android 2.3 Gingerbread diseñada para varios dispositivos móviles incluida la Raspberry Pi 2B, CyanogenMod 7.2 es distribuido por diversos sitios de internet mediante una imagen de disco (.img) que en esta ocasión se descargó de: <http://rosefire.us/~razdroid/aaa801/Gingerbread+EthernetManager.7z>. Puesto que esta imagen de disco se encuentra comprimida en un archivo .7z⁴¹, a la hora de su descarga se empleó el programa WinRAR de Windows para extraer el SO dando clic derecho sobre el archivo comprimido y luego seleccionando **Extraer aquí**.

Al terminar la descompresión, se insertó la memoria microSD a la computadora para grabarle CyanogenMod empleando la aplicación Win32 Disk Imager donde se colocaron en los campos requeridos la ubicación del archivo .img y la letra asignada a la microSD. Enseguida, se dio clic en **Write**, se esperó a que se terminara la grabación, se cerró el programa y se extrajo la memoria de la PC.

Finalmente, se insertó la microSD a la Raspberry con la conexión descrita en el capítulo 3.2 y se prosiguió a prender la placa. Lamentablemente, CyanogenMod no se pudo ejecutar, de hecho, en ningún momento la placa presentó alguna señal de que estuviera trabajando. Sin embargo, según Win32 Disk Imager la grabación se completó satisfactoriamente y con la herramienta Administración de discos se pudo ver que el disco no manifestaba errores así como se representa en la imagen 4.29.



Disco 1	(F:)				
Extraíble 28.97 GB En pantalla	75 MB FAT32 Correcto (Par)	407 MB Correcto (Par)	512 MB Correcto (Partición)	256 MB Correcto (Partició	27.75 GB No asignado

■ No asignado ■ Partición primaria

Imagen 4.29 microSD después de la instalación de CyanogenMod 7.2.

⁴¹ Este formato de compresión de datos maneja tasas más altas que las empleadas en los formatos (.zip) y (.rar).

Android 5.1 Lollipop

Este SO es una adaptación de la versión 5.1 de Android para la Raspberry Pi desarrollada por Peter Yoon, la cual se encuentra disponible en código fuente a través de la plataforma de desarrollo colaborativo de software *GitHub*⁴², sin embargo, Geek Till It Hertz proporciona una versión compilada de este sistema operativo cuyo proceso de instalación [26] se explica a continuación.

Primeramente, se descargó la carpeta comprimida (*pi5-1.zip*) que contiene la versión compilada de Lollipop empleando el servicio de almacenamiento *MediaFire* con la dirección electrónica: <http://www.mediafire.com/file/cn5e1qbfapbnqix/pi5-1.zip>. Enseguida, para poder instalar Android 5.1 en la Raspberry Pi 2B, se requirió un equipo con SO Linux debido a que este proceso no se puede realizar mediante Windows. Por esta razón, al no contar con un equipo de distribución Linux se decidió utilizar una memoria USB de arranque con Ubuntu⁴³ dado que esta distribución permite escoger entre instalarla o probarla, con lo cual es posible realizar el procedimiento de instalación de Lollipop entrando en modo de prueba. En el apéndice C se describe el proceso para hacer una memoria USB de arranque de Ubuntu.

Otro aspecto que hay que tomar en cuenta previo a la instalación de Android es la tarjeta de memoria, en este caso se utilizó una tarjeta microSD de 32 GB clase 10, sin embargo, se recomienda que tenga como mínimo 8 GB de almacenamiento.

Una vez en Ubuntu, se insertó la memoria microSD a la computadora y enseguida se abrió la aplicación *Discos* (disks) desde el menú de aplicaciones (Dash) para saber el nombre que le fue asignado a la memoria. A como se indica en la imagen 4.30 el nombre asignado a este dispositivo fue “mmcblk0” pero al estar particionado en 4 cada partición utiliza el nombre de la memoria más su número de partición (p1, p2, p3 y p4) correspondiente.

⁴² Esta plataforma sirve para guardar todas las versiones de código fuente de un proyecto (programa) empleando el sistema de control de versiones tipo *Git* para que los desarrolladores puedan acceder y compartir fácilmente las diferentes versiones almacenadas de dicho proyecto.

⁴³ Este procedimiento se puede realizar con todas las versiones de Ubuntu.

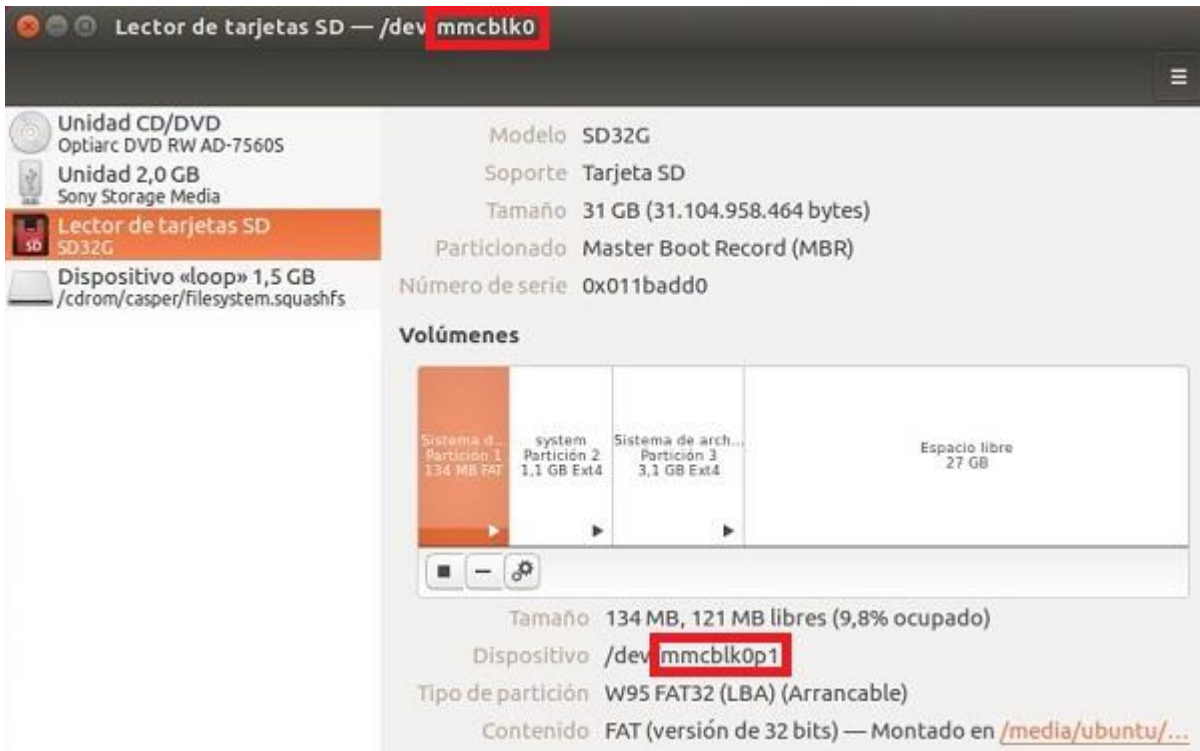


Imagen 4.30 Nombre asignado por la computadora a la tarjeta microSD.

Posteriormente, se ejecutó el editor de particiones *GParted*⁴⁴ y se seleccionó el nombre asignado a la microSD en el menú desplegable de la derecha. Después, si es el caso, se deben desmontar todas las particiones que se encuentren montadas dando clic derecho sobre cada partición y luego seleccionando **Desmontar** tal como se señala en la imagen 4.31. Otra forma de hacer esto es mediante la aplicación *Archivos*, cuando un dispositivo o una partición se encuentra montada posee un icono de extracción a su derecha a como se ilustra en la imagen 4.32 y para desmontarla solamente se tiene que hacer clic izquierdo sobre ese botón.

⁴⁴ Si no se tiene la aplicación *GParted* se debe de instalar mediante la terminal con el siguiente comando: **sudo apt-get install gparted** y luego pulsar “y” para confirmar la instalación.

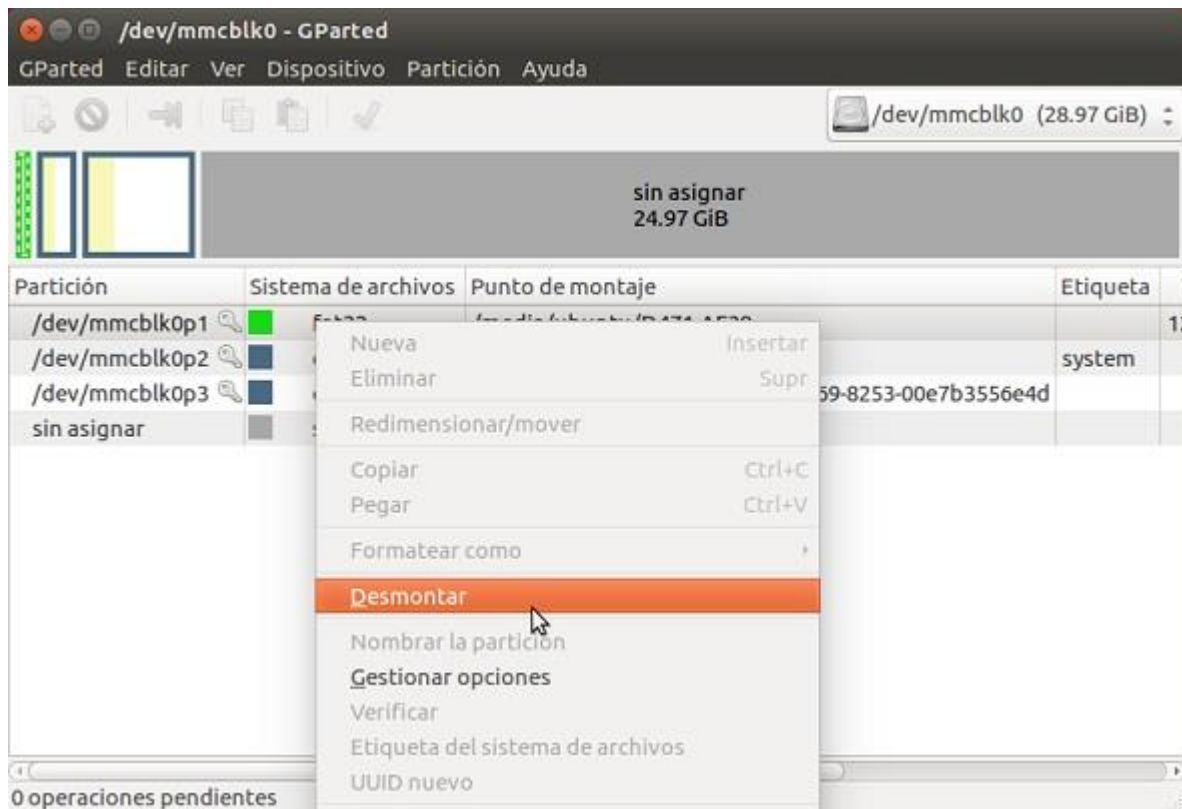


Imagen 4.31 Desmontaje de las particiones usando la aplicación GParted.

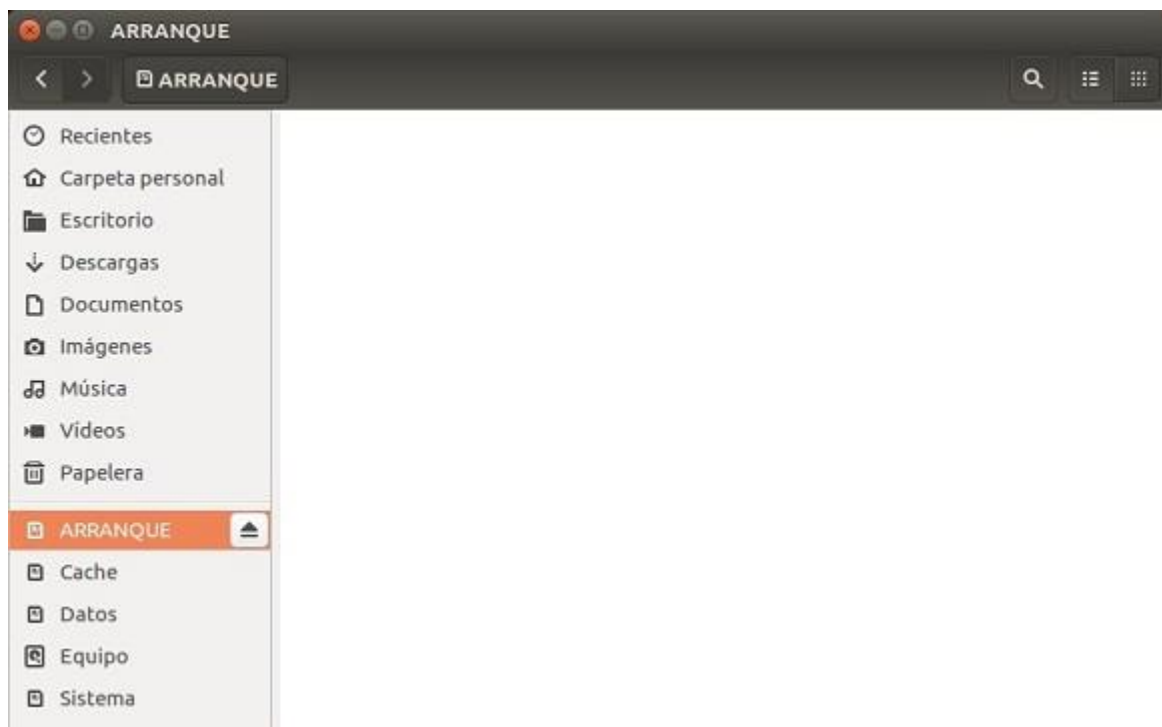


Imagen 4.32 Partición ARRANQUE montada y abierta desde la aplicación Archivos.

Si en algún momento no se puede montar o desmontar una partición, se puede hacer con la aplicación Discos, sólo se selecciona el dispositivo y la partición deseada y a continuación se hace clic en el primer botón que se encuentra debajo de las particiones así como se muestra en la imagen 4.33. Si se obtiene algún error en el proceso de escritura, montaje o desmontaje, es necesario eliminar todas las particiones y formatear la memoria con esta misma aplicación dando clic en el icono **Opciones adicionales de la partición** tal como se aprecia en la imagen 4.34 y en la ventana emergente seleccionar el formato **Lento** para que todos los errores que pueda tener el disco sean borrados. Hay que tener en cuenta que este proceso borra todos los datos contenidos además de que puede tomar bastante tiempo.



Imagen 4.33 Desmontaje de la partición 3 con la aplicación Discos.

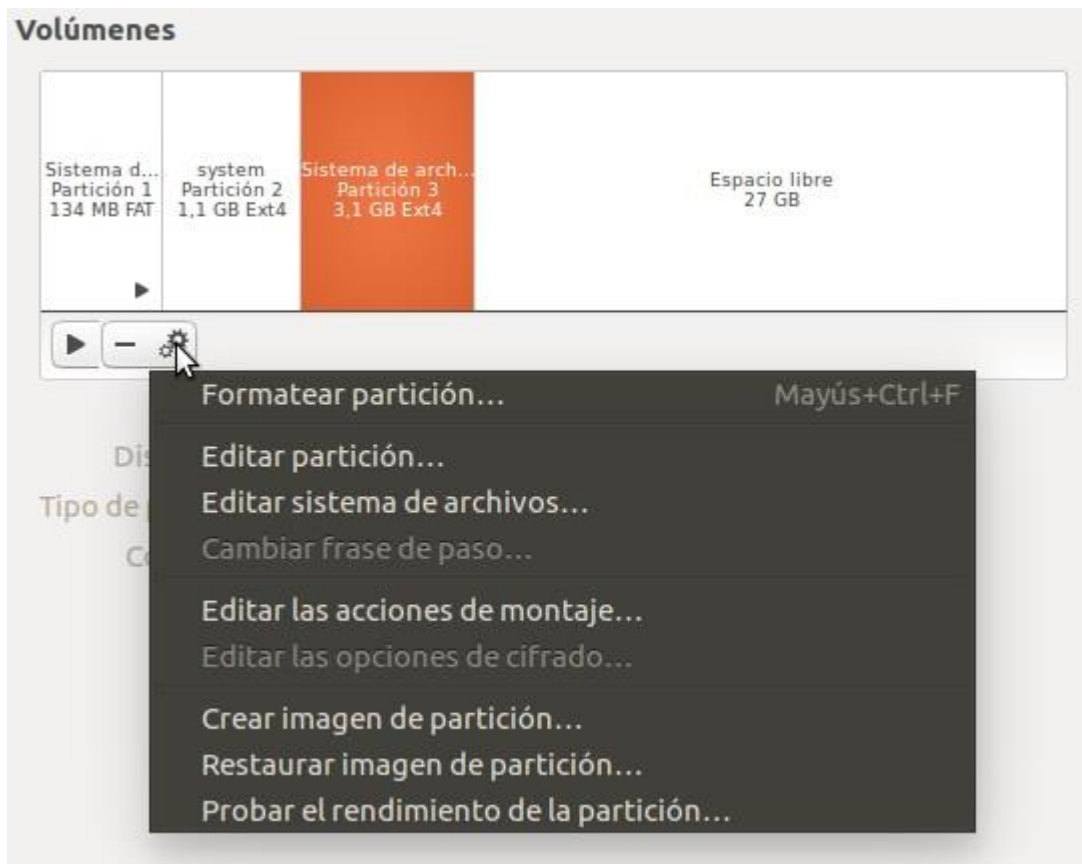


Imagen 4.34 Opciones adicionales de la partición.

Más tarde, en la barra de menús se dio clic en **Dispositivo** y en **Crear tabla de particiones...** tal y como se visualiza en la imagen 4.35. En la ventana emergente se eligió **msdos** y luego se hizo clic en **Aplicar**. Este proceso borró completamente los datos contenidos en el dispositivo de almacenamiento, por lo que todo el espacio de la microSD quedó como una sola partición señalada como “sin asignar”.

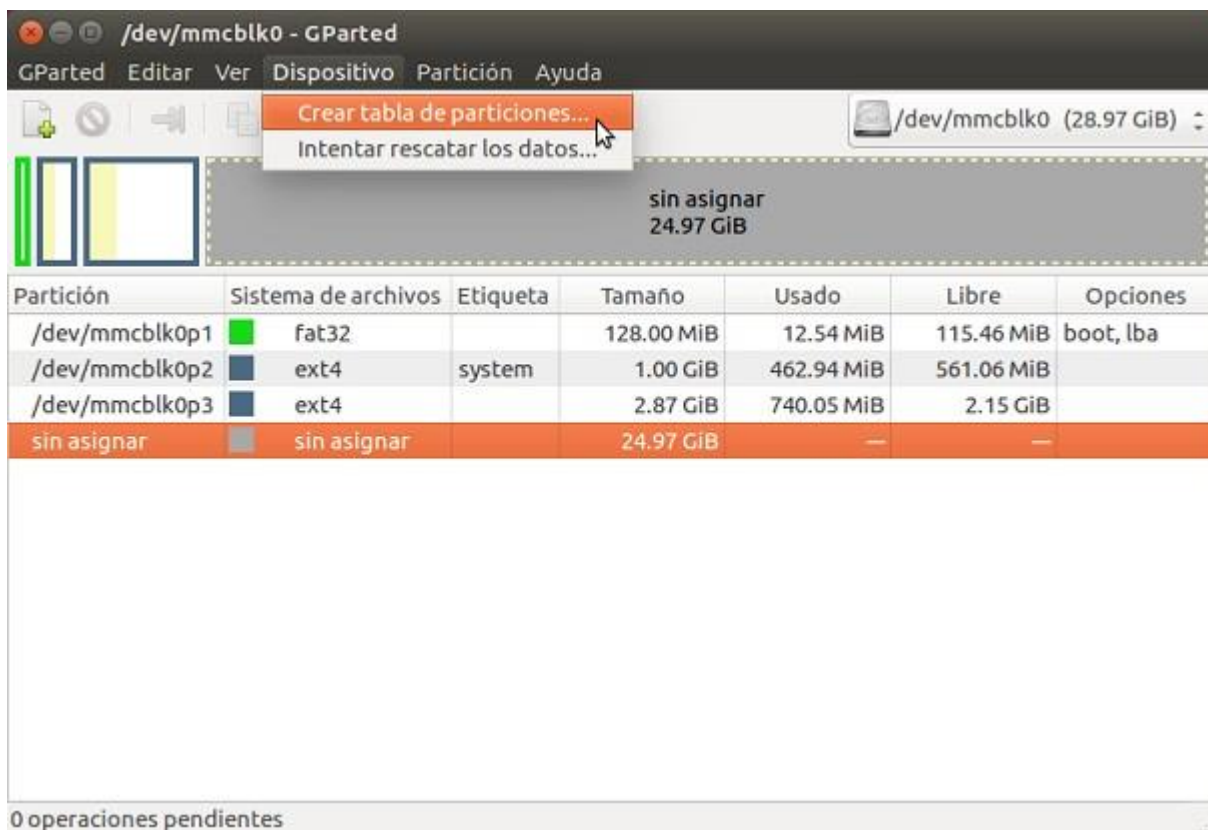


Imagen 4.35 Dispositivo > Crear tabla de particiones.

Continuando con el proceso de instalación se prosiguió a crear manualmente las particiones de la microSD que Lollipop utiliza para ejecutarse en la Raspberry Pi, por lo tanto, se dio clic derecho sobre la partición sin asignar y se seleccionó **Nueva** para crear cada una de las nuevas particiones de acuerdo con la tabla 4.1.

Partición	Etiqueta	Tamaño asignado	Tipo de partición	Tipo de archivos
#1	Arranque	512 MiB	Partición primaria	fat32
#2	Sistema	537 MiB	Partición primaria	ext4
#3	Cache	512 MiB	Partición primaria	ext4
#4	Datos	Espacio restante	Partición primaria	ext4

Tabla 4.1 Características de las particiones en la microSD para ejecutar Android 5.1.

Después de crear las 4 particiones, se hizo clic en el icono verde que dice **Aplicar todas las operaciones** que se observa en la imagen 4.36 y en la siguiente ventana se dio clic en **Aplicar**, lo cual lanzó otra ventana donde se observó el proceso de cada operación. Una vez finalizadas todas las operaciones se hizo clic en **Cerrar**.

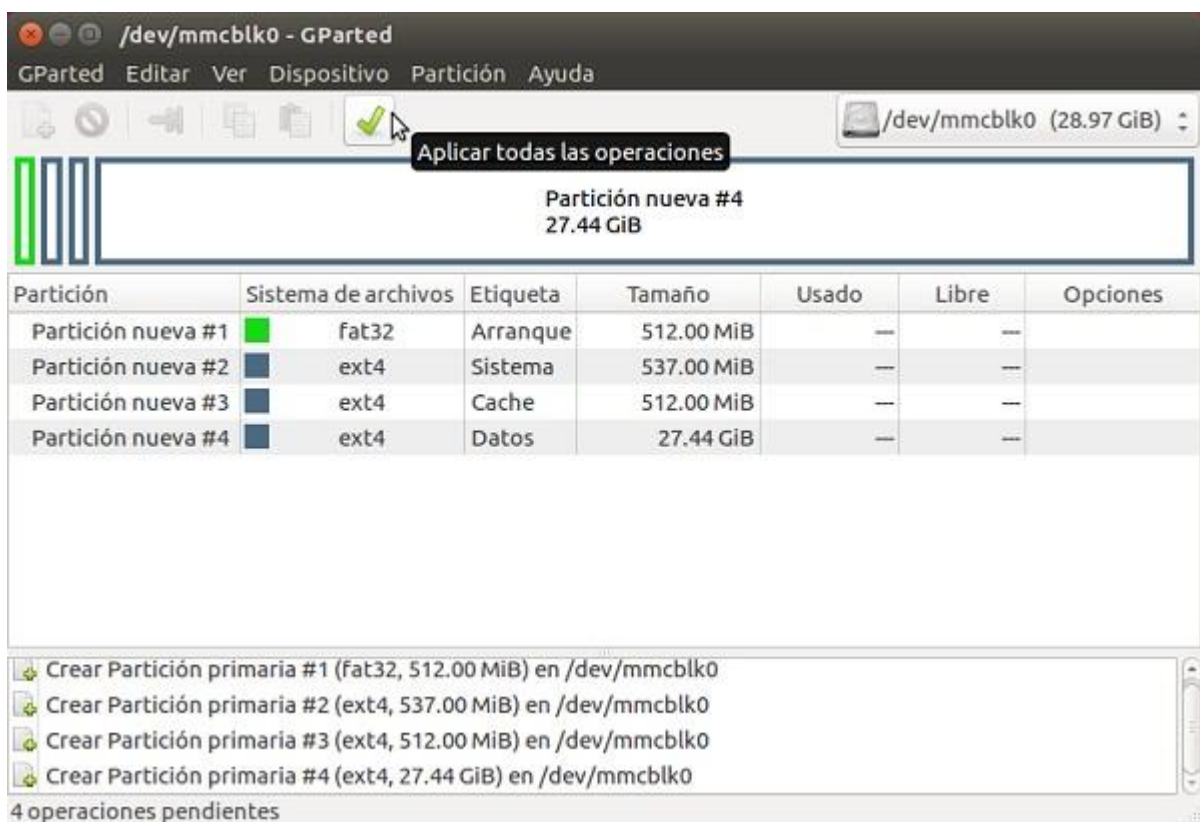


Imagen 4.36 Botón aplicar todas las operaciones.

Posteriormente, se procedió a etiquetar la partición #1 con la bandera de arranque haciendo clic derecho sobre la partición mencionada y luego seleccionando la opción **Gestionar opciones**, allí se activó la casilla **boot** y enseguida se cerró la ventana.

Más adelante, se abrió el administrador de archivos y en la parte izquierda de la ventana donde se encuentran los dispositivos extraíbles se hizo clic "sólo" sobre la partición **ARRANQUE** para montarla y abrirla tal cual se ilustra en la imagen 4.32. A continuación, con esta misma

herramienta se buscó la carpeta comprimida *pi5-1* descargada previamente y con el objetivo de usar los archivos que contiene dicha carpeta se abrió el *Gestor de archivadores* dando doble clic sobre el archivo .zip. Más tarde, se seleccionó la carpeta pi5-1, se hizo clic en el botón **Extraer** y por último, en la ventana emergente, se dio clic en **Extraer**. Una vez descomprimida esta carpeta, se abrió y se seleccionaron todos los archivos contenidos excepto *install.txt* y *system.img* para copiarlos a la partición ARRANQUE, así como se ejemplifica en la imagen 4.37.

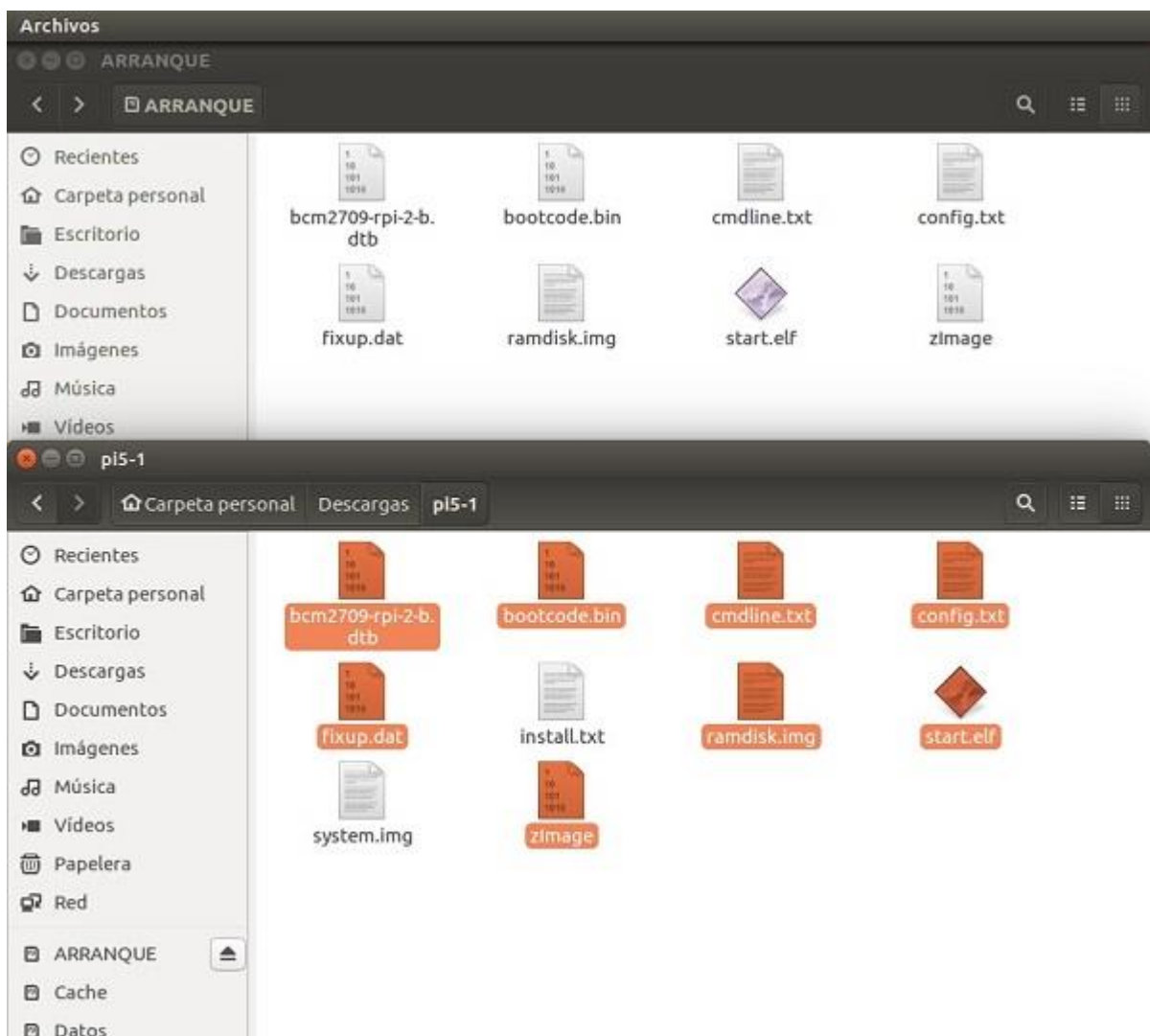
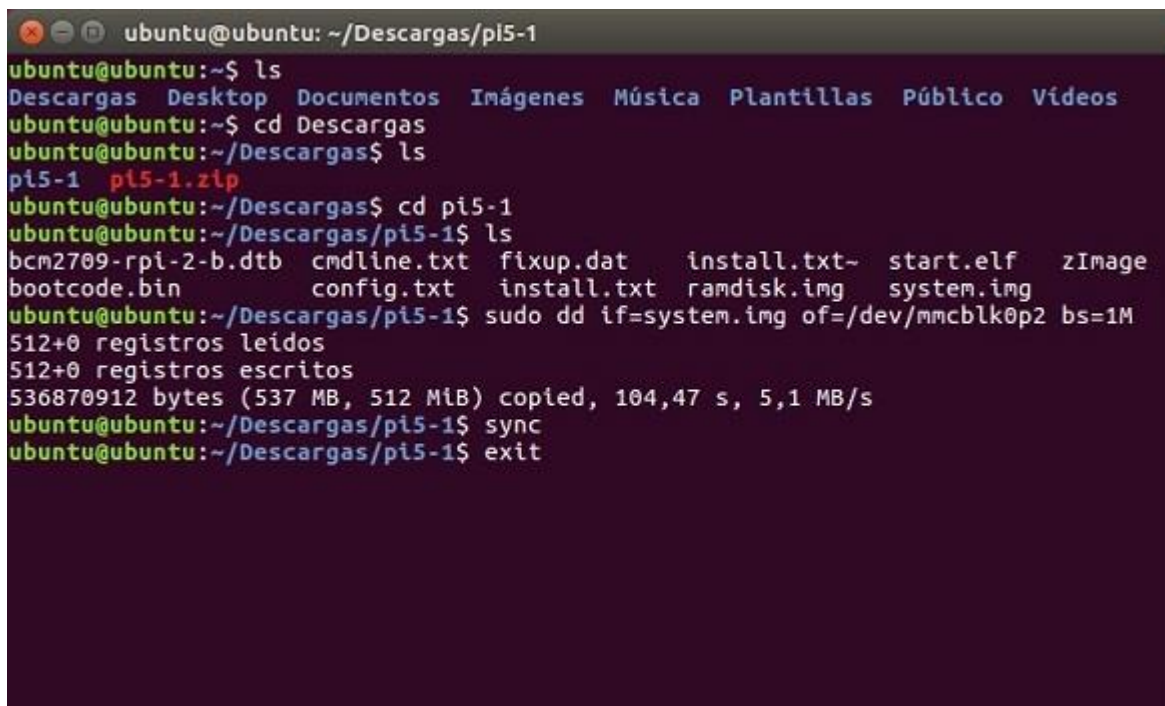


Imagen 4.37 Copiado de archivos a la partición ARRANQUE.

Luego, la estructura de Android 5.1 contenida en el archivo `system.img` se escribió sobre la partición #2, para hacer esto, primero se abrió la terminal de Ubuntu y enseguida se insertaron los comandos `cd` y `ls`, descritos en el capítulo 4.1.2, para encontrar la ubicación de dicho archivo. Cuando se comprobó que `system.img` se encontraba en la ruta actual, se prosiguió a ejecutar el comando `sudo dd if=system.img of=/dev/mmcbk0p2 bs=1M` para grabar la imagen de disco sobre la partición *Sistema* cuyo nombre fue asignado por la computadora en esta ocasión como `mmcbk0p2`. Este proceso tardó varios minutos e incluso el cursor se pausó momentáneamente.

Para concluir, antes de desmontar la partición se recomienda confirmar que todos los datos empleados en el proceso se hayan guardado en la microSD insertando el comando `sync` en la terminal, este comando escribe en disco cualquier dato que se encuentre en la memoria caché. En la imagen 4.38 se ilustran los comandos usados en la terminal de Ubuntu.



```
ubuntu@ubuntu: ~/Descargas/pi5-1
ubuntu@ubuntu:~$ ls
Descargas Desktop Documentos Imágenes Música Plantillas Público Vídeos
ubuntu@ubuntu:~$ cd Descargas
ubuntu@ubuntu:~/Descargas$ ls
pi5-1 pi5-1.zip
ubuntu@ubuntu:~/Descargas$ cd pi5-1
ubuntu@ubuntu:~/Descargas/pi5-1$ ls
bcm2709-rpi-2-b.dtb cmdline.txt fixup.dat install.txt~ start.elf zImage
bootcode.bin config.txt install.txt ramdisk.img system.img
ubuntu@ubuntu:~/Descargas/pi5-1$ sudo dd if=system.img of=/dev/mmcbk0p2 bs=1M
512+0 registros leídos
512+0 registros escritos
536870912 bytes (537 MB, 512 MiB) copied, 104,47 s, 5,1 MB/s
ubuntu@ubuntu:~/Descargas/pi5-1$ sync
ubuntu@ubuntu:~/Descargas/pi5-1$ exit
```

Imagen 4.38 Comandos empleados para instalar Android Lollipop.

Por último, se cerraron todas las ventanas, se desmontó la partición ARRANQUE y se extrajo la tarjeta microSD de la computadora.

Una vez finalizado el procedimiento anterior, se insertó la memoria en la Raspberry Pi 2B y con la conexión del capítulo 3.2 se energizó la placa. En este caso, al ser la primera vez que se cargó el sistema operativo en la Raspberry tardó bastante mostrando la palabra ANDROID en pantalla antes de permitir la interacción con el sistema, sin embargo, no se presentaron complicaciones.

Al entrar en la interfaz de usuario, Android 5.1 Lollipop lanzó dos consejos de uso de las aplicaciones e inmediatamente dejó controlar el sistema sin configurar nada más. Este entorno de escritorio se distingue en la imagen 4.39 y maneja un teclado virtual que trabaja como en cualquier versión actual de Android. Sin embargo, esta sencilla interfaz presenta el defecto de no poseer los botones virtuales para regresar al punto anterior, ir directamente al escritorio ni mostrar las aplicaciones recientes, por lo que fue necesario un teclado físico para poder regresar al punto anterior o salir de las aplicaciones presionando la tecla *Esc*. Aunado a esto, si Lollipop detecta el teclado físico no lanza el teclado virtual de modo que se configuró el sistema para usar ambos teclados dando clic en el **menú de aplicaciones > Settings > Language & input > Current keyboard >** y finalmente, activar el botón **Hardware: Show input method**.

A diferencia de la BeagleBone Black, todos los modelos de Raspberry Pi no cuentan con un botón para apagar la placa, esto se debe a que Raspberry Pi trata de minimizar bastante los gastos en su hardware, de tal forma que Lollipop sólo se puede apagar si se desconecta el eliminador del contacto de alimentación.



Imagen 4.39 Interfaz de usuario de Android 5.1 Lollipop.

Aunque Lollipop trabaja lentamente es funcional, por lo que se pudieron probar todas sus aplicaciones, las cuales presentaron buenos resultados exceptuando la aplicación *Galería* que no se pudo abrir en ningún momento. Mientras tanto, el teclado, el mouse y el touch foil fueron identificados sin dificultades. Posteriormente, se usó el buscador para comprobar la conexión a internet por medio del cable Ethernet, la cual permitió acceder sin ningún problema. Lamentablemente, el módulo de Wi-Fi que se utilizó en Raspbian no fue identificado por Android 5.1, por lo cual fue imposible entrar a internet por este medio, esto se debe a que este sistema operativo no contiene los controladores necesarios para usar este tipo de adaptadores ya que tampoco se pudo emplear el módulo Bluetooth.

4.2.3 Raspberry Pi 3B

Gracias a la popularidad de Android entre las comunidades de desarrolladores comenzaron a surgir nuevos sistemas operativos basados en proyectos de este SO para la Raspberry Pi 2B (Pi 2B) pero ahora diseñados para la Raspberry Pi 3B (Pi 3B) como EMTERIA que proviene del proyecto RTAndroid y LINEAGE que es el sucesor de CyanogenMod.

En la imagen 4.40 se presenta la Raspberry Pi modelo 3B que a diferencia de la Pi 2B mejora su microprocesador quad core de 32 bits a 64 bits, de ARMv7 a ARMv8, de 900 MHz a 1.2 GHz y su GPU de 250 MHz a 400 MHz. También, se aumentó su consumo de corriente de 2 A a 2.5 A y se cambió su lector de tarjetas microSD de sustracción mediante presión a por medio de fricción, lo cual evita las extracciones accidentales por manipulación mientras se encuentra en funcionamiento. La mejora más importante es la adición del chip BCM43438 que dota a la Pi 3B con conectividad inalámbrica Wi-Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth 4.2 Low Energy (BLE). Mientras tanto, dispone de la misma memoria RAM de 1 GB, los 40 pines GPIO, la salida de audio de 3.5 mm; y mantiene las interfaces Ethernet, USB, HDMI, DSI y CSI.



Imagen 4.40 Raspberry Pi 3B.

Aunque la Pi 2B no difiere demasiado realmente de la Pi 3B en cuestión de hardware, se decidió adquirir esta última principalmente para probar su conectividad inalámbrica y su compatibilidad con los siguientes sistemas operativos.

Android 7.1.1 Nougat

Al igual que Android 5.1 Lollipop, este SO es distribuido de forma gratuita por medio de la página oficial de Geek Till It Hertz (<https://geektillithertz.com/wordpress/>), quien junto con Peter Yoon y otros colaboradores han desarrollado diferentes versiones de Android Nougat para la Raspberry Pi 3B. No obstante, la gran compatibilidad de hardware entre las versiones 2B y 3B posibilita correr este sistema en ambos modelos. La versión más reciente y estable es la 7.1.1 para Tablet que se proporciona a través de este sitio web como una imagen de disco comprimida en .zip, de tal forma que se usó WinRAR para descomprimir este archivo después de descargarlo. A continuación, se insertó la memoria microSD a la PC y se ejecutó como administrador la aplicación Win32 Disk Imager, donde se escogió la letra asignada a la microSD y se colocó la ruta de acceso de la imagen de disco. Enseguida, se dio clic en **Write**, se esperó a que terminara el proceso, se cerró Win32 Disk Imager y al final se extrajo la memoria.

Posteriormente, se utilizó la misma conexión descrita para la Pi 2B del capítulo 3.2 pero ahora para la Pi 3B, por consiguiente, se le introdujo la microSD con Android Nougat y se encendió. Luego de unos minutos, cuando se terminó de cargar el sistema operativo se observó la pantalla de inicio de la interfaz de usuario con la cual se pudo interactuar sin requerir ninguna configuración previa. Android 7.1.1 Nougat incorpora la pantalla de inicio y el menú de aplicaciones representados en la imagen 4.41, además, cuenta con el teclado virtual que se encuentra en la imagen 4.42, el cual se ve y funciona como en otros dispositivos móviles.

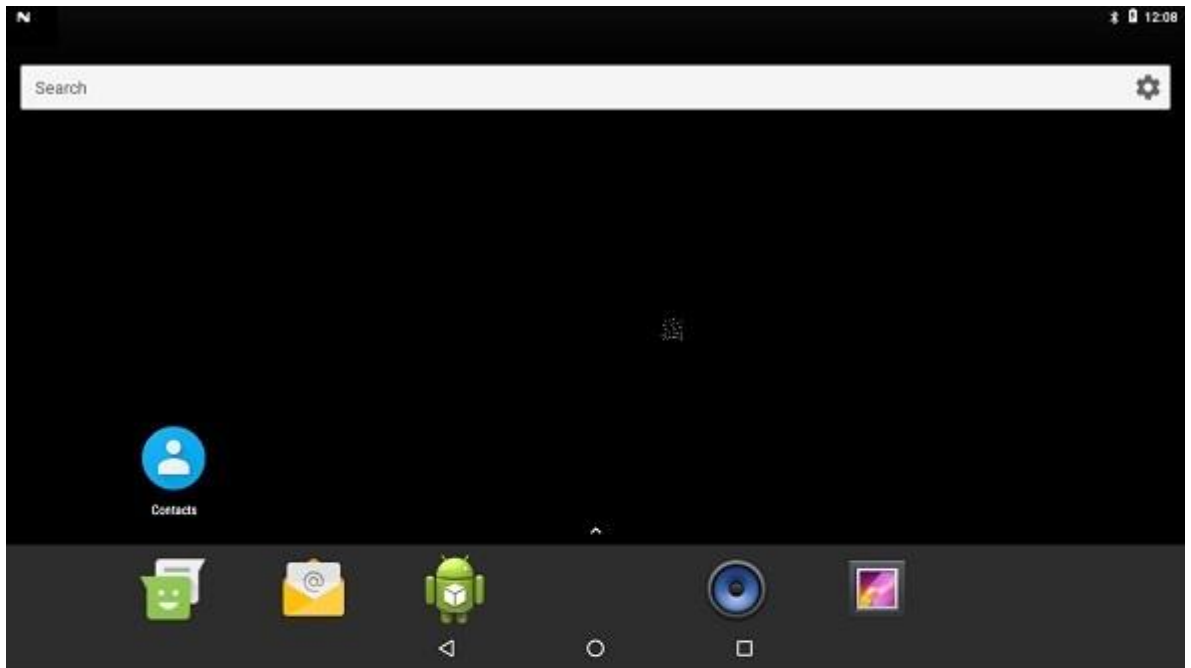


Imagen 4.41 Pantalla de inicio (arriba) y menú de aplicaciones (abajo) de Android 7.1.1 Nougat.

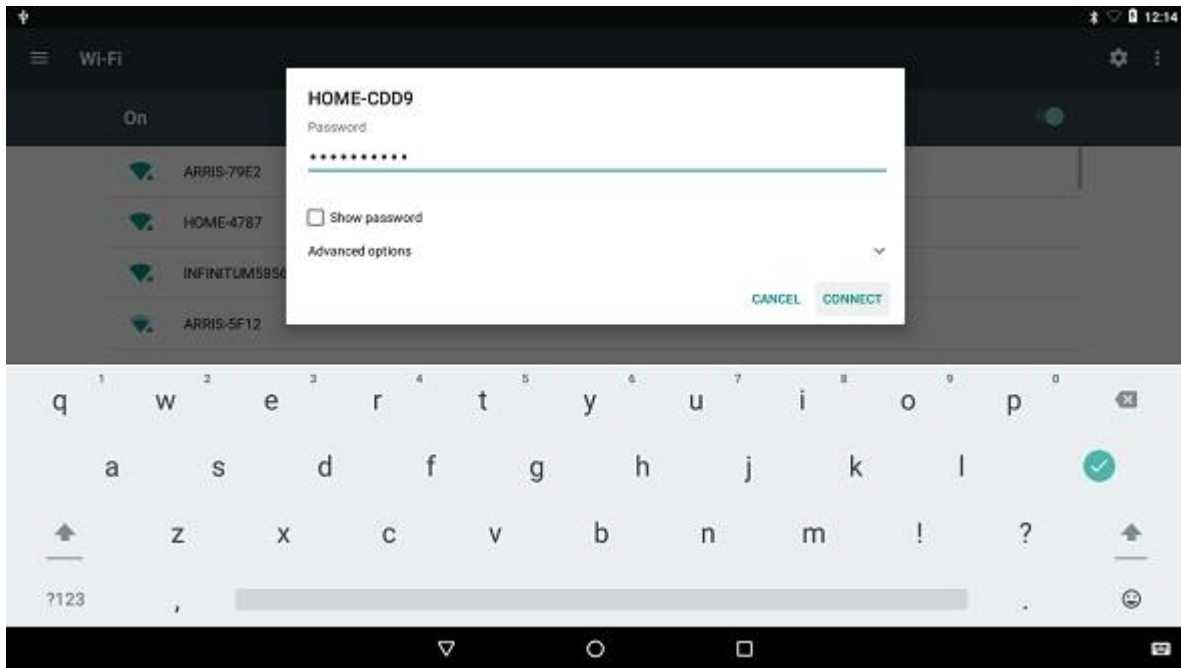


Imagen 4.42 Teclado Virtual de Nougat.

Con relación a los periféricos, todos funcionaron correctamente sin instalar drivers incluyendo la película capacitiva y las memorias USB. Asimismo, fue posible tomar capturas de pantalla y utilizar los tres botones virtuales localizados en la parte inferior de la pantalla demostrando un control total del sistema únicamente usando la película. Por el contrario, para apagar el sistema se necesitó desconectar el eliminador de la fuente de alimentación al igual que con Lollipop dado que Nougat no dispone de alguna forma de apagado virtual.

Con el propósito de probar el correcto funcionamiento del chip BCM43438 que contiene la Raspberry Pi 3B, se procedió a conectarse a una red Wi-Fi y a vincular la placa con otro dispositivo Bluetooth tal como se ejemplifica en las imágenes 4.43 y 4.44, logrando una conexión exitosa en ambos casos, por ende, se pudo acceder a internet vía Wi-Fi, mientras que por Bluetooth se pudieron enviar y recibir archivos. Adicionalmente, se comprobó que también se puede ingresar a internet a través del cable Ethernet.



Imagen 4.43 Conexión vía Wi-Fi.

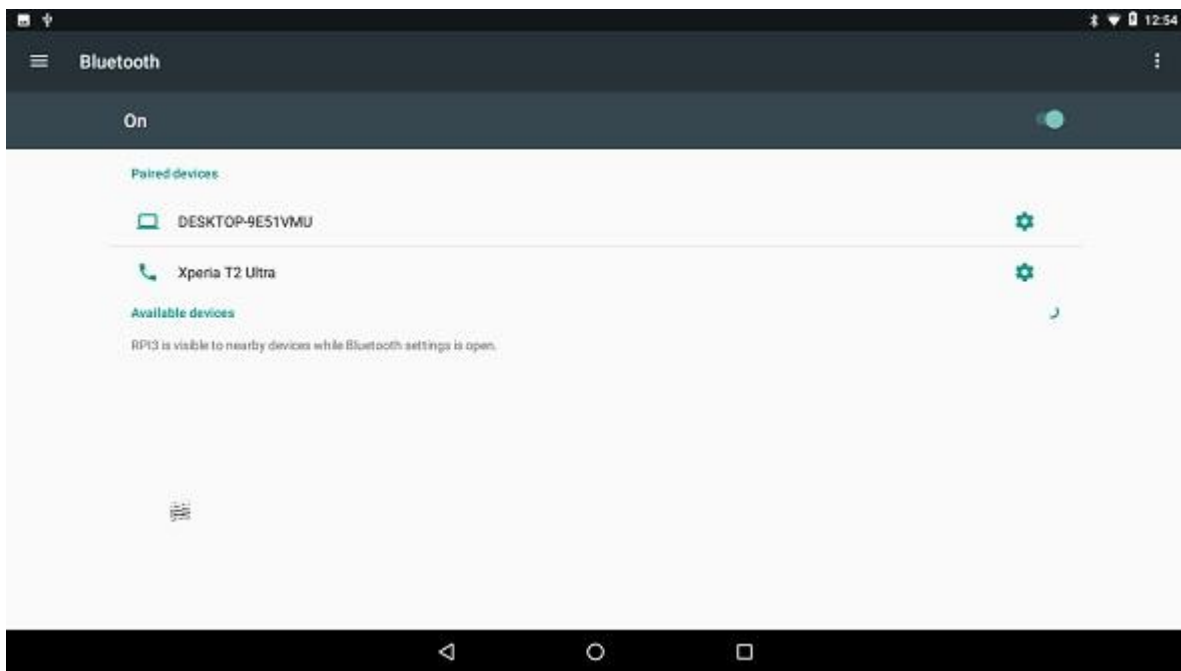


Imagen 4.44 Vinculación por Bluetooth.

Más tarde, se probaron todas las aplicaciones contenidas en este sistema operativo, las cuales corrieron adecuadamente con excepción de las aplicaciones: Gallery y Music, que se detienen al tratar de ejecutarlas. Sin embargo, las imágenes se pueden visualizar en iconos pequeños desde la aplicación *Downloads*, igualmente, para reproducir alguna canción o video solamente se tiene que dar doble clic sobre el archivo deseado y se lanzará una ventana de reproducción.

Finalmente, se instalaron otras aplicaciones mediante archivos de extensión *.apk*, un APK (*Android Application Package*) es un paquete de aplicación de Android para la distribución e instalación de programas, estos archivos se descargaron de la página APKMirror (<https://www.apkmirror.com>) ya que es una de las páginas web más seguras con referencia al software que distribuye. Otra página segura para descargar este tipo de aplicaciones es Uptodown (<https://www.uptodown.com/android>), hay que tomar en cuenta que al ser un ejecutable proveniente de fuentes desconocidas tanto el dispositivo como los datos son más vulnerables a los ataques de estos programas, por lo cual se debe elegir con cuidado el APK que se va a instalar. Para poder instalar este tipo de aplicaciones, primero, se hizo clic en el **menú de aplicaciones > Settings > Security >** y luego, se activó el botón **Unknown sources**, con el propósito de que el sistema permitiera instalar los APKs descargados. Enseguida, se le dio doble clic al APK de la aplicación para ejecutar el asistente de instalación y una vez instalada la aplicación tal y como se representa en la imagen 4.45 se cerró el asistente haciendo clic en **DONE**.

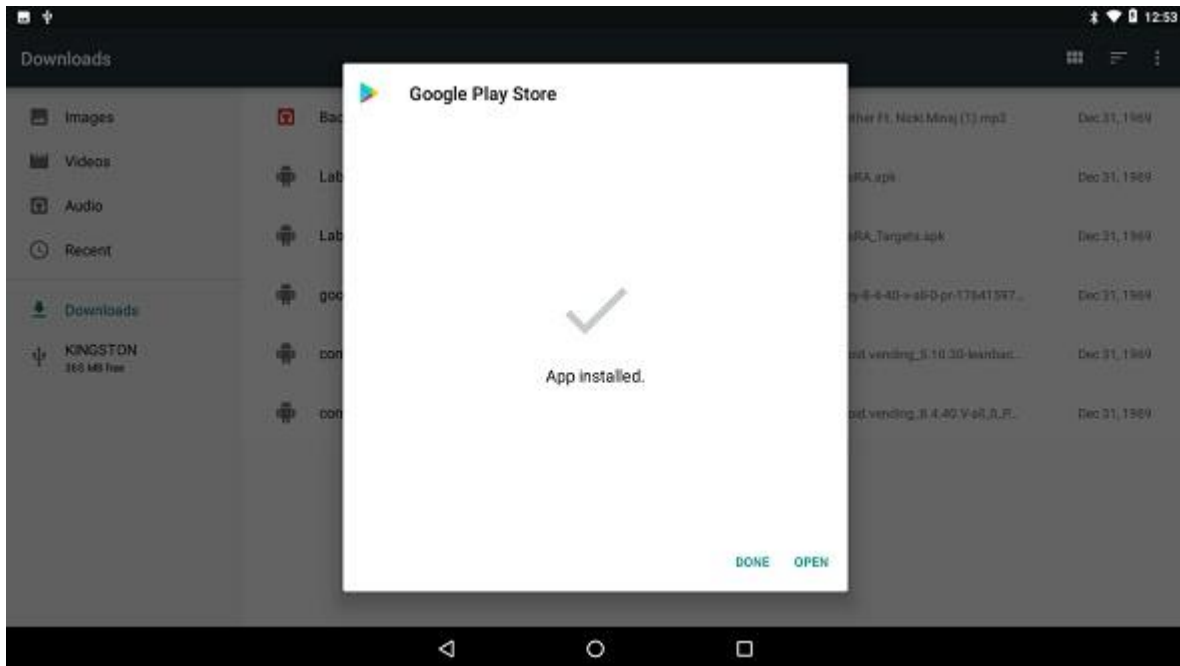


Imagen 4.45 Instalación de la aplicación *Google Play* mediante un APK.

Algunas de estas aplicaciones funcionaron correctamente como el explorador de archivos, pero otras lamentablemente no se pudieron instalar por su compatibilidad de software o no se pudieron correr adecuadamente como fue el caso de *Google Play* que, aunque se instaló de forma correcta Android se sale de la misma aplicación después de ejecutarla.

Para finalizar, se probó la aplicación didáctica llamada *GEOMESA-WEB* que se puede ver en la imagen 4.46, dicha aplicación mostró un excelente funcionamiento en vista de que permitió controlar la aplicación tanto con el mouse como con el touch foil. Para abrir esta aplicación simplemente se tiene que escribir en el buscador la siguiente dirección electrónica: <http://www.geomesa.ccadet.unam.mx/geoMESA/main.html> o ingresar a la página: www.geomesa.ccadet.unam.mx/ que se visualiza en la imagen 4.47 y en la sección de alumnos dar clic en la imagen de “prueba en línea”.

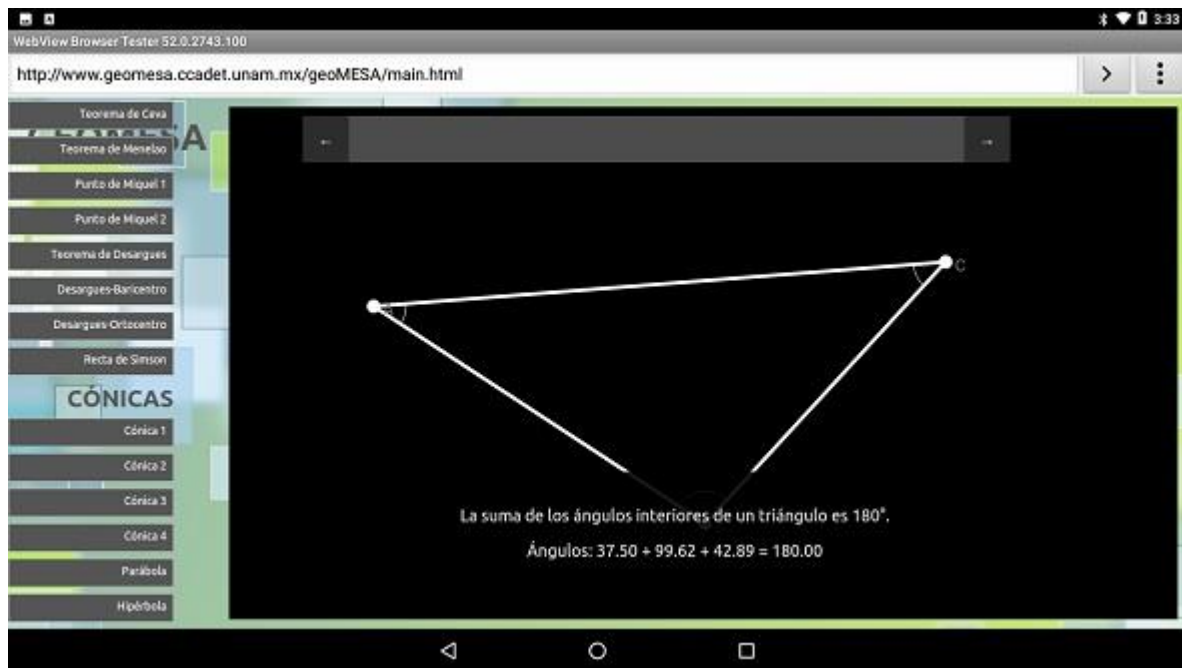


Imagen 4.46 Aplicación GEOMESA-WEB.



Imagen 4.47 Página de GEOMESA-WEB.

EMTERIA

A pesar de que este sistema operativo es de código cerrado se puede conseguir una versión de evaluación al registrarse en la página oficial de Emteria sin ningún costo, sin embargo, al ser una versión de prueba tiene el inconveniente de que el sistema se reinicia después de 8 horas de trabajo continuo.

Para el registro se accedió a la página <https://emteria.com/> y se hizo clic en **Try for free** tal como se indica en la imagen 4.48, allí se ingresó el correo electrónico con el que se trabajó y luego, se dio clic en el botón **Register**, lo cual envió un email con un enlace para terminar el registro llenando los campos obligatorios y aceptando los términos de servicio.



Imagen 4.48 emteria.com.

Posteriormente, se descargó un programa que sirve para instalar Emteria, el cual sólo se encuentra disponible para MacOS X y las versiones de 64 bits de Windows y Linux. Después de la descarga, se abrió el archivo ejecutable y se siguieron los pasos que indica el asistente de instalación poniendo especial atención en donde se iba a guardar el programa para poder encontrarlo más fácilmente, sino una forma sencilla de hallarlo es escribiendo **Emteria**

Installer o solamente **Installer** en el buscador de Inicio. Al ejecutar este programa se abrió una interfaz como la que se encuentra en la imagen 4.49 en la cual se tuvieron que seguir los siguientes pasos:

1. Ingresar el correo y la contraseña del perfil registrado anteriormente.
2. Seleccionar el dispositivo donde se iba a usar Emteria, en este caso la Raspberry Pi 3B.
3. Seleccionar el dispositivo de almacenamiento (microSD) en el que se iba a guardar el sistema operativo, por ejemplo, (G:). “Hay que recordar que al escribir el SO se borran todos los datos contenidos en la memoria”.
4. Esperar a que terminara el proceso de descarga e instalación de la última versión de Emteria y luego, cerrar la interfaz del programa.

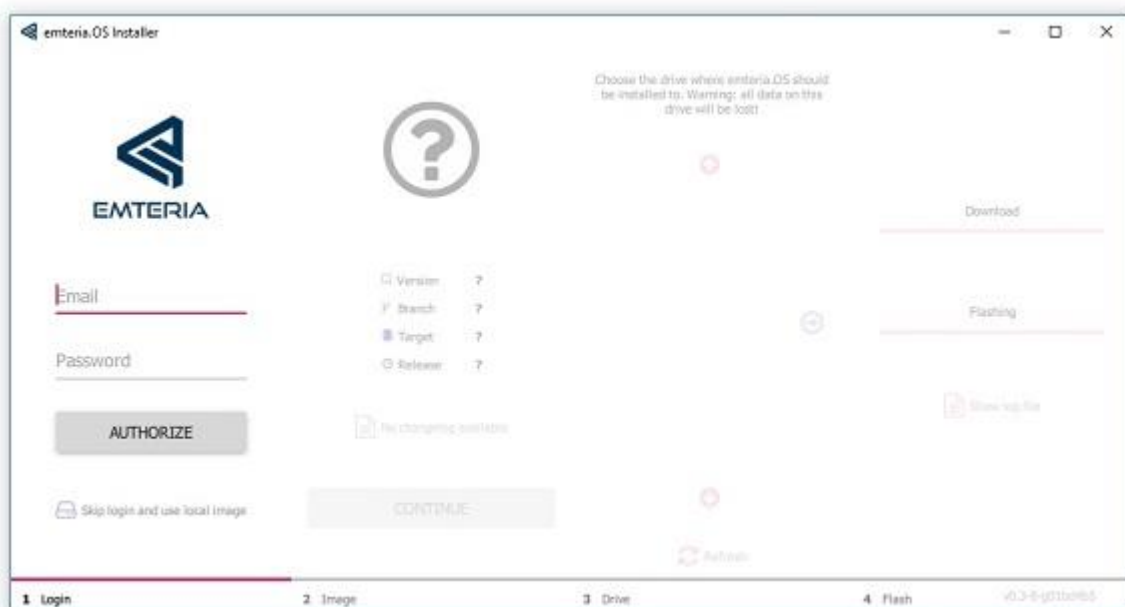


Imagen 4.49 Interfaz para la instalación de Emteria.

Una vez instalado el SO, se expulsó la tarjeta microSD de la PC y se introdujo en la Raspberry Pi 3B. Luego, se usó la conexión del capítulo 3.2 para hacer el encendido de la placa.

Con respecto a la configuración, simplemente se tuvieron que seguir los pasos del asistente para ajustar el idioma, fecha, hora, red Wi-Fi, activar el dispositivo por medio de internet y aceptar los términos y condiciones de Emteria. En la imagen 4.50 se observa este asistente de configuración en la elección del idioma.



Imagen 4.50 Asistente para la configuración de Emteria.

En la imagen 4.51 se muestra la interfaz de usuario de Emteria, la cual se ve y funciona como cualquier Android incluso cuenta con un teclado virtual que aparece cada vez que se necesita, este teclado se puede intercambiar con el teclado físico dependiendo si se encuentra conectado o no. Además, permite realizar algunas funciones táctiles con el mouse físico como deslizar la pantalla con un doble clic y arrastre. Este sistema operativo está diseñado únicamente para la Raspberry Pi 3B debido a que la Pi 2B no es capaz de correrlo. Otra característica a mencionar es que posee una aplicación llamada *Power Off* que permite apagar el sistema sin necesidad de desconectar el eliminador de la fuente de alimentación, Power Off se ubica en el menú de aplicaciones y se aprecia en la imagen 4.52.



Imagen 4.51 Interfaz de usuario de Emteria.

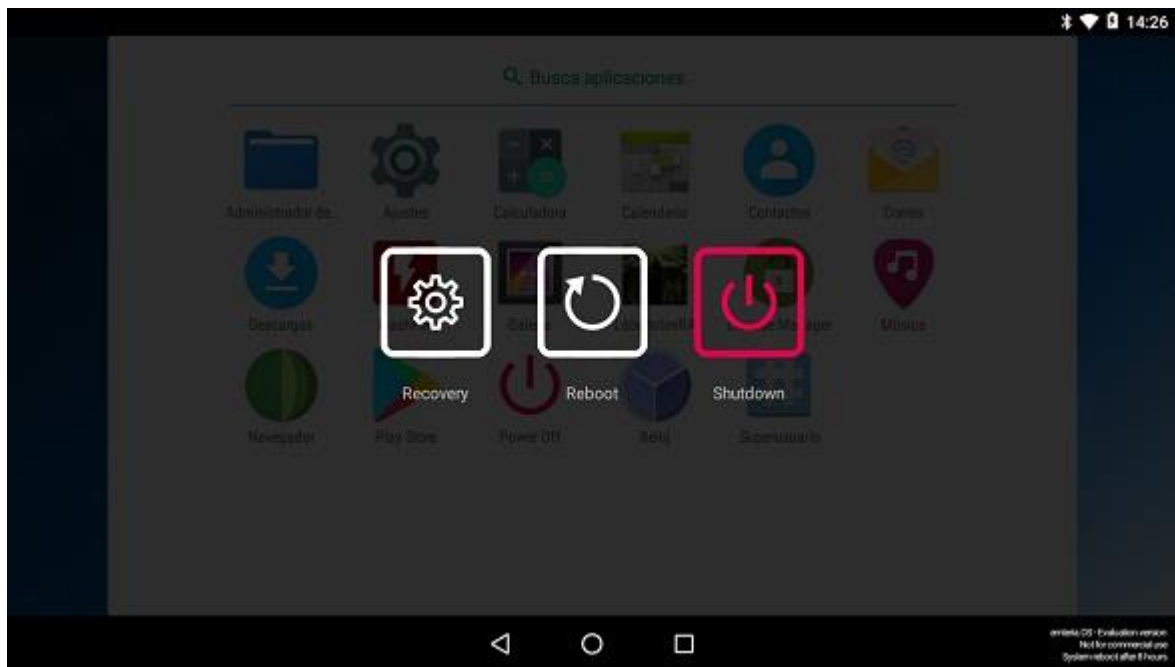


Imagen 4.52 Aplicación Power Off.

En lo referente a los periféricos; el mouse, el teclado, el touch foil y hasta los dispositivos de almacenamiento USB fueron reconocidos sin complicaciones. Asimismo, se realizaron pruebas para examinar el funcionamiento de las aplicaciones que contiene por defecto este sistema, donde se vio que todas trabajan normalmente aunque los videos de alta calidad como Full HD tienen un desfase de reproducción entre el audio y las imágenes. También, se probó la conectividad inalámbrica presentando un buen rendimiento tanto para conectarse a una red Wi-Fi como con otros dispositivos por Bluetooth. De igual forma, permite entrar a internet por medio del cable Ethernet. Adicionalmente, la aplicación GEOMESA-WEB mostró un excelente funcionamiento con la película capacitiva como se nota en la imagen 4.53.

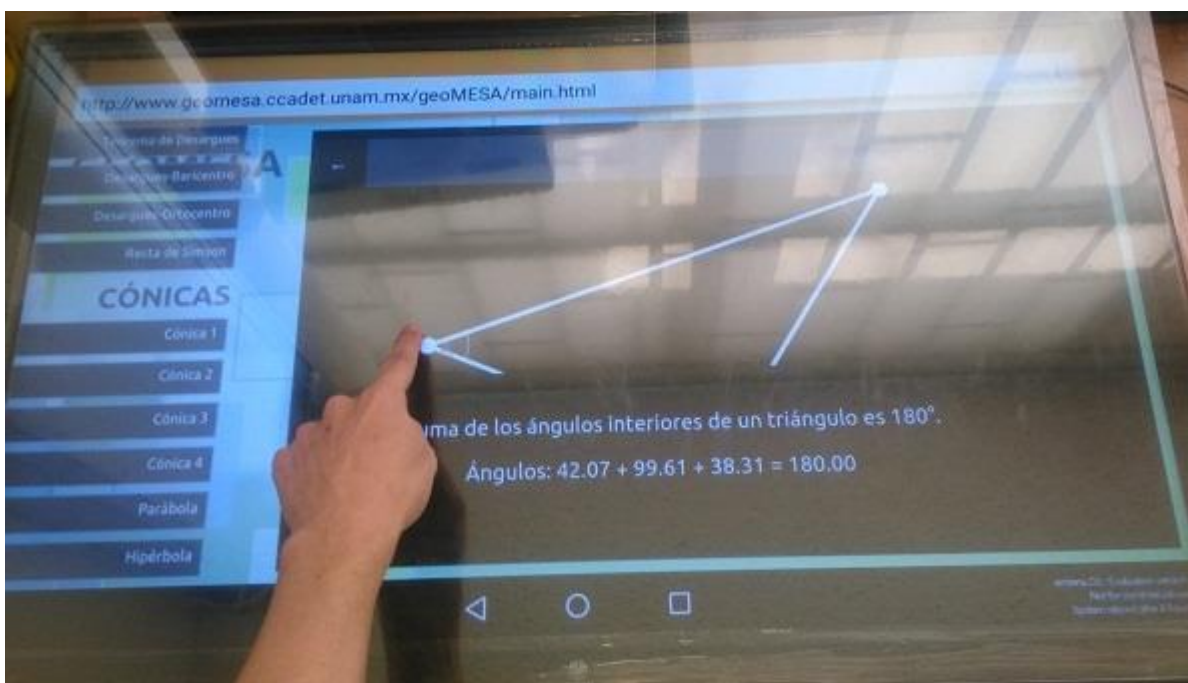


Imagen 4.53 GEOMESA-WEB.

Finalmente, con el objetivo de ejecutar diversas aplicaciones didácticas se decidió instalarle Google Play a Emteria debido a que no cuenta con esta aplicación, la cual permite descargar e instalar aplicaciones oficiales desarrolladas para Android ya sean gratuitas o de paga. Para instalar esta aplicación se decidió descargar un APK con la versión 8.4 de Google Play,

enseguida, se accedió al **menú de aplicaciones**, se dio clic en **Ajustes** y en **seguridad** se activó la opción **Orígenes desconocidos**.

Una vez con el APK en el dispositivo se le hizo doble clic para iniciar la instalación de Google Play, luego se dio clic en **INSTALAR**, se esperó a que finalizara el proceso y al final, se hizo clic en **ABRIR**. No obstante, al parecer Emteria necesitó una actualización de software puesto que en un principio no se podía establecer comunicación con los servidores de Google aunque se reiniciara el sistema varias veces y tiempo después apareció un mensaje de actualizaciones de tal forma que permitió continuar con el proceso para usar la aplicación. En la imagen 4.54 se puede ver Google Play ejecutándose en Emteria.

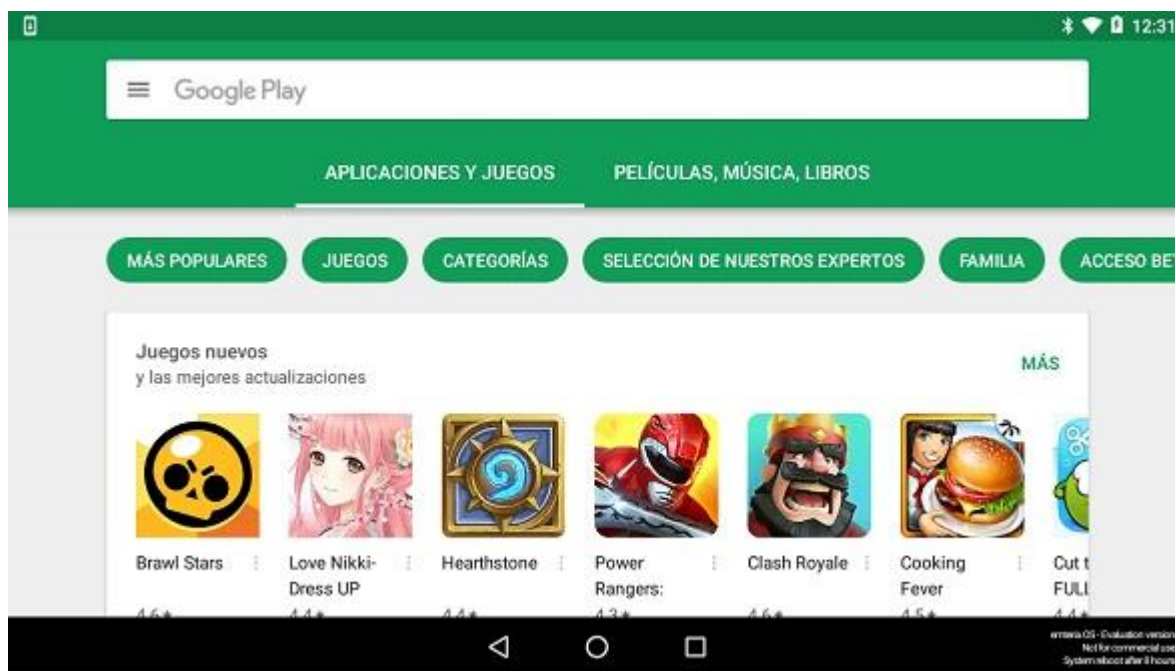


Imagen 4.54 Google Play.

Por último, con la finalidad de verificar que Google Play funcionara de forma correcta se descargó la aplicación *Math Duel (2 Jugadores Juegos Matemáticos)* que se presenta en la imagen 4.55.

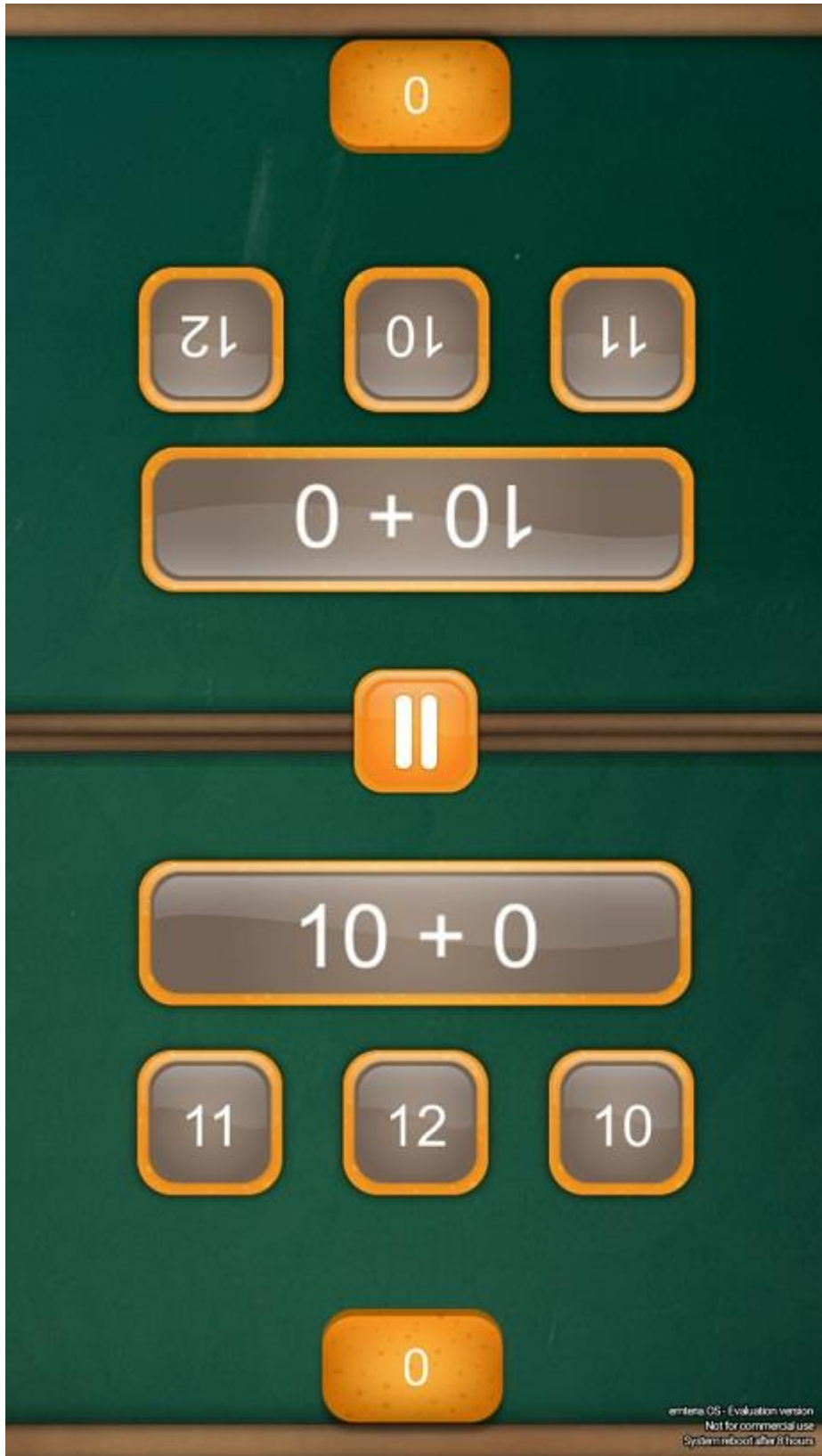


Imagen 4.55 Aplicación Math Duel.

LINEAGE

Este sistema operativo está basado en la plataforma de Android y es de código abierto al igual que su antecesor CyanogenMod. Lineage es desarrollado principalmente para tabletas y celulares, sin embargo, KonstaKANG ha compilado una versión no oficial para la Raspberry Pi 3B, versión que es posible ejecutarla en la Pi 2B debido a la gran similitud entre ambas tarjetas.

Para instalar Lineage en la tarjeta de memoria microSD, se comenzó ingresando a la página de KonstaKANG (<https://konstakang.com/devices/rpi3/CM14.1/>), la cual contiene un enlace a un servicio de almacenamiento de archivos (*Android File Host*) donde se descargó finalmente un archivo de extensión .zip que contiene el SO compilado en una imagen de disco (.img).

Una vez descargado el archivo .zip, se descomprimió con el programa WinRAR, se introdujo la memoria y enseguida, se abrió como administrador el programa Win32 Disk Imager con el objeto de poner la **ubicación de la imagen de disco** y la **letra asignada a la microSD** en los campos correspondientes a *Image File* y *Device*, así como se indica en la imagen 4.56. A continuación, se hizo clic en **Write**, se esperó a que terminara el proceso de instalación, se cerró el programa, se extrajo la memoria de la PC y al final, se insertó la microSD a la Pi 3B.



Imagen 4.56 Instalación de Lineage por medio de Win32 Disk Imager.

Usando la estructura de conexión descrita en el capítulo 3.2 se energizó la Raspberry, lo cual mostró el logotipo de Lineage mientras cargaba el sistema. Después, al igual que en Emteria fue sencillo configurar el idioma, hora, fecha, red Wi-Fi, ubicación, bloqueo y notificaciones solamente siguiendo los pasos del asistente. Al terminar la configuración salió un mensaje de bienvenida en el escritorio de Lineage, dicho escritorio se visualiza en la imagen 4.57.

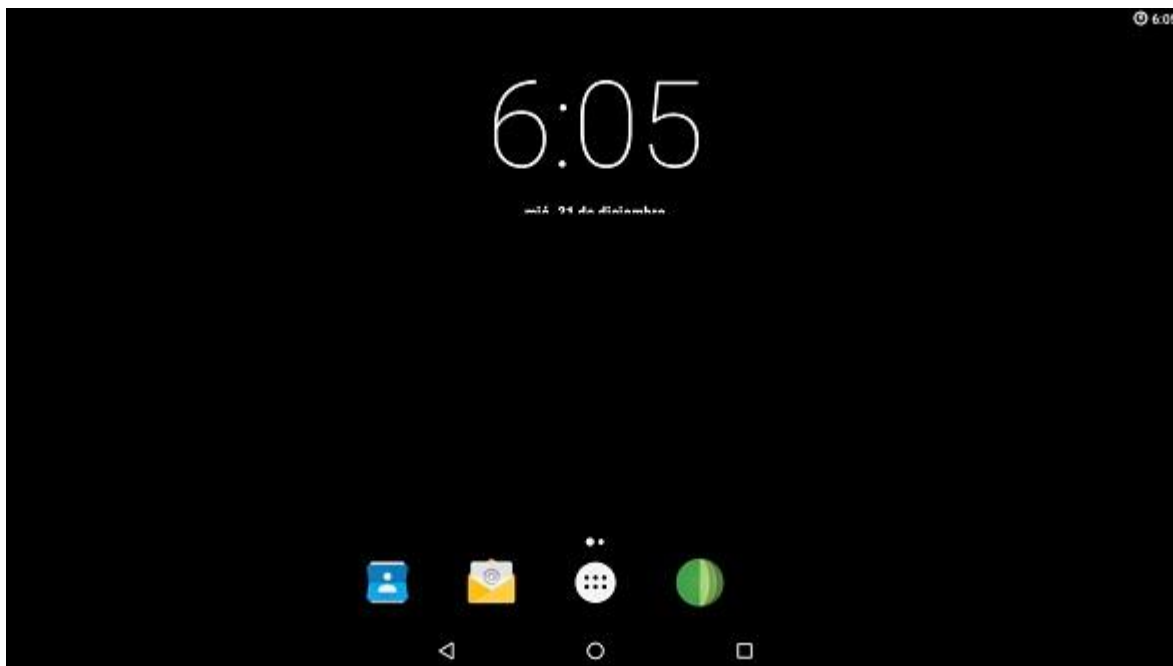


Imagen 4.57 Escritorio de Lineage.

Este sistema operativo no tuvo ninguna dificultad para reconocer los periféricos conectados permitiendo interactuar con el sistema desde el principio, tampoco fue necesario instalarle un teclado virtual puesto que ya cuenta con uno por defecto. No obstante, de ser necesario es posible configurar el sistema para usar el teclado virtual simultáneamente con el teclado físico, para ello, solamente se tiene que hacer clic en el **menú de aplicaciones > Configuración > Idiomas y entradas > Teclado actual >** y al final activar el botón **Mostrar teclado virtual**, el cual se muestra en la imagen 4.58.

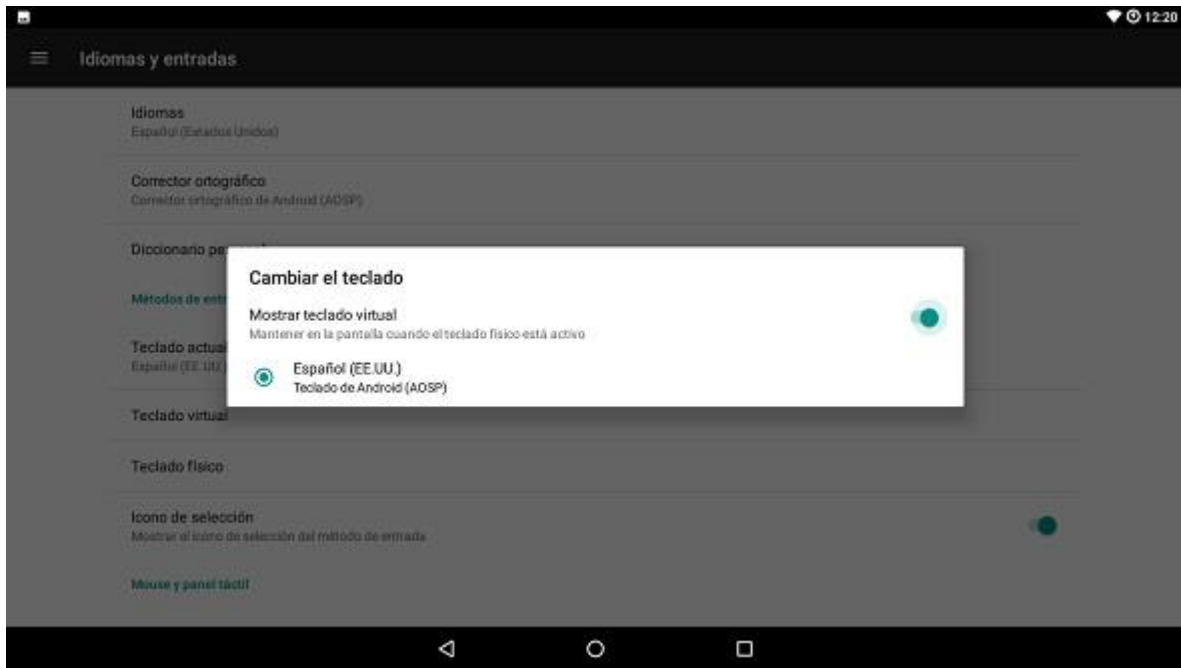


Imagen 4.58 Botón *Mostrar teclado virtual*.

De acuerdo con la página de KonstaKANG, Lineage integra siete funciones para teclado físico que sustituyen los botones que emplea el sistema Android. En la tabla 4.2 se incorporan las teclas asignadas a cada función.

Tecla	Función
F1	Pantalla de inicio (escritorio)
F2	Regresar
F3	Aplicaciones recientes (abiertas)
F4	Ajustes del escritorio
F5	Apagado / Bloqueo
F11	Bajar el volumen
F12	Subir el volumen

Tabla 4.2 Atajos para el teclado en Lineage.

Estos botones dependen directamente del teclado que se utilice ya sea por su compatibilidad con el sistema o por las funciones que contiene el mismo teclado, por ejemplo, algunos teclados proporcionan atajos adicionales como silencio, música, búsqueda, correo electrónico, brillo de la pantalla, entre otros. Por lo que concierne a la tecla F5, ésta tiene dos funciones: la primera, se puede bloquear la pantalla como en un modo de suspensión al presionar la tecla rápidamente; y la segunda, se puede lanzar el menú de apagado presionando el botón por más de dos segundos, dichas opciones de apagado se ilustran en la imagen 4.59.



Imagen 4.59 Opciones de apagado del sistema operativo.

Por otra parte, se probó el funcionamiento de la conectividad inalámbrica presentando dificultades para recibir algunos archivos por Bluetooth, mientras que para conectarse a internet vía Wi-Fi no tuvo complicaciones en ningún momento. Igualmente, este sistema permite la conexión por medio del cable Ethernet. En la imagen 4.60 se puede ver el navegador de Lineage ejecutando correctamente la aplicación GEOMESA-WEB.

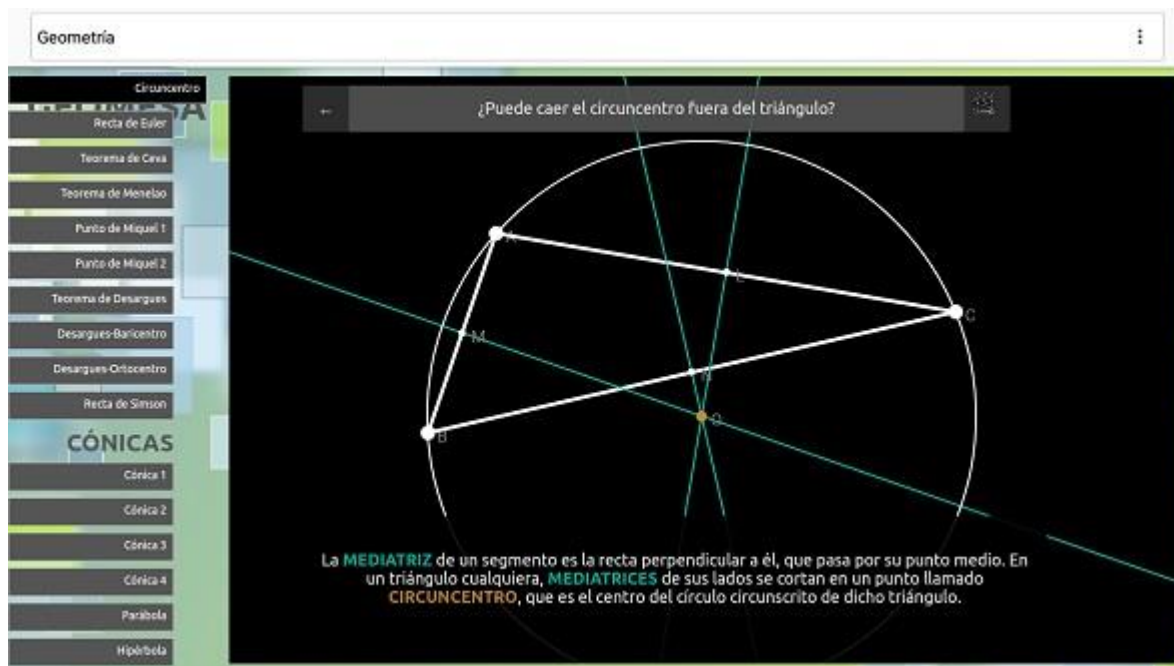


Imagen 4.60 Aplicación GEOMESA-WEB en el buscador de Lineage.

En cuanto a las aplicaciones preinstaladas, todas funcionaron de forma adecuada a pesar de que la reproducción de los videos con calidad Full HD fue un poco lenta, además, se distorsionó la imagen de los videos con resolución: 352 x 288, 720 x 406 y 854 x 480.

Adicionalmente, por motivos legales, la aplicación *Play Store* de Google no se integra por defecto en este sistema operativo y a pesar de que se instaló de forma correcta el mismo APK utilizado para Emteria, esta aplicación nunca se pudo abrir. Por este motivo, se decidió instalar la aplicación a través de un archivo tipo .zip de distribución libre que proporciona el proyecto *Open GAPPS (Google Applications)*, este archivo comprimido se descargó de la página oficial del proyecto (<https://opengapps.org/?arch=arm&api=7.1&variant=pico>) y posteriormente, se guardó en una memoria USB en un lugar de fácil acceso, aunque también se puede guardar en la memoria interna de Lineage. Del mismo modo, se descargó otro archivo .zip que se iba a necesitar más adelante dando clic en el enlace llamado **recovery2boot** que se encuentra en la página de KonstaKANG, este enlace abrió una página del servicio de almacenamiento de archivos Android File Host (<https://androidfilehost.com/?fid=1322778262903982323>) de donde se descargó finalmente dicho archivo que también se guardó en la memoria USB.

A continuación, se requirió acceder a la terminal de comandos del dispositivo, para ello, se tuvo que habilitar antes las opciones del programador, por lo tanto, primero se hizo clic en **menú de aplicaciones > Configuración > Acerca de la Tablet** y luego, se dio clic varias veces en **Número de compilación** hasta ver el mensaje “¡Has activado los ajustes de desarrollo!” a como se señala en la imagen 4.61. Con lo anterior, aparecieron las **Opciones del programador** en *Configuración*, por lo que se le hizo clic para enseguida activar el botón **Terminal local**, lo cual colocó el icono de la terminal de comandos en el menú de aplicaciones, este icono se encuentra en la imagen 4.62. No obstante, para entrar como administrador a la *Terminal* fue necesario hacer clic sobre la opción **Acceso de superusuario (root)** y seleccionar **Aplicaciones y ADB**.

Más tarde, en el menú de aplicaciones, se abrió la *Terminal* y cuando apareció el mensaje para aceptar el acceso de superusuario se dio clic en **PERMITIR**. Luego, se insertó la instrucción **rpi3-recovery.sh** para cargar la imagen de recuperación de software *TWRP (Team Win Recovery Project)* que se ejecuta al reiniciar el equipo y, por último, se ingresó el comando **reboot** tal como se ejemplifica en la imagen 4.63.

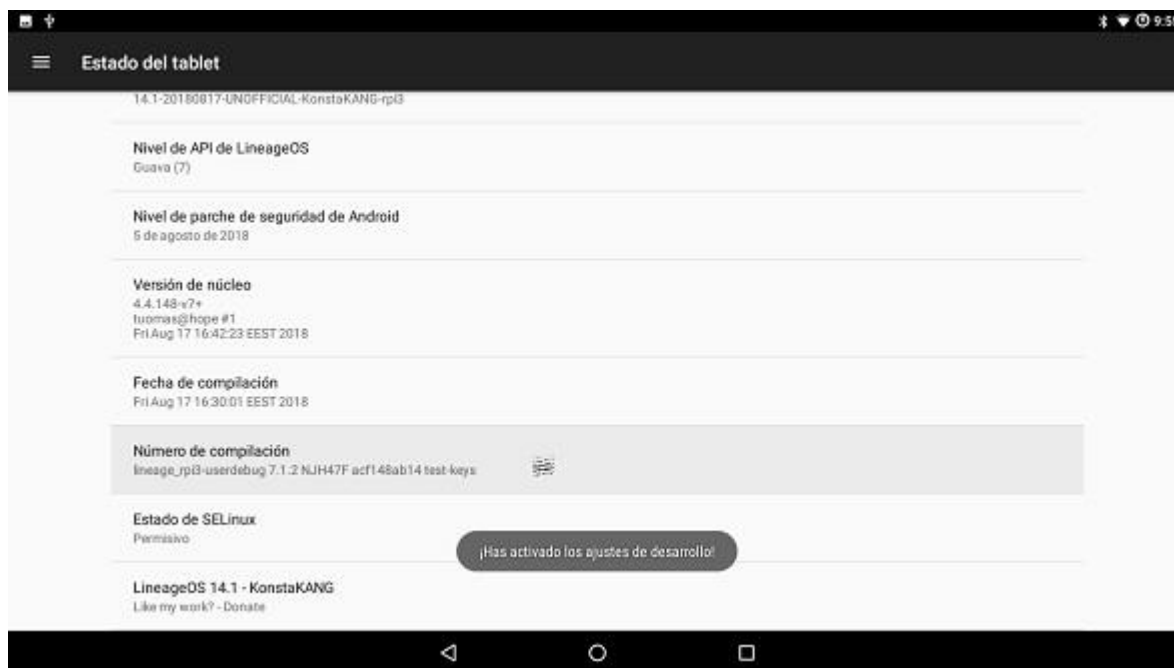


Imagen 4.61 Activación de *Opciones de Programación*.



Imagen 4.62 Icono de la terminal en el menú de aplicaciones.

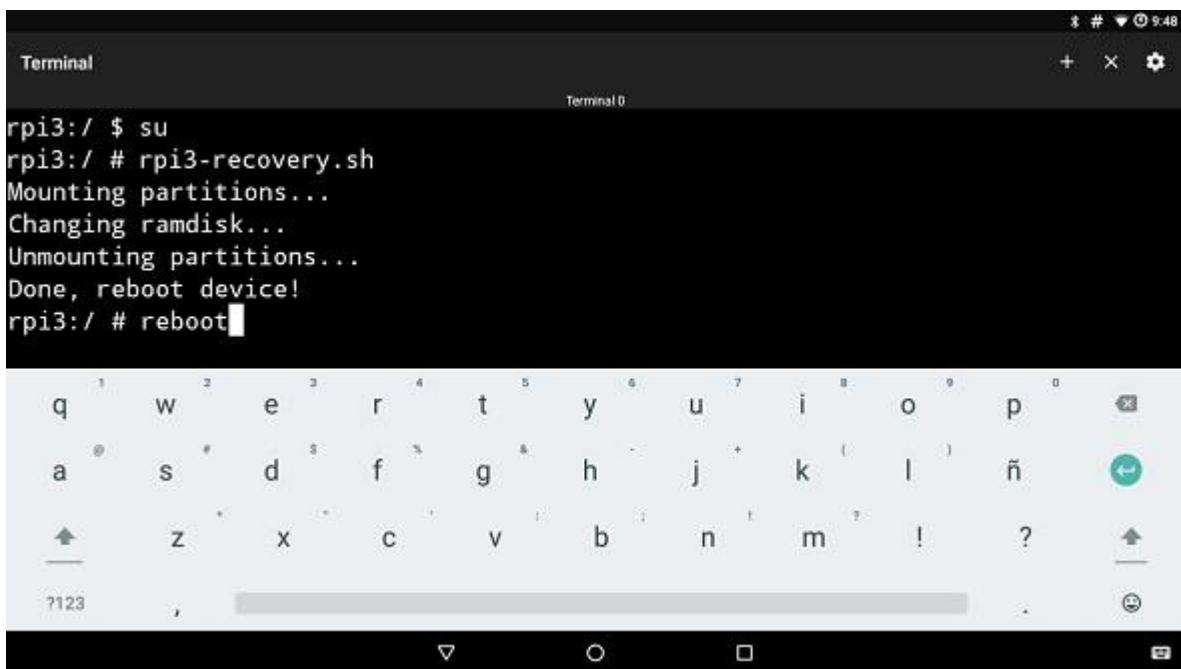


Imagen 4.63 Comandos empleados en la aplicación Terminal.

Posteriormente, cuando reinició el sistema, se abrió la imagen de recuperación TWRP donde se cambió el lenguaje, se deslizó el botón para realizar modificaciones, se hizo clic en la opción **Instalar**, luego en **Seleccionar Almacenamiento**, se eligió la memoria USB, se introdujo la ubicación del archivo comprimido que se descargó de Open GAPPS, se seleccionó dicho archivo, se hizo clic en **Reiniciar después de completar la instalación** y finalmente se deslizó el botón **Desliza para confirmar el Flasheo**. Antes de reiniciar el equipo, TWRP preguntó si se deseaba instalar la aplicación oficial por lo que se dio clic en **No instalar**. En la imagen 4.64 se nota el proceso de instalación del archivo comprimido de Play Store.

Al completar el proceso de instalación, el sistema se reinició nuevamente y se volvió a entrar a la imagen de recuperación, de tal forma que, para salir de TWRP es necesario instalar el archivo de extensión .zip descargado previamente del enlace *recovery2boot*. Por esta razón, se efectuó otra vez el procedimiento: **Instalar** > **Seleccionar Almacenamiento** > **USB-OTG** > clic en el archivo a instalar > clic en **Reiniciar después de completar la instalación** > y por último, **Desliza para confirmar el Flasheo** a como se distingue en la imagen 4.65.

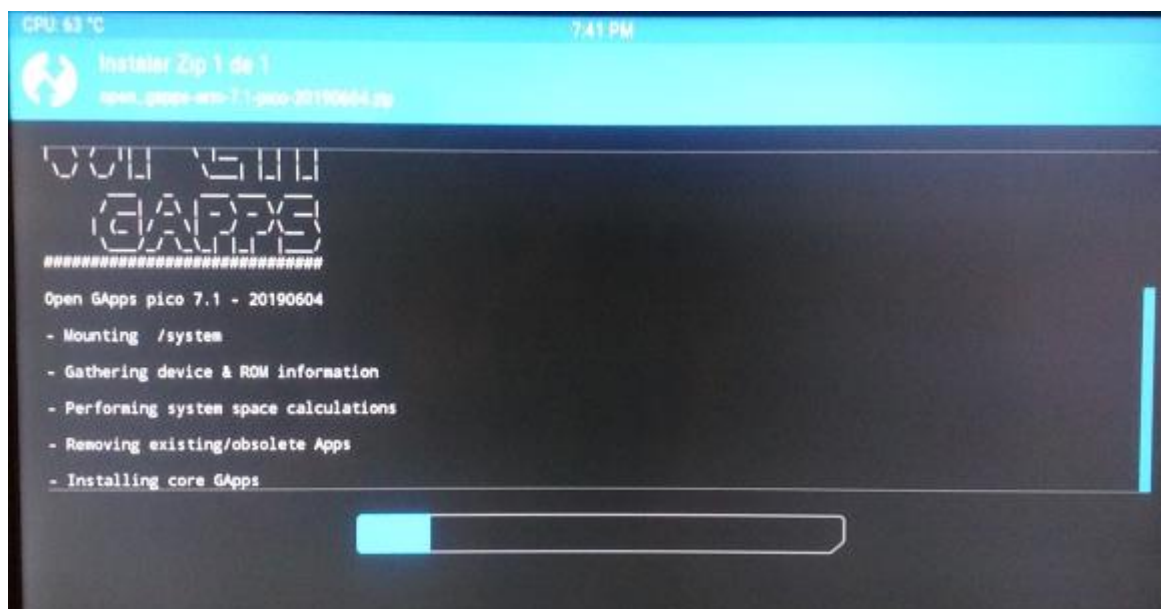


Imagen 4.64 Instalación de Play Store usando TWRP.

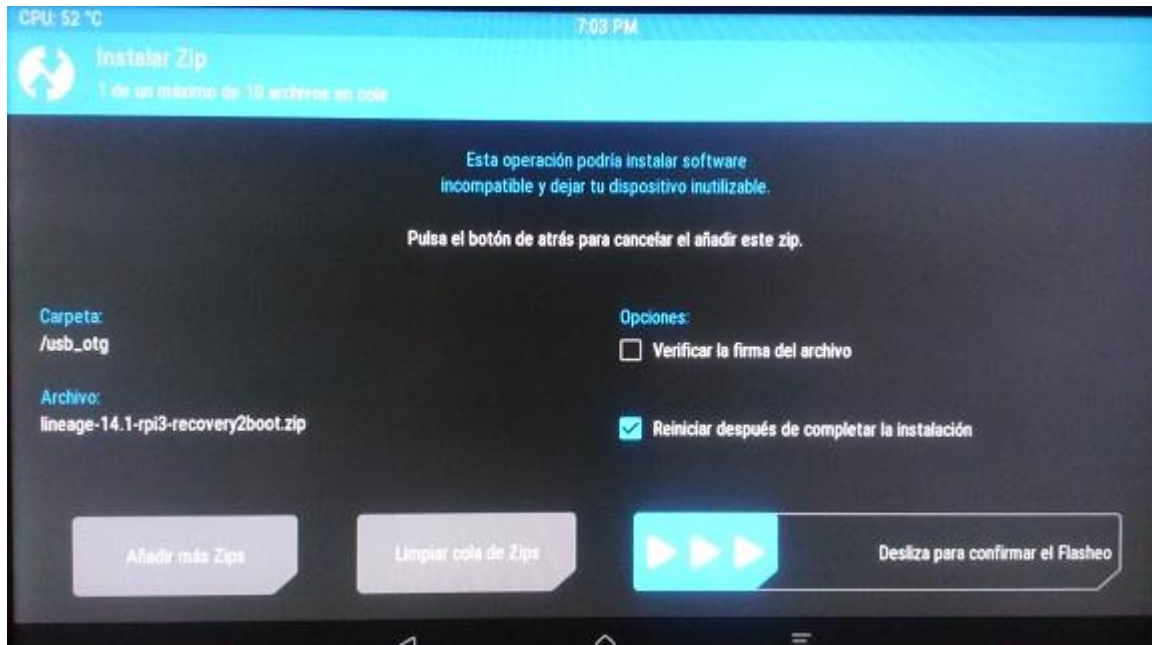


Imagen 4.65 Confirmación de la instalación del archivo .zip.

Una vez reiniciado el equipo, el sistema entró directamente a la interfaz de usuario de Lineage, así que se procedió a abrir Play Store, la cual corrió correctamente y permitió ingresar los datos necesarios para usarla de forma normal. Finalmente, con el propósito de comprobar el buen funcionamiento de Play Store se tomó la decisión de descargar e instalar Math Duel, cuyo proceso se efectuó sin ninguna dificultad. En la imagen 4.66 se aprecia esta aplicación ejecutándose apropiadamente sobre Lineage.



Imagen 4.66 Interacción con Math Duel.

4.3 Configuración y calibración del touch foil

Con respecto a la película capacitiva, primero, se comprobó que ésta funcionara correctamente en una computadora personal utilizando el sistema operativo Microsoft Windows dado que es el más común hoy en día. Para realizar dichas pruebas se usaron las versiones 7 y 10 con la idea de comparar su compatibilidad con la película. Posteriormente, se probó en otros sistemas operativos con las computadoras de placa reducida.

4.3.1 Touch foil en una computadora personal con Windows

Cuando se conectó la película capacitiva al puerto USB de la computadora el SO la reconoció como un dispositivo de entrada tal como se señala en la imagen 4.67 y permitió inmediatamente la interacción táctil con la interfaz de usuario admitiendo funciones de mouse además de los gestos: acercar, alejar, rotar y multitoque.



Imagen 4.67 Windows reconoció la película táctil como dispositivo de entrada USB.

Enseguida, Windows comenzó a buscar el controlador adecuado para la película táctil y luego lo instaló a como se observa en las imágenes 4.68 y 4.69. Este driver permite calibrar e identificar de forma correcta la película, del mismo modo, activa el teclado virtual para tener un control completo del sistema operativo únicamente con el touch foil.



Imagen 4.68 Windows buscando el driver para la película táctil.



Imagen 4.69 Instalación del software de controlador.

El teclado virtual de Windows 7 representado en la imagen 4.70 se abre al tocar o al hacer clic sobre una pestaña situada en el costado izquierdo del escritorio ajustable a cualquier altura tal y como se ejemplifica en la imagen 4.71. Este teclado también proporciona una entrada de escritura manual, es decir, permite escribir como si el dedo fuera un lápiz, para acceder a esta opción se debe seleccionar el botón que se encuentra en la esquina superior izquierda del teclado virtual que tiene un icono con un lápiz, lo cual cambiará el teclado táctil por el *panel*

de escritura que se ilustra en la imagen 4.72. Este panel tiene un área de escritura donde al ir trazando las letras el sistema va prediciendo que letra se escribió a cómo se distingue en la imagen 4.73.



Imagen 4.70 Teclado virtual de Windows 7.



Imagen 4.71 Pestaña del teclado virtual normal (izquierda) y con el cursor encima (derecha).

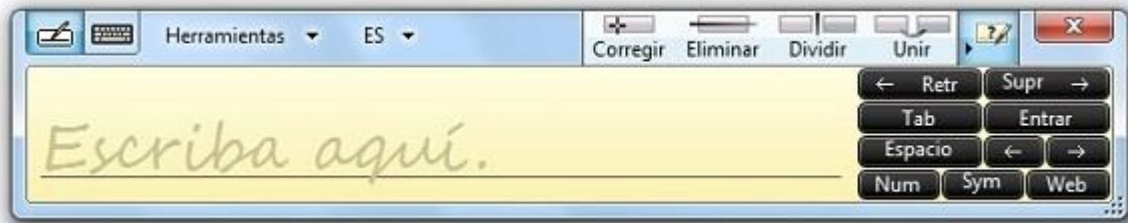


Imagen 4.72 Panel de escritura táctil.

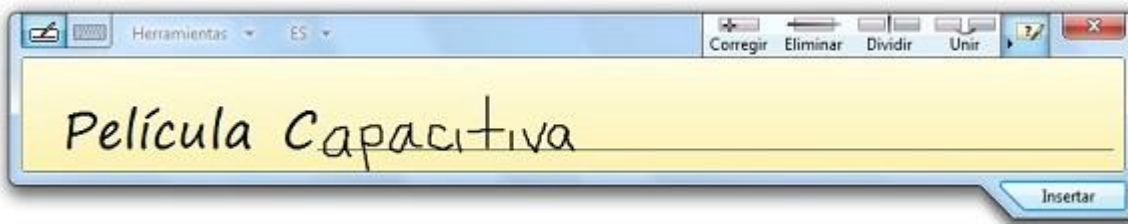


Imagen 4.73 Predicción de la escritura manual.

En Windows 10, el sistema operativo coloca un icono de un teclado en la parte derecha de la barra de tareas, dicho icono se indica en la imagen 4.74 y sirve para abrir el teclado táctil que se encuentra en la imagen 4.75. A diferencia de Windows 7, el botón situado en la parte superior izquierda de este teclado tiene varias opciones de uso como: teclado básico, completo, normal, chico, movable o fijo a la parte inferior de la pantalla, asimismo, incluye el panel de escritura que se aprecia en la imagen 4.76. Este botón de opciones se puede ver en la imagen 4.77 y sus opciones se pueden combinar según sea el caso.

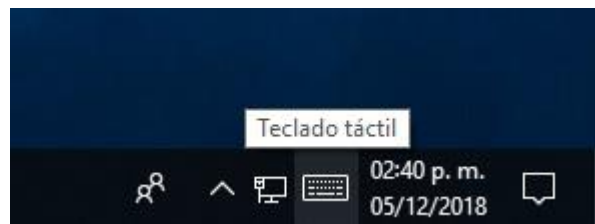


Imagen 4.74 Icono del teclado virtual en la barra de tareas.



Imagen 4.75 Teclado virtual de Windows 10.

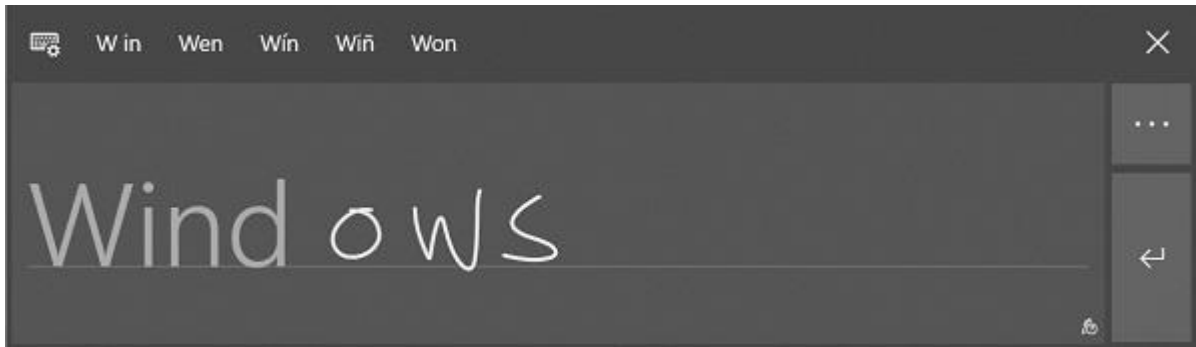


Imagen 4.76 Panel de escritura de Windows 10.

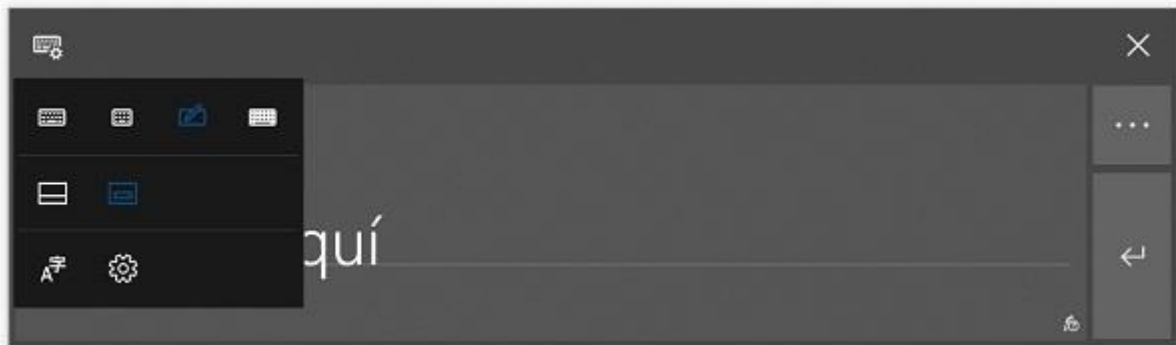


Imagen 4.77 Botón de opciones del panel de escritura.

La calibración de la película capacitiva se realizó de forma sencilla, primero se abrió el panel de control, luego se seleccionó **Hardware y sonido**, y después se hizo clic en **Configuración de la tablet**. Esto abrió la ventana que se observa en la imagen 4.78 donde se hizo clic en **Configurar...**, lo cual abrió una aplicación que pidió tocar la película para asignar el televisor como pantalla táctil así como se visualiza en la imagen 4.79. Finalmente, se hizo clic en **Calibrar...** para ejecutar la herramienta ilustrada en la imagen 4.80 donde se solicitó tocar todas las cruces que salieran en pantalla para hacer la calibración de la película táctil.

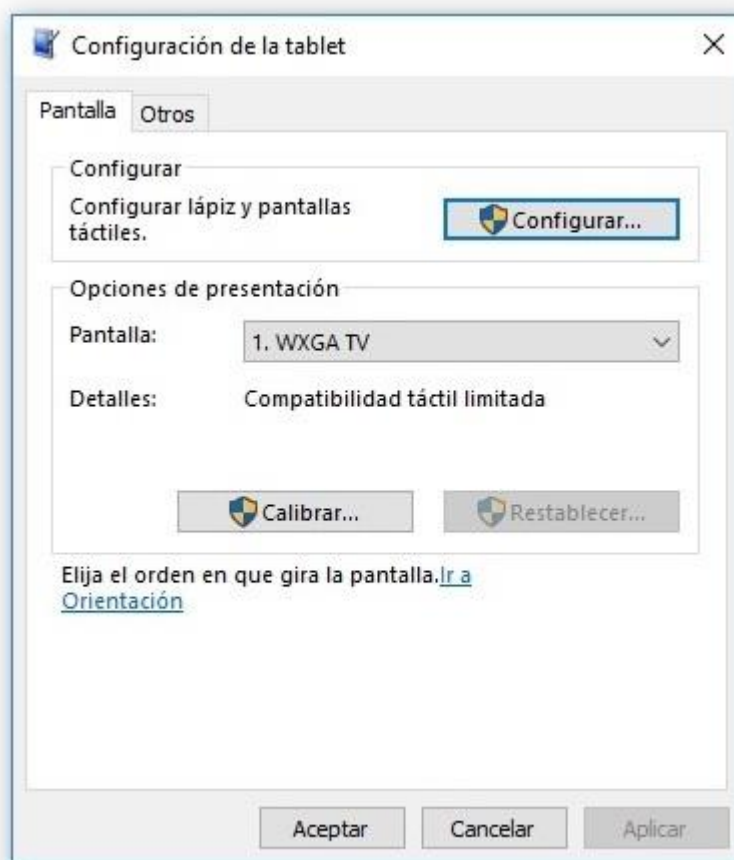


Imagen 4.78 Ventana de Configuración de la tablet.

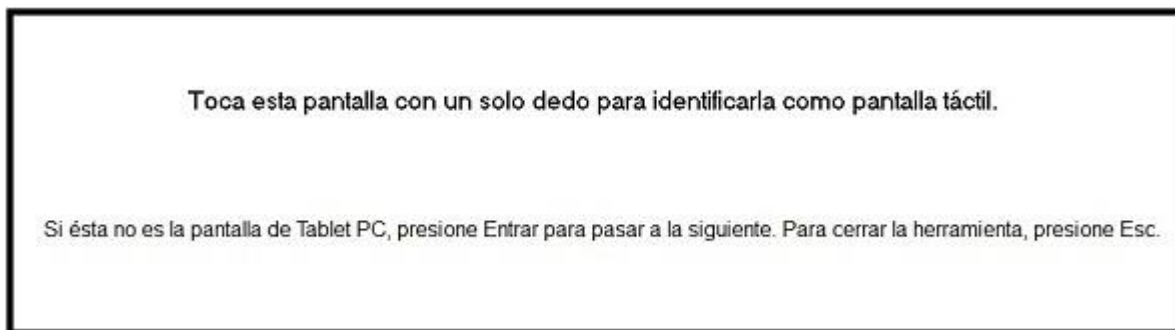


Imagen 4.79 Herramienta para fijar el televisor como entrada táctil.

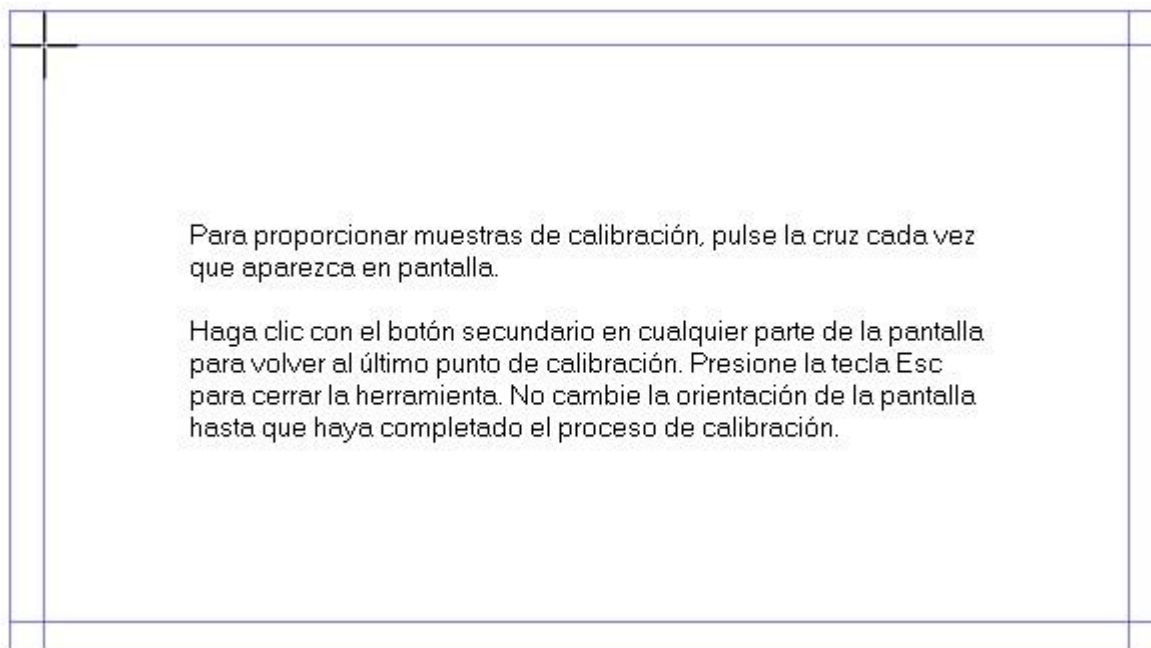


Imagen 4.80 Aplicación para calibrar la película capacitiva.

En caso de que el teclado táctil de Windows 10 no se active automáticamente, se puede activar dando clic derecho en la barra de tareas y luego seleccionando la opción **Mostrar botón del teclado táctil**, con relación a Windows 7, se puede abrir escribiendo en el buscador de inicio **Panel de entrada de Tablet PC**. Adicionalmente, en la imagen 4.81 se presenta el *teclado avanzado* que contienen ambas versiones de Windows, que a comparación del teclado anterior integra un bloque adicional de teclas de edición y desplazamiento, y que para activarlo

solamente se tiene que escribir la palabra **Teclado en pantalla** en el buscador de inicio. Otra forma de activar este teclado en Windows 7 es: **Inicio > Panel de control > Accesibilidad > Centro de accesibilidad > Iniciar Teclado en pantalla**, mientras que en Windows 10 es: **Inicio > Configuración > Accesibilidad > Teclado** (ubicado en el costado izquierdo de la ventana) y finalmente, tocar el botón que dice **desactivado**, lo cual automáticamente desplegará el teclado avanzado.

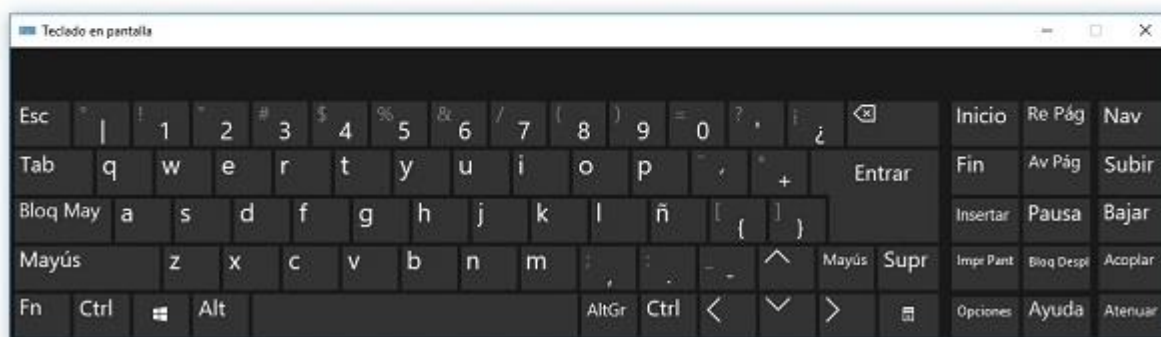


Imagen 4.81 Teclado en pantalla de Windows 7 (arriba) y de Windows 10 (abajo).

4.3.2 Touch foil en las SBC con diferentes sistemas operativos

En cuanto a la configuración de la película capacitiva en las single board computers, no fue necesario instalar drivers debido a que todos los sistemas operativos probados la identificaron automáticamente y permitieron la interacción táctil desde un principio. Los sistemas empleados para las pruebas fueron: Debian Wheezy, BBBAndroid y Android Jelly Bean para

la BeagleBone Black; y Raspbian Jessie, Android Lollipop, Emteria, Lineage y Android Nougat para la Raspberry Pi.

En el caso de la BBB, Debian 7 contiene por defecto una aplicación para calibrar este tipo de dispositivos táctiles a la cual se accede haciendo clic en **Inicio > Preferences > Calibrate Touchscreen**, esta aplicación pide tocar 4 cruces que aparecen en las esquinas de la pantalla a como se nota en la imagen 4.82.



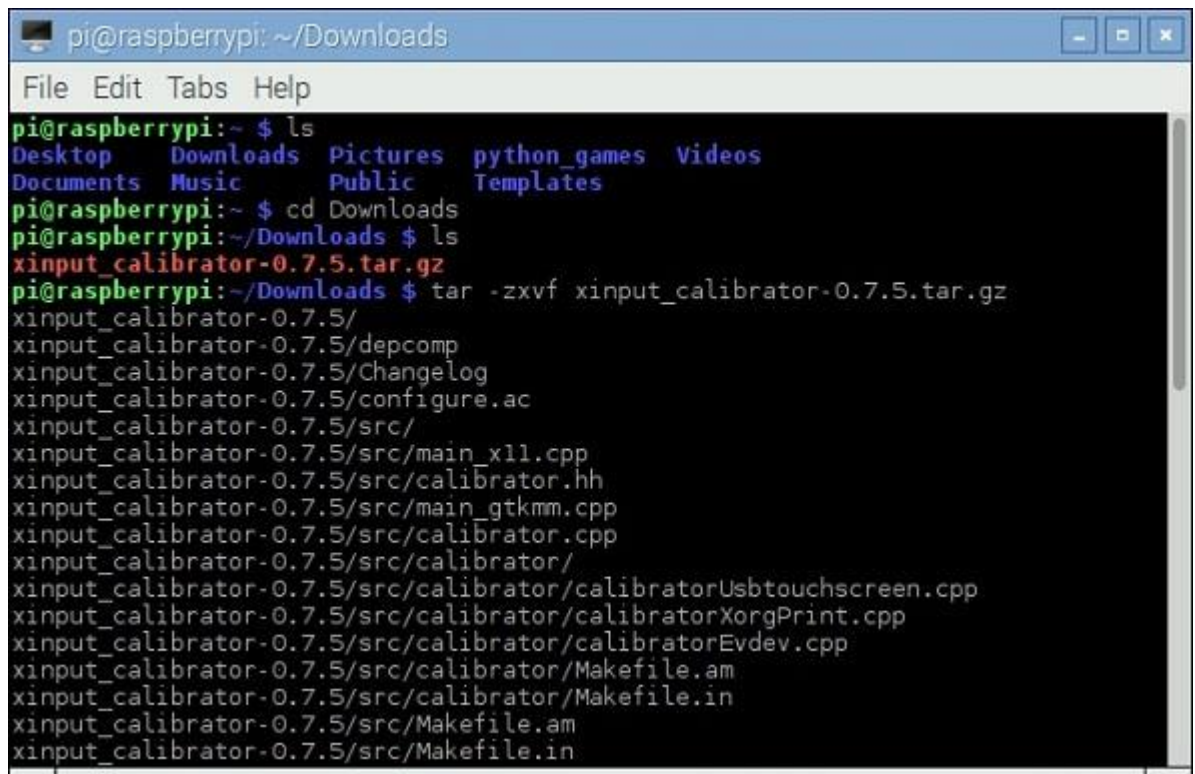
Imagen 4.82 Calibración de la película mediante la aplicación de Debian 7 de la BBB.

Con la Raspberry, Raspbian reconoce la película capacitiva sin requerir de software adicional aunque no contiene alguna aplicación para calibrarla. Sin embargo, se puede instalar la utilidad *xinput-calibrator* cuya interfaz es la misma que la herramienta *Calibrate Touchscreen* de Debian para la BeagleBone Black. La instalación de este programa se realizó abriendo la terminal e insertando la instrucción **sudo apt-get install libx11-dev libxext-dev libxi-dev x11proto-input-dev** con el objetivo de instalar los paquetes adicionales (dependencias) que necesita el paquete instalador para el correcto funcionamiento del programa después de

instalarlo. A continuación, se pulsó “y” para confirmar la ejecución de esta tarea y más tarde, se abrió el buscador con el propósito de ingresarle la dirección electrónica: http://github.com/downloads/tias/xinput_calibrator/xinput_calibrator-0.7.5.tar.gz para iniciar la descarga del calibrador, el cual se encuentra en un archivo comprimido de extensión *.tar.gz*. Estos empaquetados utilizan el programa *tar* que se encarga de almacenar archivos y rutas en un único archivo pero sin comprimirlos, por ese motivo, *tar* se apoya de diversos compresores llamándolos en la misma instrucción mediante diversos parámetros según sea el caso. Estos archivos comprimidos emplean en su nombre el sufijo *.tar*. (largo) o *.t* (corto) seguido de la abreviación del nombre del programa compresor que en esta ocasión es el programa *GNU ZIP* (*gzip* o *gz*). Para descomprimir este empaquetado se puede hacer mediante la aplicación *Archiver* haciendo clic derecho sobre el archivo y seleccionando **Extract Here** desde el *Gestor de archivos* de Raspbian. No obstante, la descompresión se realizó por medio de la consola usando los comandos **ls** y **cd** para localizar y corroborar la ubicación del archivo descargado tal y como se muestra en la imagen 4.83. Posteriormente, se ejecutó el comando **tar -zxvf xinput_calibrator-0.7.5.tar.gz**, donde el parámetro *z* ordena la “descompresión”, *x* indica la “extracción” de los datos, *v* “imprime” brevemente el contenido en la terminal y *f* significa que la siguiente palabra “es el archivo al que se le va a aplicar las operaciones anteriores”. Una vez concluido este proceso, se escribió **cd xinput_calibrator-0.7.5** para entrar en la carpeta creada durante la descompresión y se ejecutó **ls** para confirmar que se encontrara el script⁴⁵ *configure* con el que se genera el archivo *make* al insertar el comando **./configure**. Enseguida, se tecleó **make** para compilar la información del script en *make* y finalmente la instrucción **sudo make install** realizó la instalación del calibrador. Por último, se escribió la instrucción **xinput_calibrator**, la cual lanza la interfaz para la calibración de la película capacitiva.

En relación con Android, las versiones que se utilizaron no contenían ningún tipo de herramienta para poder calibrar el touch foil, a pesar de esto, existen diversas aplicaciones tanto en Google Play como en la Web para calibrar estos sensores táctiles.

⁴⁵ Es un archivo que contiene instrucciones no compiladas de un programa, es decir, no se encuentran traducidas a lenguaje máquina, por lo cual requiere de un programa interprete para decodificar, procesar y ejecutar la información que se encuentra en el script.



```
pi@raspberrypi: ~/Downloads
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~ $ ls
Desktop  Downloads  Pictures  python_games  Videos
Documents Music      Public    Templates
pi@raspberrypi:~ $ cd Downloads
pi@raspberrypi:~/Downloads $ ls
xinput_calibrator-0.7.5.tar.gz
pi@raspberrypi:~/Downloads $ tar -zxvf xinput_calibrator-0.7.5.tar.gz
xinput_calibrator-0.7.5/
xinput_calibrator-0.7.5/depcomp
xinput_calibrator-0.7.5/Changelog
xinput_calibrator-0.7.5/configure.ac
xinput_calibrator-0.7.5/src/
xinput_calibrator-0.7.5/src/main_x11.cpp
xinput_calibrator-0.7.5/src/calibrator.hh
xinput_calibrator-0.7.5/src/main_gtkmm.cpp
xinput_calibrator-0.7.5/src/calibrator.cpp
xinput_calibrator-0.7.5/src/calibrator/
xinput_calibrator-0.7.5/src/calibrator/calibratorUsbtouchscreen.cpp
xinput_calibrator-0.7.5/src/calibrator/calibratorXorgPrint.cpp
xinput_calibrator-0.7.5/src/calibrator/calibratorEvdev.cpp
xinput_calibrator-0.7.5/src/calibrator/Makefile.am
xinput_calibrator-0.7.5/src/calibrator/Makefile.in
xinput_calibrator-0.7.5/src/Makefile.am
xinput_calibrator-0.7.5/src/Makefile.in
```

Imagen 4.83 Comandos utilizados para descomprimir el archivo *.tar.gz*.

Conclusiones

De acuerdo con las pruebas realizadas durante el desarrollo de este proyecto, se pudo observar que tanto la Raspberry Pi 2B como la BeagleBone Black ejecutando sus respectivos sistemas operativos (Raspbian y Debian Wheezy) trabajan de forma regular, aunque la tarjeta que tiene mejor reproducción de video es la Pi 2B, además de que no tuvo ninguna dificultad para conectarse a internet. En cuanto a la ejecución de Android sobre dichas placas, las versiones disponibles para la BBB son muy pocas y desactualizadas, de las cuales, Jelly Bean no se pudo controlar totalmente con la película capacitiva debido a que no presentó los botones virtuales para regresar, ir al escritorio ni para desplegar las aplicaciones abiertas. Por el contrario, BBBAndroid sí contiene estos botones pero corre lentamente, asimismo, tampoco detectó los dispositivos de almacenamiento USB, misma situación que manifestó Jelly Bean.

En relación con la Raspberry Pi 2B, pese a que Android 5.1 Lollipop es lento, mostró mayor velocidad en el procesamiento de video y en el desempeño de sus tareas en comparación con BBBAndroid. Sin embargo, no incluye los tres botones virtuales inferiores, lo cual impide tener el control total de Lollipop usando únicamente la película capacitiva y considerando que la Pi 2B no cuenta con un botón de apagado en su placa, a diferencia de la BBB, se tuvo que desconectar el eliminador de la fuente de alimentación eléctrica para apagar el sistema. Con respecto a la instalación de este SO, se presenta una complicación: se necesita realizar en un equipo con sistema operativo Linux efectuando un procedimiento específico. Igualmente, no se pudieron utilizar las conexiones inalámbricas dado que los adaptadores de Wi-Fi y Bluetooth no fueron identificados por Android 5.1 en ningún momento, lo mismo que pasó en BBBAndroid y Jelly Bean.

Con lo anterior, se pudo demostrar que la Raspberry Pi 2B exhibe una mayor velocidad de ejecución del sistema Android y de procesamiento de video que la BeagleBone Black. Por lo tanto, se recomienda emplear la Pi 2B como unidad central de procesamiento para la mesa interactiva. No obstante, en vista de que con la Raspberry Pi 2B no se pudieron identificar los adaptadores inalámbricos, se decidió probar la Pi 3B porque integra en su placa un chip con Bluetooth y Wi-Fi, asegurando su compatibilidad con el hardware.

En el caso de la Raspberry Pi 3B, existe una gran variedad de sistemas operativos que puede correr, a pesar de ello, un objetivo planteado para este trabajo fue que la mesa interactiva incorporara una interfaz fácil de controlar. Por este motivo, solamente se probaron tres sistemas operativos: Android Nougat, Emteria y Lineage, que son los que proporcionan una interfaz gráfica bastante intuitiva para el usuario.

Después de la instalación y ejecución de Android 7.1 Nougat, Emteria y Lineage, se pudo observar que los tres sistemas son de fácil instalación puesto que para Emteria, únicamente se deben seguir los pasos del asistente, mientras que para Nougat y Lineage sólo se requiere un programa para grabar la imagen de disco sobre la microSD. Aunque, también es posible instalarlos mediante sistemas operativos diferentes a Windows, pero en este caso se tienen que usar otras herramientas de grabación compatibles con dicho sistema. A diferencia de Raspbian y Debian, estos sistemas contienen por defecto un teclado virtual por lo que no fue necesario instalarles uno y, por consiguiente, es posible tener un control total de la mesa interactiva usando únicamente el touch foil. Por otro lado, antes de instalar el programa que descarga y escribe Emteria en la tarjeta de memoria se debe verificar la compatibilidad de software que posee con la computadora.

Adicionalmente, se pudo comprobar que la Pi 2B es capaz de ejecutar Nougat y Lineage pero no Emteria en vista de que solo corre en la Pi 3B. También, se confirmó que estos sistemas no tuvieron inconvenientes en el reconocimiento de periféricos y unidades de almacenamiento, ni en la reproducción de contenido multimedia. Del mismo modo, dichos sistemas presentaron una excelente conexión a internet tanto vía Ethernet como Wi-Fi, mientras que por Bluetooth solamente se produjeron pequeñas dificultades. En cuanto a las aplicaciones preestablecidas, Emteria y Lineage las ejecutan normalmente, en cambio, Nougat no pudo abrir ni Music ni Gallery. Por otra parte, todos los sistemas fueron capaces de ejecutar la aplicación didáctica GEOMESA-WEB sin ningún impedimento. Asimismo, fue posible instalarles aplicaciones a través de archivos APK y Google Play, sin embargo, algunas aplicaciones instaladas a través de APKs no se ejecutaron adecuadamente, mientras que Nougat no fue capaz de abrir Play Store y en Lineage se tuvo que instalar usando la imagen de recuperación TWRP dado que no se pudo ejecutar correctamente mediante los archivos APK.

Otra cosa que se pudo observar es que para apagar Android 7.1 Nougat es necesario desconectar el eliminador de la fuente de alimentación ya que este sistema no incluye un botón virtual de apagado. No obstante, Emteria contiene una aplicación para apagar virtualmente el sistema, de la misma manera, Lineage incorpora una serie de atajos para el teclado físico donde emplea una tecla para sustituir el tradicional botón físico de bloqueo y apagado en los teléfonos celulares.

Pese a que Windows lanzó una versión oficial para computadoras de placa reducidas entre las cuales se encuentran las Raspberry Pi 2B y 3B, el sistema *Windows 10 IoT Core* es una versión para desarrolladores, lo que quiere decir que no cuenta con los programas que utiliza el público en general como: procesador de textos, reproductor multimedia, compresor de datos, editor de imágenes, explorador de archivos, entre otros. Por esta razón, se decidió no integrarla a este trabajo, además, el proceso de instalación es un poco complicado considerando que se requieren realizar algunos ajustes a la configuración del sistema “Windows 10” de la PC que se va a emplear.

Con respecto a la película capacitiva, ésta respondió favorablemente a las pruebas táctiles realizadas, trabajó bien con todos los sistemas operativos empleados, no fue necesario instalar algún tipo de controlador especializado y no se requirió calibrarla ya que cumplió con sus funciones normales sin ninguna complicación. También, mostró que tiene buena detección táctil con guantes de tela (delgados) en las manos, que no es afectada por la luz externa como en el caso la tecnología infrarroja y que su funcionalidad es compatible con una gran variedad de aplicaciones.

A pesar de que tanto Emteria como Lineage se pueden apagar virtualmente desde la interfaz de usuario, presentan el inconveniente de no volver a arrancar una vez apagados debido a que la Raspberry Pi deja de mandar energía eléctrica a los periféricos, de modo que, es imposible encender el sistema por medio de dichos dispositivos, forzando al usuario a desconectar el eliminador de la fuente de alimentación. Sin embargo, es posible correr nuevamente estos sistemas si se coloca momentáneamente en cero lógico el GPIO03 de la Raspberry Pi, por lo cual, se recomienda adicionar un interruptor normalmente abierto entre los pines 5 (GPIO03) y 6 (tierra) al diagrama de conexiones de la mesa interactiva con la finalidad de tener un botón de reinicio del SO.

En base a los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en este proyecto, se puede concluir que el sistema operativo Lineage es el más conveniente para su implementación en la mesa interactiva puesto que es gratuito, es una versión completa (no de prueba), es de fácil instalación, es compatible con la Raspberry Pi 2B, corre con normalidad, se puede apagar virtualmente, es posible reiniciarlo sin desconectar el eliminador, posee una interfaz gráfica amigable e intuitiva, todas sus aplicaciones preestablecidas funcionan de forma correcta, ejecuta la aplicación GEOMESA-WEB adecuadamente, reproduce contenido multimedia sin complicaciones, se pueden instalar aplicaciones mediante Google Play, no tiene problemas en el reconocimiento de periféricos, identifica dispositivos de almacenamiento USB, presenta buenas conexiones inalámbricas y no requiere controladores para la película capacitiva.

Por último, como consecuencia de las características y buen funcionamiento que manifestó el prototipo desarrollado en este trabajo de tesis, se pretende que en un futuro este tipo de dispositivos sean implementados en laboratorios junto con aplicaciones didácticas especializadas que permitan comprender mejor los fenómenos expuestos en cada práctica.

Referencias

- [1] C. Bauman, «How to Select a Surface-Capacitive Touch-Screen Controller,» *Information Display*, vol. 23, n° 12, pp. 32-36, diciembre 2007.
- [2] G. Walker, «A review of technologies for sensing contact location on the surface of a display,» *Journal of the Society for Information Display*, vol. 20, n° 8, pp. 413-440, agosto 2012.
- [3] ADmetro, «A Primer on Popular Touch Screen Types,» Ottawa, Canadá, 2016.
- [4] ADmetro, «HOW DO SURFACE CAPACITIVE TOUCH SCREENS WORK?,» ADmetro Inc., 2016. [En línea]. Available: <http://admetro.com/products/scap/>. [Último acceso: 10 enero 2018].
- [5] Comunidad BQ, «mibqyyo.com/articulos/,» Magna Legal Services, 2015. [En línea]. Available: <http://www.magnals.com/samples/IntellectualProperty/TouchScreenTutorial.swf>. [Último acceso: 01 octubre 2015].
- [6] G. Barrett y R. Omote, «Projected-Capacitive Touch Technology,» *Information Display*, vol. 26, n° 03, pp. 16-21, marzo 2010.
- [7] 3M Touch Systems, «Touch Technology Brief: Projected Capacitive Technology,» 3M Company, Methuen, Massachusetts, Estados Unidos de América, 2013.
- [8] TOUCHWINDOW, «Touch Foil,» Touchwindow S.r.l., 2017. [En línea]. Available: <http://www.touchwindow.it/en/touch-foil.html>. [Último acceso: 20 febrero 2018].
- [9] B. Cannon, *Electrostatic Simulation Methodology for Capacitive Touch-Screen Panels*, Dublín, Irlanda: Dublin City University, julio 2014, p. 51.
- [10] G. Walker, «A Cornucopia of Touch Technology,» *Information Display*, vol. 22, n° 12,

pp. 14-20, diciembre 2006.

- [11] G. Walker, «Display Week 2014 Review: Touch Technology,» *Information Display*, vol. 30, n° 6, pp. 40-45, noviembre 2014.
- [12] Wikipedia, «Open-source hardware,» 14 abril 2018. [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Open-source_hardware. [Último acceso: 20 abril 2018].
- [13] Free Software Foundation, «What is free software and why is it so important for society?,» 2004-2018. [En línea]. Available: <https://www.fsf.org/about/what-is-free-software>. [Último acceso: 20 abril 2018].
- [14] Wikipedia, «Software libre,» 12 abril 2018. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Software_libre. [Último acceso: 20 abril 2018].
- [15] L. Fuentes, J. M. Troya y A. Vallecillo, «Desarrollo de Software Basado en Componentes,» departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación, Universidad de Málaga, Málaga, España, 2017.
- [16] Cytron Technologies Sdn Bhd, «Cytron Marketplace,» Cytron Technologies, 2004-2018. [En línea]. Available: <https://www.cytron.io/p-ct-uno-se>. [Último acceso: 12 marzo 2018].
- [17] Red Pitaya, «redpitaya.com,» StemLabs, 2018. [En línea]. Available: <https://www.redpitaya.com/194/Red%20Pitaya%20STEMlab%20board%20125-14>. [Último acceso: 21 marzo 2018].
- [18] S. Brunton y M. T. Madsen, «osmc.tv,» OSMC, 2014-2018. [En línea]. Available: <https://osmc.tv/>. [Último acceso: 14 mayo 2018].
- [19] HARDKERNEL, «ODROID,» Hardkernel co., Ltd., 2013. [En línea]. Available: https://www.hardkernel.com/main/products/prdt_info.php?g_code=G145457216438. [Último acceso: 18 mayo 2018].

- [20] SECO USA Inc., «UDOO SHOP,» Aidilab, 2016. [En línea]. Available: <https://shop.udoo.org/usa/quad-dual/udoo-quad.html>. [Último acceso: 24 mayo 2018].
- [21] Sinovoip, «Banana Pi,» Foxconn, 2016-2018. [En línea]. Available: <http://www.banana-pi.org/m2u.html>. [Último acceso: 24 mayo 2018].
- [22] Cubieboard, «Cubieboard,» Esplanade Theme and WordPress, 2018. [En línea]. Available: <http://cubieboard.org/>. [Último acceso: 18 mayo 2018].
- [23] BeagleBoard, «beagleboard.org,» 2018. [En línea]. Available: <http://beagleboard.org>. [Último acceso: 05 junio 2018].
- [24] Raspberry Pi Foundation, «Raspberry Pi,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org>. [Último acceso: 11 junio 2018].
- [25] Comité Consultivo Nacional de Normalización de Instalaciones Eléctricas, «NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2012, INSTALACIONES ELECTRICAS (UTILIZACION),» Diario Oficial de la Federación , 29 noviembre 2012. [En línea]. Available: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5280607&fecha=29/11/2012. [Último acceso: 30 julio 2018].
- [26] Geek Till It Hertz, «YouTube,» Google, 18 julio 2015. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=aSgQDhM84Ko>. [Último acceso: 14 noviembre 2018].
- [27] OCTANORM, «OCTANORM,» OCTANORM Distribución México, 2018. [En línea]. Available: <https://www.octanorm.com/mx/Home>. [Último acceso: 27 julio 2018].
- [28] F. MOCQ, Raspberry Pi 2: Utilice todo el potencial de su nano-ordenador, Barcelona, España: Ediciones ENI, 2016.
- [29] IBM Knowledge Center, «Particionamiento,» International Business Machines Corporation (IBM), [En línea]. Available:

https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/ssw_aix_72/install/partitioning.html.
[Último acceso: 06 agosto 2018].

[30] Raspberry Pi, «OMXPlayer: An accelerated command line media player,» Raspberry Pi Foundation, [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/documentation/raspbian/applications/omxplayer.md>. [Último acceso: 25 septiembre 2018].

Apéndice A

Formatear un disco de almacenamiento

En ciertos casos puede ocurrir que Win32 Disk Imager lance un error como los representados en la imagen A.1, ya sea porque ocurrió un problema durante la grabación de la imagen de disco o porque la unidad de almacenamiento seleccionada no posee las características requeridas por la aplicación, un ejemplo de esto es que el programa no reconozca el sistema de archivos de la memoria. Como solución a este problema, primeramente, se debe verificar que tanto la tarjeta de almacenamiento como el puerto de la PC se encuentren conectados correctamente y en buen estado, debido a que en ocasiones Windows identifica la tarjeta de memoria aunque no haga contacto de forma adecuada con las terminales del puerto, lo que obstaculiza el proceso de grabación. De igual manera, se puede optar por darle formato al disco empleando la herramienta que viene por defecto en el Explorador de archivos de Windows ya que es sencilla y muy fácil de usar. No obstante, existen utilidades más completas como *Administración de discos* y *Diskpart* de Windows, *GParted* de Linux y *SD Memory Card Formatter* para Windows y Mac de la *SD Association*, esta última se puede descargar gratuitamente desde su página oficial (<https://www.sdcard.org/>). El aspecto más importante de estas aplicaciones es que permiten realizar cambios en la estructura de la unidad de almacenamiento como unir o crear particiones de la misma, esto es importante cuando se necesita todo el espacio con el que cuenta el disco o cuando se requieren particiones con diferentes sistemas de archivos puesto que una partición sólo puede poseer más que un formato, por ejemplo, generalmente los sistemas operativos tipo Linux funcionan con varias particiones de diferentes formatos. También, es recomendable utilizar una partición para guardar únicamente los archivos del usuario, así cuando se reinstala o se realizan cambios en el SO no se pierde dicha información.

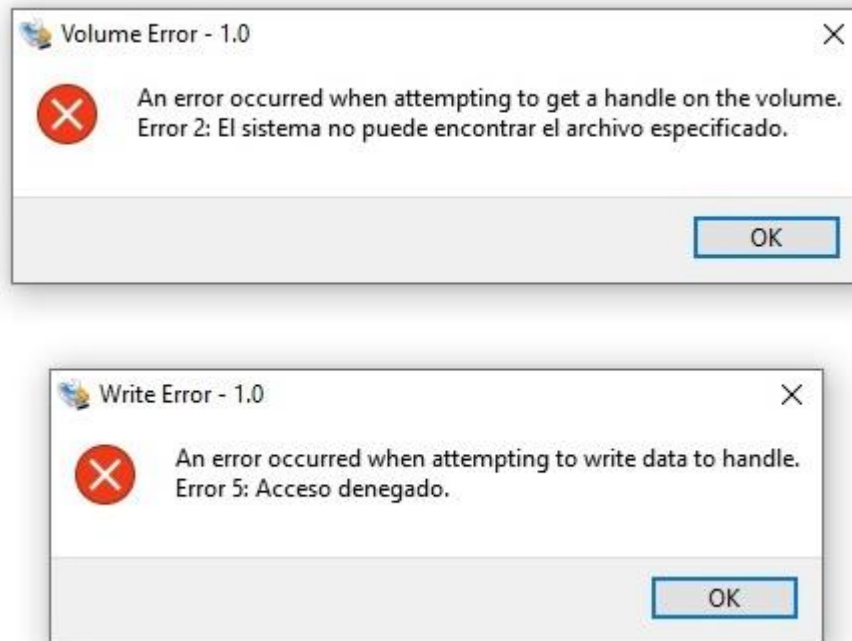


Imagen A.1 Posibles mensajes de error de Win32 Disk Imager.

A.1 Herramienta del Explorador de Windows

Si se desea formatear la tarjeta microSD empleando esta herramienta, primero, se debe insertar la memoria a la computadora, abrir el Explorador de archivos, dar clic derecho sobre la unidad⁴⁶ a formatear que con frecuencia se encuentra en **Equipo** en el panel de navegación y luego seleccionar **Formatear...**

En la ventana emergente que se visualiza en la imagen A.2 se tiene que escoger el sistema de archivos, donde **FAT32** es el formato más ampliamente ocupado en este tipo de unidades de almacenamiento; en el tamaño de unidad de asignación (tamaño de clúster⁴⁷) se recomienda dejar el **valor predeterminado**; y por último, desmarcar el formato rápido con el objetivo de

⁴⁶ Al igual que en el proceso de escritura de Win32 Disk Imager, si se coloca la letra de una unidad de almacenamiento diferente a la deseada se perderán todos los datos que pueda contener dicha unidad.

⁴⁷ El tamaño del clúster representa la menor cantidad de espacio en disco que puede ocupar un archivo.

que la computadora realice un formateo completo (lento) borrando todos los archivos existentes y creando desde cero la estructura lógica de la unidad, además de buscar y reparar sectores dañados evitando perder datos en un futuro. Seguidamente dar clic en **Iniciar** para efectuar esta operación.

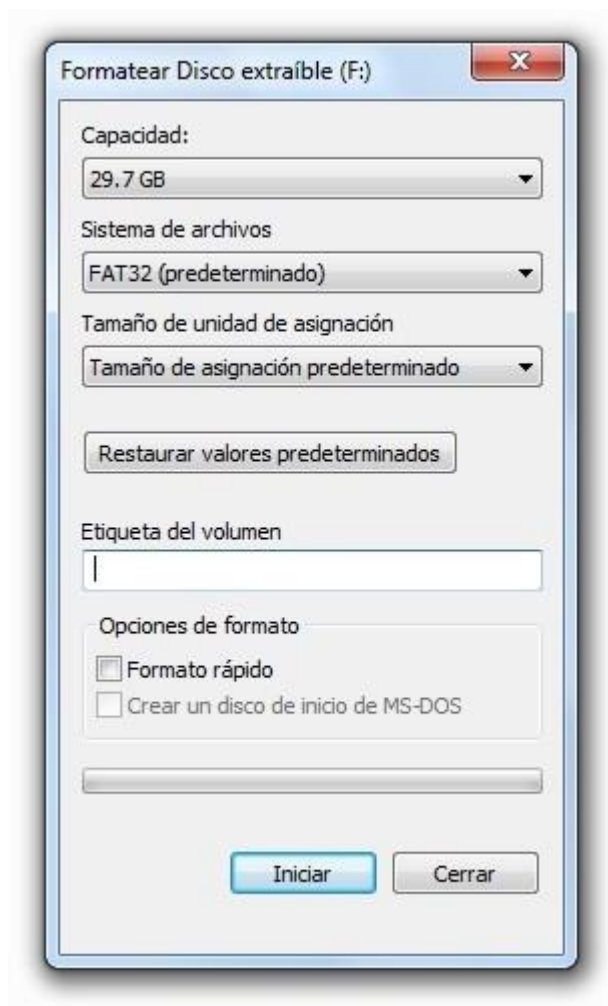


Imagen A.2 Herramienta de Windows para dar formato a las unidades de almacenamiento.

A.2 Administración de discos

Posteriormente, si el problema persiste, sería necesario restablecer la estructura lógica de la unidad y su sistema de archivos, ejecutando alguna de las herramientas avanzadas mencionadas anteriormente, entre las cuales Administración de discos es la más fácil de manipular, por lo que a continuación, se explica cómo eliminar, crear y unir particiones con esta aplicación.

Administración de discos es capaz de dividir de forma virtual un dispositivo de almacenamiento en dos o más partes, combinar las particiones existentes e incluso darle un formato diferente a cada partición. En Windows 7, este programa se abre haciendo clic en **Inicio** > clic derecho en **Equipo** > enseguida **Administrar** > y en el panel de navegación se selecciona **Administración de discos**; en el caso de Windows 10, es **Inicio** > **Sistema de Windows** > clic derecho en **Este equipo** > **Administrar** > **Administración de discos**; o simplemente escribiendo en el buscador de inicio **Crear y formatear particiones del disco duro** para ambas versiones. Una vez abierta esta aplicación, se debe de identificar la unidad de almacenamiento con la que se va a trabajar, es importante asegurarse de que sea la unidad correcta ya que este proceso borra la información contenida en el disco. En la imagen A.3 se presenta la interfaz de esta herramienta.

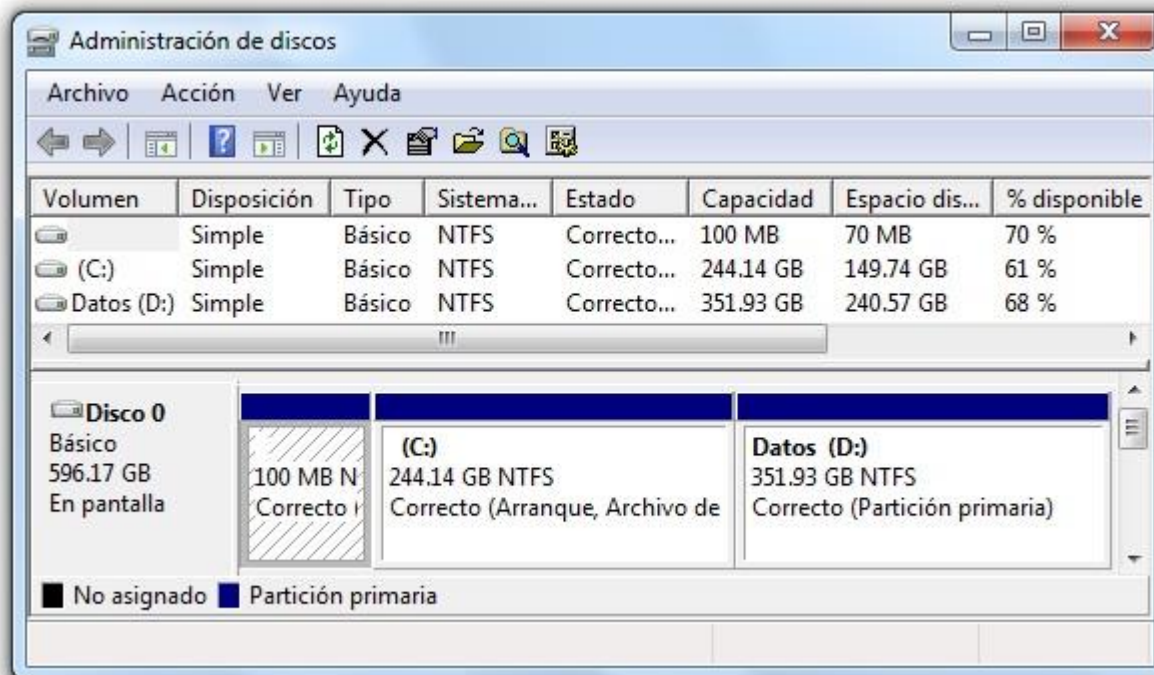


Imagen A.3 Interfaz de Administración de discos.

A.2.1 *Cómo crear particiones en un disco*

En cuanto a la creación de una nueva partición en un disco, primero es necesario tener espacio libre, este espacio usualmente se encuentra etiquetado como “No asignado” por lo que si no se cuenta con este espacio se tiene que reducir el volumen o eliminar alguna partición.

Reducción de una partición

Para reducir el volumen de una unidad de almacenamiento se debe hacer clic derecho sobre la unidad adecuada y seleccionar **Reducir volumen...**, lo cual abrirá la ventana que se observa en la imagen A.4. En ella, se muestra el tamaño total de la unidad, el espacio disponible para reducir, el espacio que se desea reducir y su tamaño total al final de la reducción. En esta ventana se debe seleccionar la cantidad de MB (*megabytes*) que se quiere reducir del disco y finalmente dar clic en **Reducir**.



Imagen A.4 Reducción de volumen de la unidad C.

En dado caso que la opción *Reducir volumen* no se encuentre disponible o que la reducción total del disco no sea del tamaño suficiente para la nueva partición que se desea crear, se tiene que eliminar la partición existente.

Eliminación de una partición

Para eliminar una partición existente en el disco se tiene que hacer clic derecho sobre la partición deseada, seleccionar **Eliminar volumen...** tal como se señala en la imagen A.5 y por último, confirmar la operación haciendo clic en **Sí** en la ventana emergente. Cuando se elimine dicho volumen, éste aparecerá como espacio "No asignado".

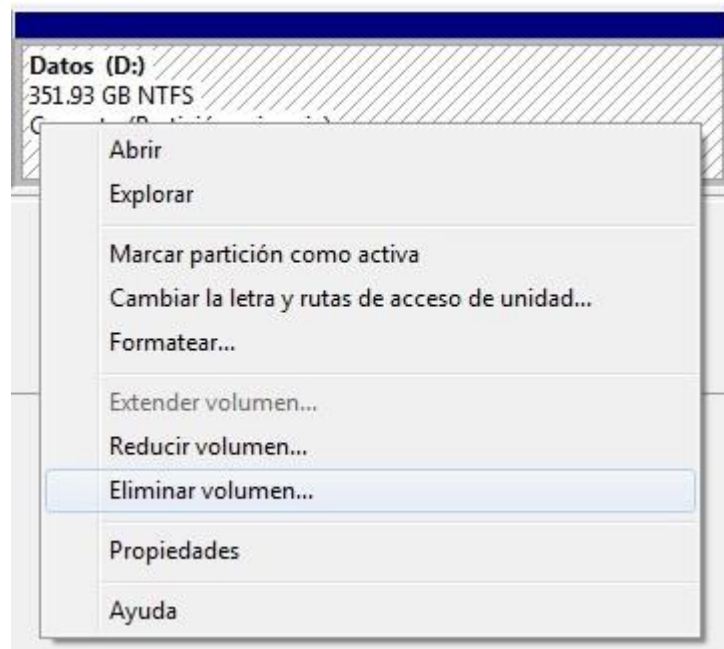


Imagen A.5 Eliminación de una partición existente.

Creación de una partición

Una vez que se tiene el suficiente espacio “No asignado” para crear la nueva partición, se debe dar clic derecho sobre éste y seleccionar **Nuevo volumen simple...** así como se indica en la imagen A.6, con esto se desplegará el *Asistente para nuevo volumen simple* donde hay que especificar el tamaño de la partición, asignarle una letra de unidad y formatearla. En la imagen A.7 se aprecia la ventana del asistente con las características asignadas antes de generar la nueva partición.

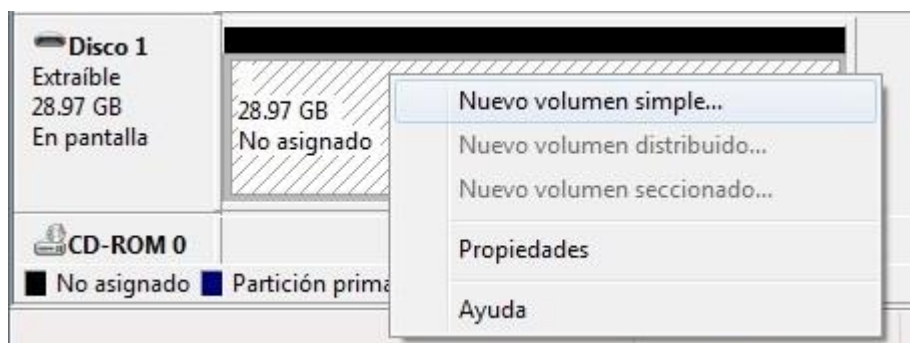


Imagen A.6 Creación de una nueva partición.

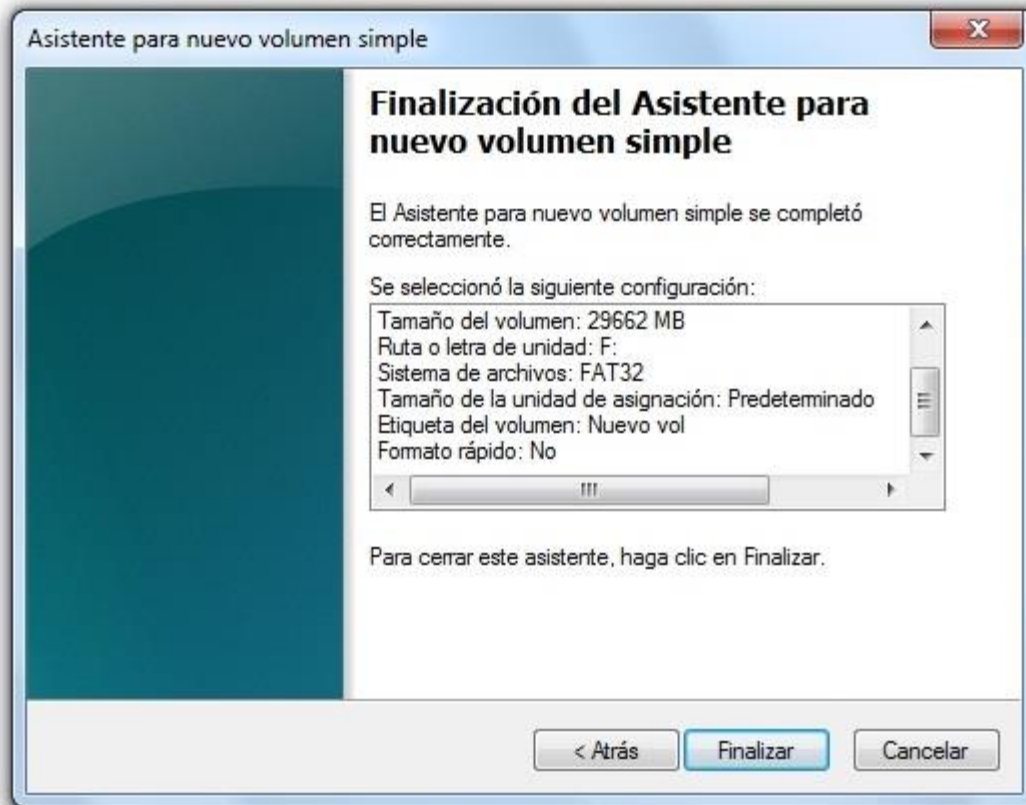


Imagen A.7 Asistente para nuevo volumen simple.

A.2.2 Cómo unir las particiones de un disco

Con relación a la unión de particiones de un disco se tienen dos opciones: la primera, es eliminar todas las particiones que se quieren unir y más adelante, crear una nueva partición; mientras que la segunda, es eliminar únicamente las particiones que se adicionarán a la partición restante y posteriormente extenderla. No obstante, el método de eliminación es igual al mencionado anteriormente.

Unión de particiones eliminadas

Una vez eliminadas todas las particiones que se desean unir, se debe efectuar el mismo procedimiento que se utiliza para la creación de una nueva partición, el cual se describe en el punto anterior. En la imagen A.8 se ilustra el disco 1 antes y después de unir sus particiones.



Imagen A.8 Disco 1 antes y después de unir sus particiones.

Extensión de una partición

Para extender el volumen de una partición hay que hacer clic derecho sobre la unidad y a continuación, seleccionar **Extender volumen...**, en consecuencia, se abrirá el *Asistente para extender volúmenes*, el cual señala el tamaño total de la partición y el espacio máximo disponible de extensión, aquí se tiene que indicar cuantos MB se quieren adicionar a dicha partición, tal como se muestra en la imagen A.9.

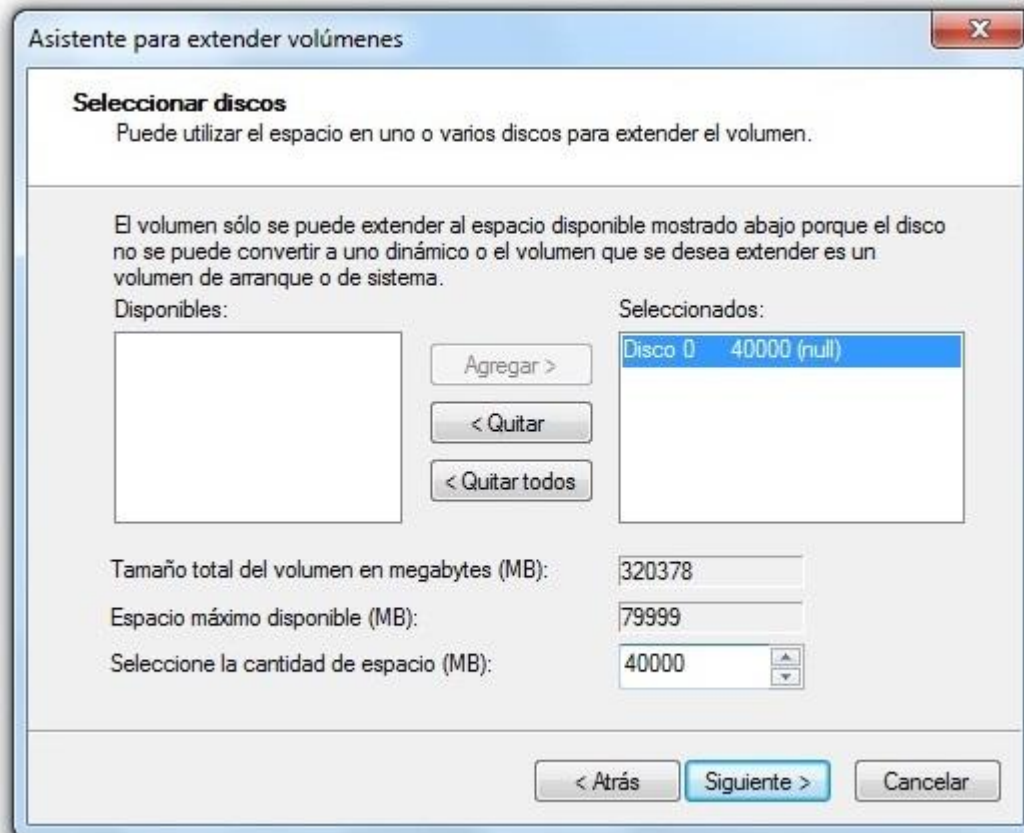


Imagen A.9 Extensión de volumen de una partición.

A.3 Diskpart

Otra forma de reestructurar una unidad de almacenamiento que no puede ser grabada con Win32 Disk Imager es por medio de la aplicación Diskpart, esta utilidad es más potente que Administración de discos en la administración de particiones dado que posee funciones más avanzadas, aunque su uso se describirá brevemente. Este programa utiliza una línea de comandos como interfaz de usuario a la cual se accede de forma sencilla; solamente se tiene que hacer clic en el **botón de inicio** de Windows, escribir **Diskpart** en la barra de búsqueda, pulsar **Enter** y enseguida dar clic en **Sí** en la ventana emergente con el propósito de permitir

que la aplicación realice cambios en el equipo. A continuación, se explican algunos de los comandos más empleados en esta herramienta para crear, formatear y eliminar particiones.

A.3.1 Cómo crear y formatear particiones

Para la creación de una partición con Diskpart se tiene que ejecutar el comando **list disk** con la finalidad de imprimir en pantalla una lista con las unidades de almacenamiento identificadas por la computadora. Enseguida, hay que seleccionar la unidad de almacenamiento ingresando el comando **select disk** seguido del número del disco deseado. Posteriormente, para generar la partición se debe insertar la instrucción **create partition primary**, lo cual creará una partición que ocupará todo el espacio disponible en disco. No obstante, se puede agregar el parámetro **size=2500**, donde *2500* indica la cantidad de MB que abarcará esta partición. Luego, para darle formato a la unidad se debe escribir **format fs=fat32**, en este caso, *fat32* es el sistema de archivos que se desea otorgar a la partición creada. Asimismo, se puede agregar el parámetro **quick** a esta instrucción con la idea de hacer un formateo rápido en lugar de uno lento⁴⁸. También, se puede añadir el parámetro **label="Datos"** para ponerle un nombre a la partición que en esta ocasión sería *Datos*. Finalmente, es necesario asignarle una letra de ruta o punto de montaje a este disco con el propósito de que la PC lo identifique cuando se ejecuten otras aplicaciones, para ello, se puede escribir únicamente **assign**, aunque también se puede agregar el parámetro **letter=g**, donde *g* es la letra a asignar. Por último, sólo se tiene que insertar el comando **exit** para cerrar Diskpart. En la imagen A.10 se puede ver un ejemplo completo del procedimiento para la generación de una partición.

⁴⁸ El tiempo de formateo del disco dependerá del tamaño del disco y las velocidades tanto de la computadora como del mismo disco.


```

C:\Windows\system32\diskpart.exe

DISKPART> list disk

  Núm Disco  Estado      Tamaño  Disp  Din  Gpt
-----
Disco 0     En línea    596 GB   0 B
Disco 1     En línea    28 GB   28 GB

DISKPART> select disk 1

El disco 1 es ahora el disco seleccionado.

DISKPART> create partition primary

DiskPart ha creado satisfactoriamente la partición especificada.

DISKPART> format fs=fat32 label="Datos" quick

 100 por ciento completado

DiskPart formateó el volumen correctamente.

DISKPART> assign

DiskPart asignó correctamente una letra de unidad o punto de montaje

DISKPART> detail disk

SD Memory Card
Id. de disco: 00000000
Tipo          : Desconocido
Estado       : En línea
Ruta         : 0
Destino      : 0
Id. de LUN   : 0
Ruta de la ubicación: UNAVAILABLE
Estado de solo lectura actual: No
Sólo lectura      : No
Disco de arranque : No
Disco de archivo de paginación : No
Disco de archivo de hibernación : No
Disco de volcado  : No
Disco en clúster: No

  Núm Volumen Ltr  Etiqueta  Fs      Tipo      Tamaño  Estado
-----
* Volumen 4   G   DATOS    FAT32    Extraíble  28 GB   Correcto

DISKPART> exit_

```

Imagen A.10 Comandos ejecutados para crear una partición.

A.3.2 *Cómo eliminar particiones*

En ocasiones no es posible eliminar el volumen o partición de un disco por medio de Administración de discos, por lo cual se puede optar por emplear esta herramienta.

El proceso de eliminación de una partición es sencillo, para comenzar, se tienen que ejecutar los comandos **list disk** y **select disk** descritos en el punto anterior. Posteriormente, se debe insertar **list partition** con la intención de identificar las particiones que contiene el disco elegido. Luego, hay que escoger la partición que se va a eliminar escribiendo **select partition** más el número de la partición y, por último, teclear **delete partition** para eliminar dicha partición, así como se visualiza en la imagen A.11.



```
C:\Windows\system32\diskpart.exe

DISKPART> list disk

   Núm Disco  Estado      Tamaño  Disp   Din  Gpt
-----
Disco 0      En línea    596 GB   0 B
Disco 1      En línea    28 GB    9 GB

DISKPART> select disk 1

El disco 1 es ahora el disco seleccionado.

DISKPART> list partition

   Núm Partición  Tipo          Tamaño  Desplazamiento
-----
Partición 1      Principal     9 GB    1024 KB
Partición 0      Principal     9 GB     9 GB

DISKPART> select partition 0

La partición 0 es ahora la partición seleccionada.

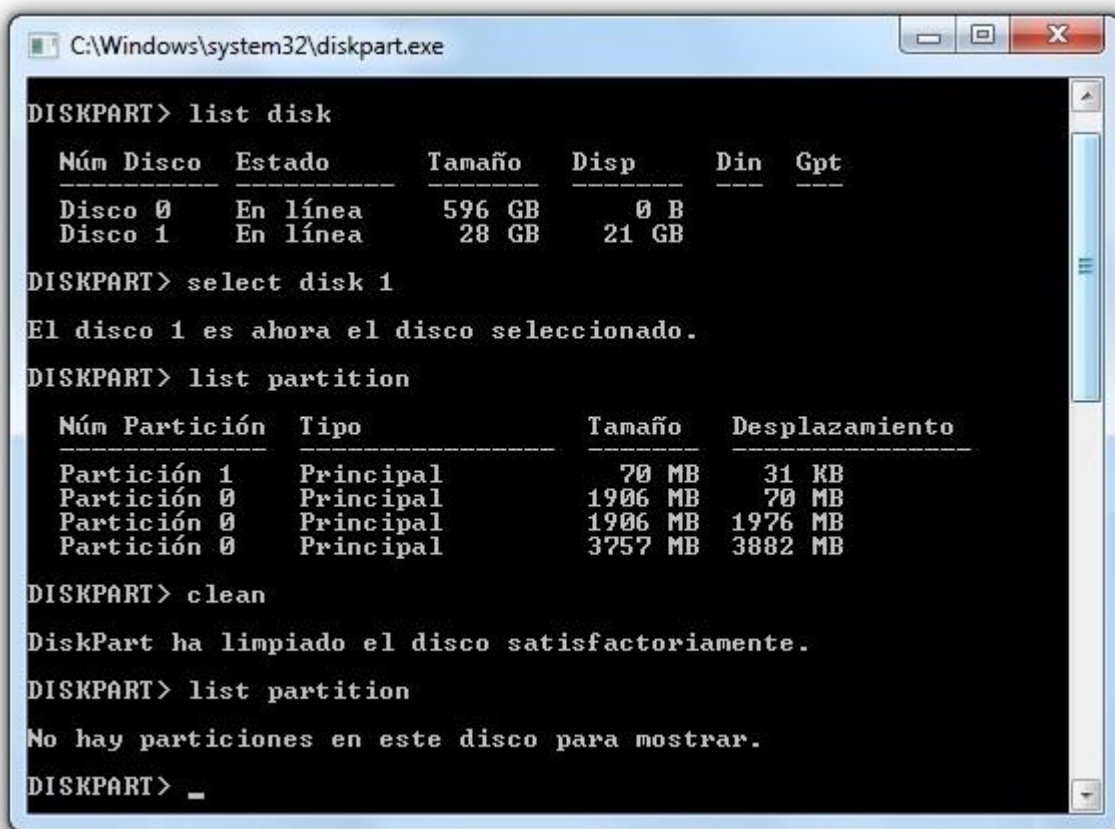
DISKPART> delete partition

DiskPart eliminó correctamente la partición seleccionada.

DISKPART> _
```

Imagen A.11 Eliminación de una partición con Diskpart.

En algunos casos es necesario eliminar completamente la información que contiene el disco ya sea por algún error o porque se necesita todo su espacio, para ello, se utiliza el comando *clean*, el cual sirve para limpiar completamente la tabla de particiones del disco seleccionado quedando únicamente espacio no asignado. Después de hacer esto, se debe generar la o las particiones requeridas. En la imagen A.12 se ejemplifica el uso de este comando.



```
C:\Windows\system32\diskpart.exe
DISKPART> list disk

  Núm Disco  Estado      Tamaño  Disp  Din  Gpt
  -----
  Disco 0    En línea    596 GB   0 B
  Disco 1    En línea    28 GB   21 GB

DISKPART> select disk 1
El disco 1 es ahora el disco seleccionado.

DISKPART> list partition

  Núm Partición  Tipo      Tamaño  Desplazamiento
  -----
  Partición 1    Principal  70 MB   31 KB
  Partición 0    Principal 1906 MB  70 MB
  Partición 0    Principal 1906 MB 1976 MB
  Partición 0    Principal 3757 MB 3882 MB

DISKPART> clean
DiskPart ha limpiado el disco satisfactoriamente.

DISKPART> list partition
No hay particiones en este disco para mostrar.

DISKPART> _
```

Imagen A.12 Eliminación de todas las particiones existentes de un disco mediante Diskpart.

A.3.3 *Cómo extender particiones*

Antes de extender una partición es importante considerar los siguientes puntos:

- Para extender el volumen de una partición es necesario disponer de espacio libre (no asignado), sino aparecerá un mensaje como el que se distingue en la imagen A.13.
- Es posible extender una partición únicamente si tiene el sistema de archivos NTFS, de no ser así, Diskpart responderá con un mensaje como el que se nota en la imagen A.14.
- La partición extendida no perderá los datos que contiene.
- El mayor inconveniente de Diskpart es que no se puede ver el espacio libre no asignado a través de la consola, así que no se puede saber si es posible extender el tamaño de la unidad.
- El espacio no asignado deberá estar justo al lado derecho de la partición a extender, de lo contrario, no se podrá extender dicha partición.

```
No hay suficiente espacio disponible en el disco o discos especificados para extender el volumen.
```

Imagen A.13 Mensaje de que no hay espacio libre.

```
Error del Servicio de disco virtual:  
No se puede extender el volumen porque el sistema de archivos no lo admite.
```

Imagen A.14 Mensaje arrojado por Diskpart.

Una vez en la interfaz de Diskpart, se deben ejecutar las instrucciones **list disk**, **select disk**, **list partition** y **select partition**, explicadas anteriormente, con la intención de seleccionar correctamente la partición que se quiere extender y el disco que la contiene. Luego, se tiene que insertar la instrucción **extend size=1500**, donde *1500* es el espacio en megabytes que se agregará a la partición elegida. También, es posible ingresar únicamente el comando **extend** sin el parámetro *size*, sin embargo, en esta ocasión la cantidad de MB que se añadan será la cantidad disponible en el espacio no asignado. Finalmente, hay que ejecutar **exit** para cerrar Diskpart. Todo este proceso se encuentra en la imagen A.15.

```
C:\Windows\system32\diskpart.exe

DISKPART> list disk

  Núm Disco  Estado      Tamaño  Disp  Din  Gpt
-----
Disco 0      En línea    596 GB  0 B
Disco 1      En línea    28 GB   25 GB

DISKPART> select disk 1
El disco 1 es ahora el disco seleccionado.

DISKPART> list partition

  Núm Partición  Tipo          Tamaño  Desplazamiento
-----
Partición 1     Principal    70 MB   31 KB
Partición 0     Principal   3426 MB 3851 MB

DISKPART> select partition 1
La partición 1 es ahora la partición seleccionada.

DISKPART> extend size=1500
DiskPart extendió el volumen correctamente.

DISKPART> list partition

  Núm Partición  Tipo          Tamaño  Desplazamiento
-----
* Partición 1     Principal   1570 MB  31 KB
Partición 0     Principal   3426 MB 3851 MB

DISKPART> exit_
```

Imagen A.15 Proceso para extender una partición.

Apéndice B

Memoria USB de arranque de Ubuntu

En este apéndice se describe el procedimiento para hacer una memoria USB de arranque para el sistema operativo Ubuntu. Esta memoria funciona como si fuera el disco de instalación del SO donde es posible escoger entre instalar Ubuntu o entrar al sistema en modo de prueba sin tener que instalarlo forzosamente en un disco duro. En la imagen B.1 se ilustra la interfaz del instalador con ambas opciones.



Imagen B.1 Interfaz del instalador de Ubuntu.

B.1 Procedimiento

Lo primero que se tiene que hacer para crear la USB de arranque es descargar Ubuntu desde su página oficial (<https://www.ubuntu.com/download/desktop>), este SO viene compilado en una imagen de disco con la extensión iso, dicha imagen no está comprimida por lo que tardará su descarga. También, es necesario descargar la utilidad *Rufus* aunque existen otros programas capaces de realizar las mismas tareas, esta herramienta no requiere de instalación previa solamente hay que descargar el archivo ejecutable desde la página <https://rufus.ie/>.

Posteriormente, se debe enchufar a la computadora una memoria USB de al menos 4 GB de capacidad y hacer doble clic sobre el archivo .exe de Rufus para abrir el programa cuya interfaz se aprecia en la imagen B.2. A continuación, se tiene que elegir la USB en el menú desplegable del campo **Dispositivo** y dar clic sobre el botón **SELECCIONAR** para navegar entre las carpetas de archivos y escoger la imagen de disco de Ubuntu que se descargó previamente. En cuanto a los demás campos, se recomienda dejar los valores predeterminados.

Después, hay que hacer clic sobre el botón **EMPEZAR**, lo que posiblemente lanzará dos mensajes adicionales: en el primero se solicita la descarga de ficheros adicionales del software *Syslinux* donde se debe hacer clic en **SÍ**; mientras que en el segundo se tiene que elegir **Escribir en modo Imagen ISO** y luego, hacer clic en **OK**. Por último, hay que dar clic en **Aceptar** en la advertencia de la ventana emergente, esperar a que el proceso de grabación termine y finalmente, clic en **CERRAR**.

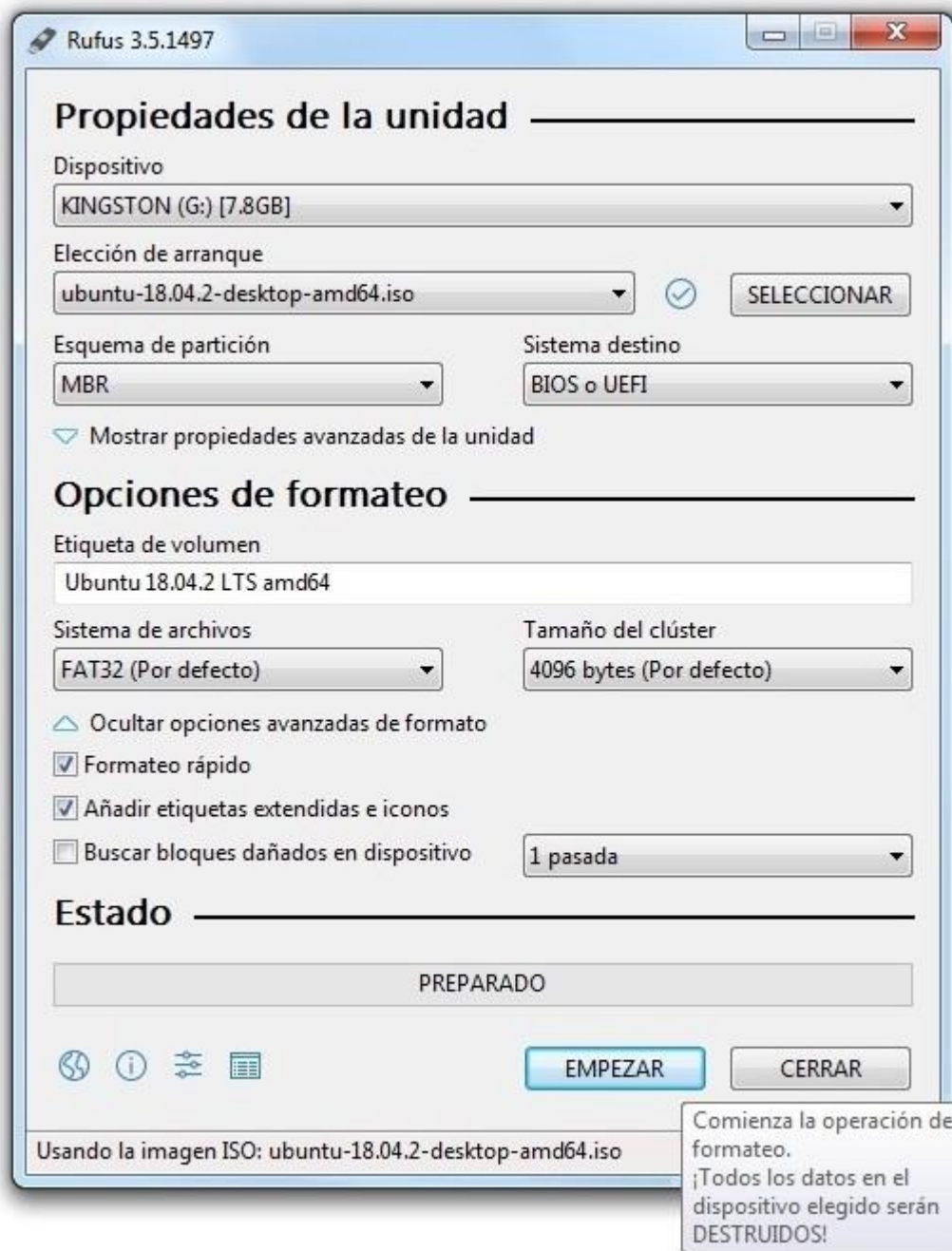


Imagen B.2 Interfaz de la herramienta Rufus.

B.2 Ejecución

Antes de usar la USB con Ubuntu, se tiene que entrar al sistema básico de entrada y salida (BIOS) de la PC para modificar su secuencia de arranque. La BIOS es el primer programa que se ejecuta cuando se enciende la computadora y es la encargada de guardar su configuración inicial, además de cargar el sistema operativo desde un dispositivo de almacenamiento de datos. Este sistema se encuentra instalado en un circuito integrado de la motherboard diseñado específicamente para trabajar con cada modelo de computadora en particular. Muchas de estas computadoras proveen una rutina de configuración a la cual se accede por medio de alguna tecla específica como **F1**, **F2** y **Del** inmediatamente después de iniciar el equipo, esta tecla se debe presionar antes de que se cargue el SO preestablecido, de no ser así, hay que reiniciar la PC y volver a intentarlo.

Una vez en la BIOS del equipo a emplear se tiene que habilitar el arranque a través de dispositivos externos escogiendo la pestaña **Boot**; luego, en la sección *Boot Configuration* hay que teclear *Enter* en la opción **External Device Boot**; y enseguida, elegir **Enabled** usando las flechas de dirección y dando *Enter* otra vez. De la misma manera, se debe de cambiar la secuencia de prioridad de arranque colocando: en primer lugar, **External Device**; en segundo, **Internal Hard Disk Drive**; y en tercero, la opción restante, así como se ejemplifica en la imagen B.3. Por último, hay que presionar la tecla **F4** para guardar los cambios y reiniciar el equipo, tecleando *Enter* en **YES** para confirmar esta acción.

Finalmente, antes de encender el equipo se debe insertar la USB de arranque para que la BIOS pueda leerla antes de que entre al sistema operativo del disco duro. Más tarde, al ejecutar el contenido de la USB se mostrarán dos opciones: una para usar la versión de prueba y la otra para realizar la instalación de Ubuntu en el equipo. Aquí sólo se tiene que seleccionar **Probar Ubuntu** y enseguida, se mostrará el escritorio de Ubuntu como si ya estuviera instalado en el equipo.

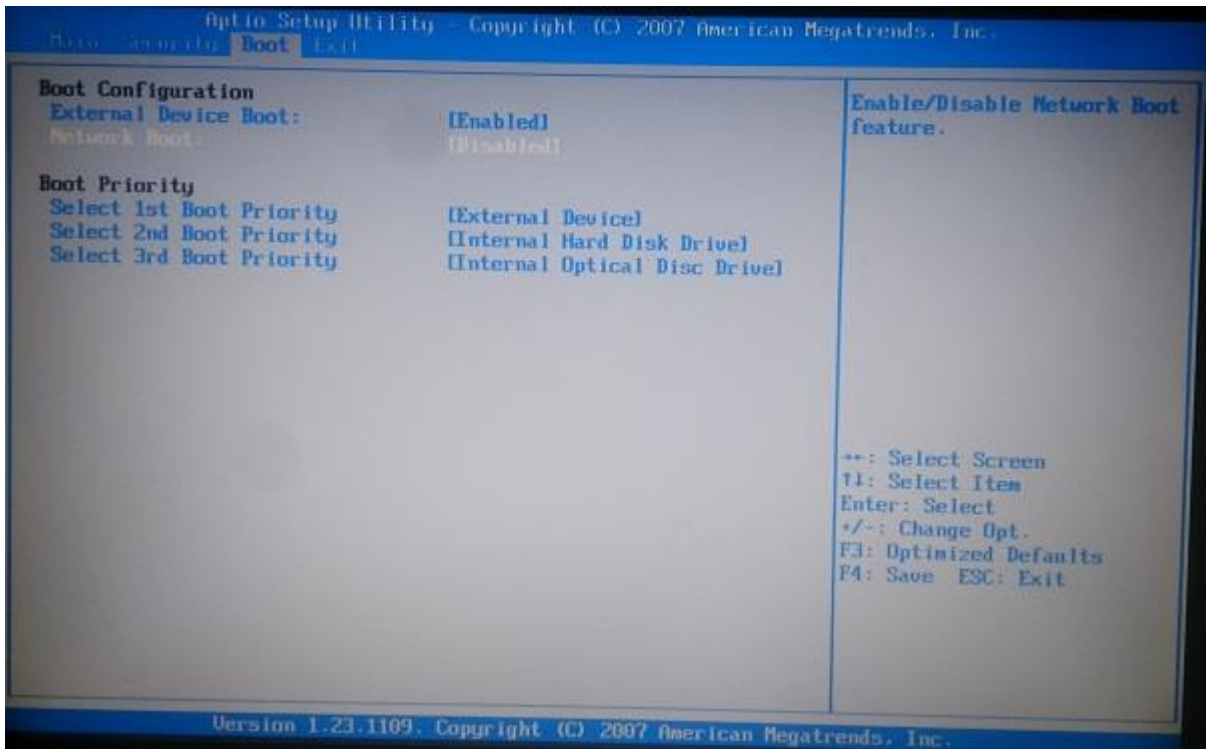


Imagen B.3 BIOS de una computadora laptop.