



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

PARADA DE BUSES INTELIGENTE CON INTERFAZ INTERACTIVA.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniero en Redes y Telecomunicaciones

Profesor Guía

MSc. Jorge Luis Rosero Beltrán

Autores

Johanna Daniela Peñaherrera Valencia

Faharid Sebastián Manjarrez Miranda

Año

2016

DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con los estudiantes, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Jorge Luis Rosero Beltrán

Master en Ciencias con Especialidad en Automatización

C.I. 180361018-5

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LOS ESTUDIANTES

“Declaramos que este trabajo es original, de nuestra autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Johanna Daniela Peñaherrera Valencia

C.I. 171567328-9

Faharid Sebastián Manjarrez Miranda

C.I. 171645368-1

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme inteligencia, prudencia y sabiduría para actuar en cada momento de mi vida. A mi madre que siempre me ha brindado su amor, apoyo y confianza para salir adelante en mi formación académica y en la vida, sin ella esto no sería posible. Gracias también a mis abuelitos que estuvieron presentes y fueron mi guía en mis inicios como estudiante y como persona. Y todos quienes me han apoyado siempre durante esta etapa de mi vida.

Johanna Peñaherrera

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios quién ha sido mi guía y está presente en cada momento de mi vida, y a mi madre que gracias a su amor y apoyo incondicional, puedo terminar esta etapa de mis estudios, por que cada logro mío, es un logro suyo.

Johanna Peñaherrera

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi esposa por su amor y apoyo incondicional, a mis padres por la confianza y dedicación que me han brindado. A la universidad que me abrió sus puertas y me ofreció la oportunidad de alcanzar una de mis metas más importantes. Finalmente, mis maestros que con su dedicación han sabido darme los conocimientos necesarios con los que se pudo concluir el presente trabajo.

Faharid Manjarrez

DEDICATORIA

Es probable que en este momento no entiendas mis palabras, pero para cuando lo hagas, quiero que sepas lo importante que eres para mí. Eres la razón por la que me esfuerzo constantemente en busca de un mejor futuro, eres mi principal motivación.

Para ti Sophie.

Faharid Manjarrez

RESUMEN

El diseño de un prototipo de parada de bus inteligente con interfaz interactiva, permitirá brindar un mejor servicio de información a los usuarios, en especial ayudará a las personas con discapacidad visual. Para el desarrollo del prototipo se identificó requerimientos esenciales como: bajo consumo de energía, autosustentable, seguro, interactivo y accesible para personas no videntes.

En el primer capítulo se realiza la investigación de la situación actual de las personas con discapacidad visual, la realidad en torno al transporte público, y las diferentes tecnologías que usan actualmente para facilitar su movilización. Se presenta también el fundamento teórico de la tecnología utilizada entre las cuales están Raspberry PI, Arduino, ZigBee, Xbee, y celdas fotoeléctricas.

En el capítulo dos se realiza la selección de componentes en base a los requerimientos establecidos en el capítulo uno, realizando comparaciones entre las tecnologías actuales, generando un esquema del prototipo con sus partes y como estas interactúan entre sí. Además de obtener información de productos finales a adquirir para el prototipo.

En el tercer capítulo se realizan las configuraciones necesarias de los componentes y se ensambla el prototipo en base al esquema definido en el capítulo dos, se detalla el código utilizado y las herramientas utilizadas en la configuración.

En el cuarto capítulo se prueban las partes principales del prototipo, además de realizar una prueba integral del funcionamiento del mismo.

Finalmente, en capítulo cinco se realizan las conclusiones, recomendaciones y posibles mejoras futuras del proyecto en general.

ABSTRACT

The prototype's design of an intelligent bus stop with interactive interface, will provide a better information service to users, in particular by helping people with visual disability. For the development of the prototype is identified essential requirements such as: low energy consumption, self-sustaining, safety, interactive and accessible to persons considered visually impaired

In the first chapter the research is carried out of the current situation of persons with visual disabilities, the reality around the public transport, and the different technologies that currently use to facilitate their mobilization. Also presents the theoretical basis of the technology used between which are Rasberry PI Arduino, ZigBee, Xbee, and photoelectric cells.

In chapter two is the selection of components on the basis of the requirements set forth in chapter one, making comparisons between the current technologies, generating a schema of the prototype with its parties and as these interact with each other. In addition to obtain information of end products to acquire for the prototype.

In the third chapter are performed the necessary configurations of the components and assembles the prototype based on the schema defined in chapter two, spells out the code used and the tools used in the configuration.

In the fourth chapter is tested for the main parts of the prototype, in addition to carrying out a comprehensive test on the operation of the same.

Finally, in the fifth chapter are performed the conclusions, recommendations and possible future improvements of the project in general.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. Capítulo I. Fundamentos teóricos.....	5
1.1 Discapacidad Visual.....	5
1.1.1 Tipos de Discapacidad Visual	5
1.1.2 Realidad Mundial	6
1.1.3 Discapacidad visual en el Ecuador	6
1.2 Movilización de una persona no vidente.....	6
1.2.1 Técnicas de movilización.....	7
1.2.2 Herramientas de ayuda.....	7
1.2.3 Transporte público y Personas No Videntes.....	7
1.2.4 Sistemas de ayuda a no videntes implementados en el transporte público.....	9
1.2.5 Tecnología RFID.....	10
1.2.6 Sensores de Proximidad.....	12
1.2.6.1 Sensores Ultrasónicos	12
1.2.6.2 Sensores Infrarrojos.....	12
1.2.7 Sistemas de accesibilidad a la información	13
1.2.7.1 Kaptan Mobility.....	13
1.2.7.2 Ultracane.....	14
1.2.7.3 Easy Link 12 Touch.....	14
1.3 Tecnología a emplear.....	15
1.3.1 Computadora de Placa Única	15
1.3.1.1 Raspberry Pi	16
1.3.1.2 Raspbian.....	20
1.3.1.3 Lenguaje de programación Python	21
1.3.1.4 Kivy	22
1.3.1.5 Noobs (New Out Of the Box Software)	22
1.3.1.6 Especificaciones de la Plataforma	24
1.3.2 Redes WPAN (Wireless Personal Area Network)	24

1.3.3 Interfaz Inalámbrica	25
1.3.4 Estándar 802.15.4.....	25
1.3.5 ZigBee	26
1.3.5.1 Estándar ZigBee	27
1.3.5.2 Características	27
1.3.5.3 Protocolos	27
1.3.5.4 Topologías de red	29
1.3.6 XBEE	30
1.3.6.1 Características	31
1.3.6.2 Consideraciones del montaje.....	31
1.3.6.3 Aplicaciones.....	31
1.3.6.4 Modos AT y API	32
1.3.6.5 Redes XBee.....	33
1.3.7 Arduino	33
1.3.7.1 Características y Funcionamiento.....	34
1.3.7.2 Aplicaciones.....	36
1.3.8 Energía Solar	36
1.3.8.1 Efecto Fotovoltaico.....	37
1.3.8.2 Célula o Celda Fotovoltaica	37
1.3.8.3 Módulo fotovoltaico	39
1.3.9 Sistemas Fotovoltaicos	39
1.3.9.1 Paneles Solares	40
1.3.9.2 Regulador de carga.....	41
1.3.9.3 Batería	42
1.3.10 Ventajas del uso de la energía solar.....	42
2. Capítulo II. Diseño del prototipo	44
2.1 Interfaz.....	45
2.1.1 Unidad de procesamiento	45
2.1.2 Dispositivos periféricos	51
2.1.3 Interfaz especial para usuarios no videntes.....	52
2.1.4 Interfaz normal de usuario	55

2.2 Base de datos	57
2.3 Sistema de comunicación	57
2.4 Diseño red Multipunto	63
2.5 Sistema de alimentación	65
2.6 Esquema del prototipo	80
3. Capítulo III. Realización	83
3.1 Implementación fuente de energía	83
3.2 Implementación Raspberry Pi e Interfaz.....	89
3.2.1 Configuración Raspberry Pi	89
3.2.2 Configuración Kivy	92
3.2.3 Implementación interfaz de usuario	94
3.3 Configuración pulsador externo.....	97
3.4 Instalación Base de Datos	99
3.4.1 Configuración base de datos	100
3.5 Implementación sistema de comunicación	102
3.6 Simulación cobertura con Radio Mobile	102
3.7 Configuración comunicación Xbee	105
3.8 Configuración del Aplicativo en Raspberry	108
3.9 Configuración Arduino	109
3.10 Pruebas de conectividad	110
4. Capítulo IV. Resultados.....	111
4.1 Interfaz.....	111
4.2 Pantalla principal.....	118
4.2.1 Información	119
4.2.2 Mapa.....	119
4.2.3 Rutas	121
4.2.4 Turismo.....	122
4.3 Sistema de comunicación.....	123

5. Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones.....	126
5.1 Conclusiones	126
5.2 Recomendaciones.....	127
REFERENCIAS.....	129
ANEXOS	136

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Sistema RFID de orientación para ciegos.....	11
<i>Figura 2.</i> Funcionamiento del sistema RFID.....	11
<i>Figura 3.</i> Kaptén Mobility.....	13
<i>Figura 4.</i> Ultracane.....	14
<i>Figura 5.</i> EasyLink 12 Touch.....	14
<i>Figura 6.</i> Logo Raspberry Pi.....	16
<i>Figura 7.</i> EasyLink 12 Touch.....	23
<i>Figura 8.</i> Protocolos de ZigBee.....	28
<i>Figura 9.</i> Xbee.....	30
<i>Figura 10.</i> Instalación solar fotovoltaica.....	39
<i>Figura 11.</i> Datos previos para la instalación.....	40
<i>Figura 12.</i> Procedimiento de Cálculo para la instalación.....	40
<i>Figura 13.</i> Raspberry Pi 2 Model B.....	50
<i>Figura 14.</i> Dispositivos periféricos.....	51
<i>Figura 15.</i> Área de barrido ergonómico.....	53
<i>Figura 16.</i> Rótulo con información en Sistema Braille y caracteres visuales....	54
<i>Figura 17.</i> Esquema final de la interfaz para personas no videntes.....	54
<i>Figura 18.</i> Interfaz de Usuario.....	56
<i>Figura 19.</i> XBee® 802.15.4.....	60
<i>Figura 20.</i> Arduino.....	61
<i>Figura 21.</i> Xbee Shield.....	62
<i>Figura 22.</i> Xbee Explorer.....	62
<i>Figura 23.</i> Mapa de la Ubicación del Prototipo.....	68
<i>Figura 24.</i> Panel Solar.....	77
<i>Figura 25.</i> Regulador de Carga.....	78
<i>Figura 26.</i> Regulador de Voltaje.....	79
<i>Figura 27.</i> Esquema del prototipo.....	80

<i>Figura 28.</i> Esquema general de la fuente de energía	84
<i>Figura 29.</i> Esquema del funcionamiento del controlador de carga.....	85
<i>Figura 30.</i> Esquema del microchip	86
<i>Figura 31.</i> Adaptación del conector original del panel.....	86
<i>Figura 32.</i> Proceso de Adaptación de cables del conector	87
original del panel.	87
<i>Figura 33.</i> Recubrimiento de cables.....	87
<i>Figura 34.</i> Soldadura del capacitor en la placa	88
<i>Figura 35.</i> Esquema de indicadores externos de carga	88
<i>Figura 36.</i> Esquema final del sistema de alimentación	89
<i>Figura 37.</i> Página web de descarga de la herramienta Noobs.....	90
<i>Figura 38.</i> Uso del software SD Formatter	90
<i>Figura 39.</i> Entorno herramienta Noobs	91
<i>Figura 40.</i> Instalación sistema operativo Raspbian	91
<i>Figura 41.</i> Esquema del prototipo	92
<i>Figura 42.</i> Configuración Kivy	93
<i>Figura 43.</i> Resultado gráfico de la aplicación de librerías	96
<i>Figura 44.</i> Esquema de configuración del pulsador externo	97
<i>Figura 45.</i> Implantación física de la interfaz	98
<i>Figura 46.</i> Ingreso al dispositivo Raspberry desde el navegador	100
<i>Figura 47.</i> Panel phpMyAdmin	101
<i>Figura 48.</i> Esquema del sistema de comunicación	102
<i>Figura 49.</i> Mapa de ubicación de la parada de bus.....	103
<i>Figura 50.</i> Configuración de parámetros de la red	103
<i>Figura 51.</i> Parámetros de la antena	104
<i>Figura 52.</i> Área de cobertura.....	104
<i>Figura 53.</i> Software X-CTU	106
<i>Figura 54.</i> Ingreso de parámetros	107
<i>Figura 55.</i> Selección del PAN ID	107

<i>Figura 56.</i> Nodo AT	109
<i>Figura 57.</i> Esquema final implementado del sistema de comunicación	110
<i>Figura 58.</i> Prototipo final ensamblado	111
<i>Figura 59.</i> Resultado final de la interfaz interactiva	112
<i>Figura 60.</i> Foto de la prueba del uso de la interfaz interactiva	113
<i>Figura 61.</i> Resultado de la consola al probar la interfaz interactiva	113
<i>Figura 62.</i> Foto de la prueba del uso del pulsador hora	114
<i>Figura 63.</i> Resultado de la consola al probar el pulsador hora	114
<i>Figura 64.</i> Foto de la prueba del uso del pulsador rutas	115
<i>Figura 65.</i> Resultado de la consola al probar el pulsador rutas.....	115
<i>Figura 66.</i> Foto de la prueba del uso del pulsador paradas	116
<i>Figura 67.</i> Resultado de la consola al probar el pulsador paradas.....	116
<i>Figura 68.</i> Foto de la prueba del uso del pulsador próximo bus.....	117
<i>Figura 69.</i> Resultado de la consola al probar el pulsador próximo bus	117
<i>Figura 70.</i> Pruebas del prototipo	118
<i>Figura 71.</i> Resultado final de la interfaz interactiva	118
<i>Figura 72.</i> Pruebas botón información	119
<i>Figura 73.</i> Pruebas botón mapas	120
<i>Figura 74.</i> Selección de la ruta, prueba 1.....	120
<i>Figura 75.</i> Selección de la ruta, prueba 2.....	120
<i>Figura 77.</i> Información sobre las rutas de los alimentadores	121
<i>Figura 78.</i> Información turística de la ciudad de Quito	122
<i>Figura 79.</i> Resultado final del botón turismo	122
<i>Figura 80.</i> Pruebas del sistema de comunicación	123
<i>Figura 81.</i> Pruebas de conectividad del nodo XBee.....	123
<i>Figura 82.</i> Nodo final	124

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i> Características Modelo Raspberry Pi A.....	17
<i>Tabla 2.</i> Características Modelo Raspberry Pi A+.....	18
<i>Tabla 3.</i> Características Modelo Raspberry Pi B.....	18
<i>Tabla 4.</i> Características Modelo Raspberry Pi B+.....	19
<i>Tabla 5.</i> Características Modelo Raspberry Pi 2 B.....	19
<i>Tabla 6.</i> Tabla comparativa de tecnologías inalámbricas.....	24
<i>Tabla 7.</i> Tabla comparativa de dispositivos SBC	45
<i>Tabla 8.</i> Comparativa técnica BeagleBone vs Raspberry PI.....	46
<i>Tabla 9.</i> Comparativa técnica Odroid vs Raspberry PI.....	47
<i>Tabla 10.</i> Características del Modelo de Raspberry Seleccionado	50
<i>Tabla 11.</i> Comparación de Sensores	58
<i>Tabla 12.</i> Características de Dispositivos de Transmisión de Datos Inalámbricos	58
<i>Tabla 13.</i> Características dispositivo XBee 802.15.4.	59
<i>Tabla 14.</i> Características del Microcontrolador ATmega328P.	60
<i>Tabla 15.</i> Consumo Corriente Continua ECC.....	65
<i>Tabla 16.</i> Datos Generales de la Ubicación del prototipo	68
<i>Tabla 17.</i> Cálculos β	70
<i>Tabla 19.</i> Irradiación Global	72
<i>Tabla 20.</i> Precios de los Dispositivos.....	81

INTRODUCCIÓN

La Ecovía es un sistema de transporte público de la ciudad de Quito que forma parte del Metrobus-Q, sus 13 rutas sirven al sistema troncal mediante los alimentadores, los cuales se identifican por su color y número. Al momento de usar el transporte público es importante conocer la información sobre el recorrido, frecuencia y horario de operación de los alimentadores, tal como lo exige la política de transporte de la EPMT (Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros), para que cualquier usuario acceda de manera sencilla.

Actualmente, el transporte público de la Ecovía no tiene las facilidades necesarias para brindar información a las personas con discapacidad visual. En Quito, el INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) da a conocer que existen aproximadamente 20 mil personas con discapacidad visual (Instituto Nacional de Estadística y Censos, s.f.), que según la Organización Mundial de la Salud es la pérdida total o parcial del sentido de la vista (Organización Mundial de la Salud s.f.). Las personas no videntes reciben un entrenamiento en centros especializados como el FENCE (Federación Nacional de Ciegos del Ecuador) para movilizarse por sí solos, en algunos casos son acompañados por una persona de confianza para trasladarse de un lugar a otro, tienen el riesgo de que personas mal intencionadas no les ayuden y no pueden usar el transporte público de manera autónoma, por lo que exigen un mejor servicio.

Para solventar estos problemas de transporte público y mejorar la movilidad de las personas no videntes, existen ya sistemas implementados en algunos países como:

- Costa Rica, que informan las paradas que se aproximan mediante el uso del software JAWS para Windows, programa parlante que traduce en voz sonora todo el texto que se encuentra en la pantalla.

- Argentina, que de manera novedosa usa un sistema en el cuál hay paradas para esperar el bus provistas de sensores que avisan por señales de audio cuál es la línea del micro que se aproxima (Cuándo Pasa?, s.f.).
- Colombia, que con la elaboración de unas placas permiten a personas ciegas leer en braille la información (El Tiempo, s.f.).

Ecuador, al igual que estos países los cuales ya cuentan con alternativas para movilidad de personas no videntes, se encuentra en vías de desarrollo y requiere implementar de manera novedosa e innovadora una solución para solventar las necesidades de la población que sufre discapacidad visual y que ofrezca información oportuna, en tiempo real y accesible para los usuario de la Ecovía.

Alcance

Implementar un prototipo de parada de bus interactiva que brinde a los usuarios información útil y en tiempo real del transporte público.

Este prototipo se diseñará a partir de los siguientes requerimientos:

- Bajo consumo energético.
- Interfaz interactiva.
- Accesible para personas con discapacidad visual.
- Posibilidad de gestión centralizada futura.

La herramienta busca facilitar y mejorar el uso del transporte público. Mediante una interfaz interactiva que será útil y de fácil acceso para los usuarios, brindando los siguientes servicios:

- Proporcionar información sobre las rutas, tiempo de recorrido, nombre de las paradas y hora de operación.

- Avisar cuando las unidades se aproximan a las paradas.
- Alertar de eventos fortuitos en la ruta.

El prototipo se implementará en un entorno simulado de las paradas de los alimentadores de la Ecovía de la ciudad de Quito.

Justificación

En Quito, el órgano regulador de transporte EPMTTP dentro de su visión señala que va a innovar y a usar tecnología de primer nivel en el sistema de transporte urbano (Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros, s.f.). Adicionalmente, el SITM (Sistema Integrado de Transporte Masivo, s.f.), y la Constitución de la República del Ecuador en el artículo 47, indican la equiparación de oportunidades para las personas con discapacidad y su integración social (Asamblea Nacional Constituyente, s.f.), por lo que, el sistema de transporte público debe contar con un buen servicio de información que sea innovador, eficiente y accesible para todos los ciudadanos de manera adecuada.

Actualmente, para identificar a los alimentadores de la Ecovía se realiza por el color y en las estaciones se indica como máximo, el nombre de cada ruta. Este tipo de formas implementadas para brindar información no son adecuadas para los usuarios y no toman en cuenta a personas con discapacidad visual, por lo que es un servicio de transporte público deficiente, ya que carece de innovación tecnológica y no garantiza que todas las personas lo puedan usar.

Debido a que el gobierno debe integrar dentro de su política de movilidad la inclusión de medidas eficientes para que los discapacitados puedan acceder al servicio de transporte público con mayor facilidad, se tiene la necesidad de investigar e implementar una solución que permitan cumplir con esta tarea y suplir las deficiencias que han existido anteriormente.

Objetivos

General

Implementar un prototipo de interfaz interactiva de parada de buses de transporte público orientada a personas con discapacidad visual.

Específicos

- Diseñar una interfaz interactiva para brindar información a los usuarios, utilizando una alternativa tecnológica orientada a personas con discapacidad visual.
- Implementar un prototipo de parada de buses de transporte público que interactúe con los usuarios de las paradas.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este capítulo, se presenta información sobre la discapacidad visual, se describe el funcionamiento de sistemas, dispositivos y tecnología ya implementada para ayuda a personas no videntes, finalmente se muestran los principales conceptos teóricos y características de la tecnología a emplear para la realización de la implementación del proyecto.

1.1 Discapacidad Visual

“La discapacidad visual consiste en la afectación, en mayor o menor grado, o en la carencia de la visión. En sí misma no constituye una enfermedad, al contrario, es la consecuencia de un variado tipo de enfermedades. La merma o la pérdida de la visión, tienen a su vez, consecuencias sobre el desarrollo ya que es necesario aportar, por medios alternativos, las informaciones que no se pueden obtener a través del sentido de la vista” (Castejón Costa & Navas Martínez, 2009, p.277).

1.1.1 Tipos de Discapacidad Visual

La función visual se subdivide en cuatro niveles:

- Visión normal.
- Discapacidad visual moderada.
- Discapacidad visual grave.
- Ceguera

La discapacidad visual moderada y la discapacidad visual grave se reagrupan comúnmente bajo el término de baja visión; la baja visión y la ceguera

representan conjuntamente el total de casos de discapacidad visual (Organización Mundial de la Salud, s.f.).

La discapacidad visual puede limitar y reducir la capacidad de las personas para realizar tareas cotidianas, afectando su calidad de vida.

1.1.2 Realidad Mundial

“En el mundo, según la Organización Mundial de la Salud(OMG), existen aproximadamente existen 285 millones de personas que padecen algún tipo de deficiencia visual, de los cuales 39 millones sufren de ceguera total y 246 millones presentan baja visión” (Organización Mundial de la Salud, s.f.).

1.1.3 Discapacidad visual en el Ecuador

Dependiendo de la gravedad de la pérdida de visión se registran varios tipos de discapacidad visual. De acuerdo a estudios realizados por el Consejo Nacional de Discapacidades (Ministerio de Salud Pública,s.f.), y el Ministerio de Salud Pública del Ecuador (Gaona, 2015), se tienen los siguientes datos:

- Hay más de 48 mil personas en todo el país con discapacidad visual.
- Más de 7 mil personas se encuentran en la provincia de pichincha.
- El 32% de personas tienen un grado de discapacidad muy grave o ceguera.
- La mayoría de personas con esta discapacidad son mayores de 65 años, seguidos por la población de entre los 20 y 49 años.

1.2 Movilización de una persona no vidente.

Las personas no videntes, al perder parcial o totalmente el sentido de la vista tienen muchas dificultades al momento de moverse y deben aprender algunas habilidades y técnicas que le permitan saber cómo desplazarse con seguridad.

1.2.1 Técnicas de movilización.

Existen algunas técnicas de movilidad, entre las más importantes se pueden destacar las siguientes (Soler, 2004):

- Técnicas de protección personal.
- Técnica de rastreo.
- Técnica para recoger objetos.
- Técnica de guía vidente.
- Auxiliares de movilidad.

Las diferentes técnicas de movilidad tienen como objetivo proveer la información a la persona no vidente para que aproveche y desarrolle los demás sentidos que posee, según la necesidad y la capacidad, cada persona va aprendiendo con el transcurso del tiempo tareas más complicadas como cruzar las calles y utilizar el transporte público.

1.2.2 Herramientas de ayuda

En el mercado existen sistemas y herramientas de ayuda para no videntes enfocados en la transmisión de información y asistencia en la movilidad como el perro guía, el bastón blanco, la retina artificial, las gafas con GPS (Sistema de Posicionamiento Global), entre otros. Estos sistemas buscan dar información inmediata sobre el entorno para que las personas con esta dificultad puedan orientarse mejor.

1.2.3 Transporte público y Personas No Videntes.

La movilización en transporte público representa una de las necesidades básicas de la población, y en especial, para las personas con discapacidad visual. Hay un alto porcentaje de personas no videntes que usan el transporte público para trasladarse de un lugar a otro, y la mayoría no van acompañadas

de una persona que les pueda indicar el lugar donde se encuentra una unidad de bus o una próxima parada.

No existe ningún dispositivo o mecanismo dentro del servicio de transporte público de la ciudad de Quito que ayude a personas con discapacidad visual a guiarse durante su viaje o a obtener información de las rutas de transporte, generando algunos problemas en la movilización por falta de señalización especial.

Los siguientes son algunos de los problemas que tiene el transporte público para las personas con discapacidad visual según el CONADIS (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades):

- “Las autoridades competentes no son conscientes sobre la importancia que, para las personas con discapacidad, tiene el acceso al transporte público.
- Las necesidades de las personas con discapacidad no son tomadas en cuenta en la planificación y funcionamiento de terminales, estaciones de transferencia y andenes de los diferentes modos y medios de transporte.
- Incentivos económicos y créditos preferenciales, para facilitar la importación de transporte adaptado para personas con discapacidad, es inexistente.
- La oferta de componentes tecnológicos para adaptar las unidades de transporte, aéreo, terrestre y marítimo, presenta deficiencias.
- Carencia de medidas que prioricen la seguridad y la protección en la movilidad de personas con discapacidad.
- No se ha socializado la normativa que regula el tipo de bus o transporte masivo para personas con discapacidad y movilidad reducida.” (Consejo Nacional de la Igualdad de Discapacidades, 2013, p.80)

Estas son algunas razones por las que se necesita un sistema o dispositivo electrónico que esté instalado en las unidades de transporte público, e informe

sobre las siguientes paradas, y otro instalado en la parada de bus que sea capaz de informar los buses próximos y las rutas. Esto podría ayudar de manera significativa a las personas con discapacidad visual a movilizarse de un lugar a otro en la ciudad.

1.2.4 Sistemas de ayuda a no videntes implementados en el transporte público.

A continuación se da a conocer algunos sistemas de ayuda a personas no videntes que ya han sido implementados en algunos países.

- **Smart Public Transport:** Es una iniciativa implementada en algunas ciudades de Rumania, cuyo objetivo es crear una red de transporte público inteligente que permita orientar a las personas no videntes cuando lo necesiten. Esta iniciativa requiere que dispositivos iBeacon sean instalados en a menos 500 autobuses y lograr una red para que el program funcione. Utilizan hardware Bluetooth Low Energy y crearon una aplicación que almacena datos en la nube para que los iBeacon se comuniquen interactivamente con los dispositivos móviles basados en iOS y Android.
- **Moovit:** Se encuentra en funcionamiento la aplicación para gestionar desplazamientos en transporte público Moovit, que funciona para dispositivos Android e iOS, con funciones de accesibilidad destinadas a ayudar a los usuarios invidentes a viajar en transporte de una manera más sencilla. Esta aplicación integra las herramientas de VoiceOver de iOS y TalkBack de Android para que las personas no videntes tenga una mejor accesibilidad.
- **Cuándo Pasa? :** Es un sistema informático que ya funciona en algunas ciudades de Argentina, y permite a los usuarios del transporte público saber información sobre los buses que circulan por las paradas para lo

cual es necesario que cada unidad disponga de GPS. El dispositivo permite acceder a esa información a través de un mensaje de texto o de internet e incorpora servicio para la gente no vidente a quienes se les informa por medio de un parlante instalado en la parada cuando las unidades de transporte están llegando. El servicio funciona constantemente y no requiere la intervención de la persona, pero si llegan a la vez llegan tres buses de diferentes líneas, sólo anuncia el primero y la persona no vidente no podrá informarse de la misma manera por que ruta circula los unidades que pasan por esa parada.

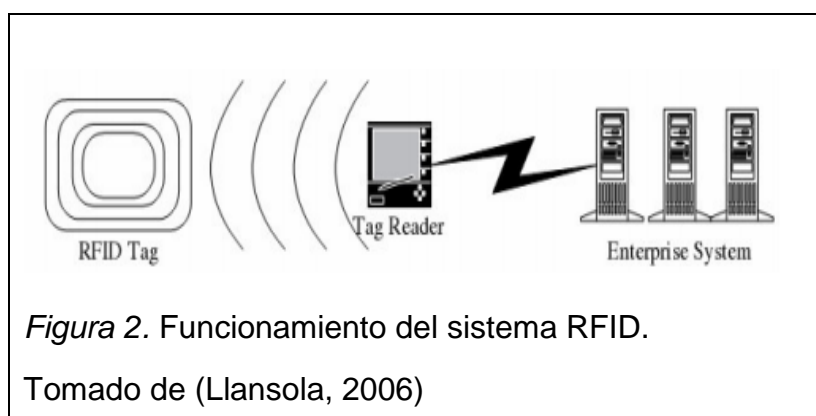
Estas son algunas de las tecnologías ya implementadas para ayudar a las personas no videntes a que puedan movilizarse de mejor manera al usar el transporte público, sin embargo la mayoría de modelos necesitan un dispositivo móvil para que tengan acceso al servicio y tecnología wi-fi para que las personas puedan conectarse y conocer la información del transporte público. Para realizar este modelo se tomó en cuenta las necesidades de los no videntes y la manera más fácil de acceder al servicio sin necesidad de internet o algún otro dispositivo tecnológico, lo cual genera un ahorro económico sin dejar de lado la calidad del sistema y cumpliendo con los objetivos principales.

1.2.5 Tecnología RFID

Para ayudar a las personas ciegas a movilizarse de una mejor manera, ya existen sistemas que están utilizando tecnología RFID “Identificación por radiofrecuencia” (Martin, 2011).



Esta tecnología utiliza ondas de radio para identificar automáticamente a personas y objetos almacenando un número de serie que identifique a una persona u objeto en una etiqueta RFID, compuesta por un microchip conectado a una antena la cual permite que el chip transmita información de identificación a un lector (Llansola, 2006).



1.2.6 Sensores de Proximidad

Los sensores de proximidad son los más comunes y asequibles para la solución de detección de objetos que no se pueden tocar, comúnmente el más usado es el tipo inductivo, el cual genera un campo electromagnético, que detecta los objetos de metal que pasan cerca (Autonics,s.f.).

Existen dos formas importantes en que un objeto actúa sobre un sensor, con contacto, que son aquellos en los que el objeto toca físicamente al sensor y cierra o abre circuitos eléctricos y sin contacto, los cuales detectan la presencia de un objeto sin haber un contacto físico entre el objeto y el sensor (Vilas, 2007).

1.2.6.1 Sensores Ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos son dispositivos autónomos de estado sólido diseñados para detección sin contacto de objetos sólidos y líquidos a distancias que varían desde pocos centímetros a varios metros (Allen-Bradley, s.f.). Dentro de las ventajas del uso de estos sensores se puede destacar el precio, disponibilidad en rangos y estilos de detección de objetos independientemente del color y material y que son insensibles a la suciedad y el polvo (Instrumentación virtual, s.f.).

1.2.6.2 Sensores Infrarrojos

Estos sensores usan infrarrojos para medir distancias, son los más sencillos y habituales, se caracterizan por detectar de una mejor manera los movimientos que atraviesan el campo de visión, y al igual que otros sensores, existen de corto y de largo alcance.

1.2.7 Sistemas de accesibilidad a la información

Existen algunas soluciones ya desarrolladas enfocadas para ayudar en la movilización a las personas con discapacidad visual, todas son potentes y cada una tienen características únicas para resolver varios problemas, aunque algunas son difíciles de acceder debido a su precio, entre las más conocidas se detallan las siguientes:

1.2.7.1 Kaptan Mobility

Básicamente el Kaptan Mobility, desarrollado por la empresa Kapsys, es un navegador GPS enfocado para las personas que sufren de discapacidad visual. Dentro de las características importantes de esta herramienta se puede destacar su navegación inteligente, la capacidad de crear rutas, la fijación de destino por voz y reproducción de mp3 (Kapsys, s.f.).



Figura 3. Kaptan Mobility

Tomado de (Assistive Technology Data, s.f.)

1.2.7.2 Ultracane

Este dispositivo, está integrado para personas con discapacidad visual, brinda ayuda para que puedan desplazarse de manera más confiable en su entorno ya que posee dos emisores de ultrasonido orientados para detectar obstáculos, uno vibra si detecta un obstáculo alto y el otro cuando detecta elementos bajos (Tenyus, s.f.).



1.2.7.3 Easy Link 12 Touch

Este dispositivo permite que se pueda introducir el código braille a cualquier tecnología móvil como celulares, ya que usa un lector de pantalla, pudiendo acceder a todas las aplicaciones del móvil, para que la persona no vidente sea capaz de leer y escribir a través de esta herramienta en braille. Es un dispositivo autónomo, que permite introducir información importante como direcciones, para transferirlas posteriormente a un dispositivo móvil (Irie AT, s.f.).



1.3 Tecnología a emplear

La implementación de este prototipo se centra en las redes WPAN, se usa la tecnología ZigBee la cual se basa en el estándar IEEE 802.15.4, debido a su bajo consumo de energía, bajo costo y la emisión de datos de forma segura. Adicionalmente, se prefiere ZigBee ya que Bluetooth tiene un alcance mucho menor y por otro lado WI-FI consume más energía y el ancho de banda es demasiado para las transmisiones de datos requeridas en este proyecto.

Se emplea el módulo de transmisión y recepción de datos Xbee, el cual está diseñado para operar dentro del protocolo ZigBee, su configuración es sencilla, requiere un mínimo de energía y opera en la frecuencia de 2.4 GHz ISM. Las configuraciones realizadas en el módulo Xbee se pueden modificar y visualizar mediante un software libre y con interfaz gráfica.

Considerando las especificaciones mencionadas, en la parte de hardware se decide usar la plataforma Arduino UNO y una mini computadora conocida como Raspberry Pi que trabaja con un sistema operativo propio conocido como Raspbian y es compatible con Xbee. Además, se usará un panel solar para captar la energía del sol transformándola en energía eléctrica que servirá para la carga respectiva de una batería que dará alimentación al Raspberry Pi y al Arduino UNO, haciendo de este prototipo un sistema autónomo.

1.3.1 Computadora de Placa Única

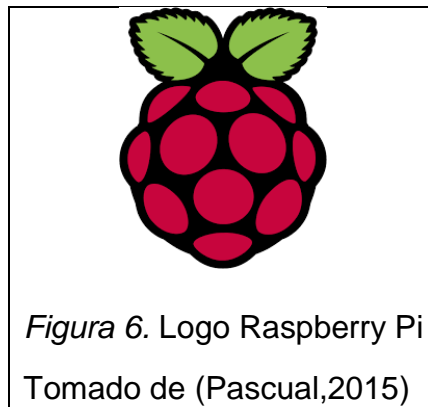
Single Board Computer (SBC), en español computadora de placa única, es una placa económica y pequeña de circuito impreso que tiene un procesador, memoria, entradas y salidas, entre otros componentes de un ordenador, que se la usa para diversas aplicaciones, entre ellas para aprender programación y navegar en internet. Estas placas pueden realizar la mayoría de cosas que hacen las computadoras, aunque tienen sus respectivas limitaciones respecto al hardware y software.

Ejemplos de placas SBC:

- BeagleBone Black.- soporta Ubuntu y funciona como un accesorio más de una computadora tradicional si el usuario así lo desea.
- Parallella.- Tiene un buen procesador que cuenta con núcleos descentralizados y sirve para aplicaciones pesadas.
- PcDuino.- Placa basada en Arduino, es de las placas más grandes, alcanzando los 12 cm de largo por 6 cm de ancho.
- Pandaboard.- Tiene incorporada una antena lo que le permite tener conexión wireless.

Hay muchos fabricantes que ofrecen varias alternativas de placas que varían en costos, hardware incorporado, marca, así como las conexiones para ampliar posibilidades con otro tipo de extras. Sin embargo, la placa Raspberry Pi es la más popular debido a todas sus características y ya cuenta con algunas versiones y una gran comunidad.

1.3.1.1 Raspberry Pi



El Raspberry Pi es un SBC (Ordenador de Placa Única) económico, desarrollado por la Fundación Raspberry Pi en Reino Unido para incentivar a los niños a aprender a programar. En la actualidad Raspberry Pi se ha establecido como una plataforma de desarrollo Linux bastante utilizada en especial con la versión basada en Debian llamada Raspbian, que fue creada y adaptada específicamente para Raspberry, entre los

demás sistemas operativos que soporta el microcomputador se encuentran Unix, Aros, RISC OS, Windows, entre otros (Culturación, s.f.).

Para trabajar Raspberry Pi usa como medio de almacenamiento una tarjeta de memoria SD o micro SD en donde se descargará el sistema operativo, un cable de alimentación de 5V, las placas más modernas cuentan con conexiones GPIO para conectar todo tipo de interfaces, puertos de salida HDMI y RCA, 4 puertos USB 2.0 para conectar teclado y mouse, y tienen un puerto Ethernet para acceder al internet por cable RJ-45 (Raspberryshop, s.f.).

La posibilidad de acceder a una plataforma de una sola tarjeta madre y un software robusto permiten el uso de Raspberry Pi para numerosas aplicaciones. Este proyecto plantea el uso del dispositivo como interfaz interactiva hacia usuarios, mediante un altavoz, un touch panel, y diferentes sensores.

Modelos y Características

Tabla 1. Características Modelo Raspberry Pi A

Modelo de Raspberry Pi	Raspberry Pi A		
SoC (Chip)	Broadcom BCM 2835	Conectores USB 2.0	1
CPU	ARM1176JZF-S a 700 MHz	Tarjetas de almacenamiento	SD
GPU	VideoCore IV a 250 Mhz	Conexión a red	No
Memoria RAM	256 MB a 400 Mhz	Interfaz periféricos (GPIO)	8
Entradas de vídeo	Cámara CSI	Tamaño	85.6 x 56.5 mm
Salidas de vídeo	HDMI 1.4, conector RCA	Peso	45 gramos
Salidas de audio	Jack de 3.5 mm (auriculares), HDMI	Consumo	1.5W/5V

Nota: Fuente: (Pascual, 2015)

Tabla 2. Características Modelo Raspberry Pi A+

Modelo de Raspberry Pi	Raspberry Pi A+		
SoC (Chip)	Broadcom BCM 2835	Conectores USB 2.0	1
CPU	ARM1176JZF-S a 700 MHz	Tarjetas de almacenamiento	microSD
GPU	VideoCore IV a 250 Mhz	Conexión a red	No
Memoria RAM	256 MB a 400 Mhz	Interfaz periféricos (GPIO)	17
Entradas de vídeo	Cámara CSI	Tamaño	65 x 56.5 mm
Salidas de vídeo	HDMI 1.4, conector TRRS	Peso	23 gramos
Salidas de audio	Jack de 3.5 mm (auriculares), HDMI	Consumo	1W/5V

Nota: Fuente: (Pascual, 2015)

Tabla 3 Características Modelo Raspberry Pi B

Modelo de Raspberry Pi	Raspberry Pi B		
SoC (Chip)	Broadcom BCM 2835	Conectores USB 2.0	2
CPU	ARM1176JZF-S a 700 MHz	Tarjetas de almacenamiento	SD
GPU	VideoCore IV a 250 Mhz	Conexión a red	Ethernet 10/100 Mbit/sg
Memoria RAM	512 MB a 400 Mhz	Interfaz periféricos (GPIO)	8
Entradas de vídeo	Cámara CSI	Tamaño	85.6 x 56.5 mm
Salidas de vídeo	HDMI 1.4, conector TRRS	Peso	45 gramos
Salidas de audio	Jack de 3.5 mm (auriculares), HDMI	Consumo	3.5W/5V

Nota: Fuente: (Pascual, 2015)

Tabla 4. Características Modelo Raspberry Pi B+

Modelo de Raspberry Pi	Raspberry Pi B+		
SoC (Chip)	Broadcom BCM 2835	Conectores USB 2.0	4
CPU	ARM1176JZF-S a 700 Mhz	Tarjetas de almacenamiento	microSD
GPU	VideoCore IV a 250 Mhz	Conexión a red	Ethernet 10/100 Mbit/sg
Memoria RAM	512 MB a 400 Mhz	Interfaz periféricos (GPIO)	17
Entradas de vídeo	Cámara CSI	Tamaño	85.6 x 56.5 mm
Salidas de vídeo	HDMI 1.4, conector TRRS	Peso	45 gramos
Salidas de audio	Jack de 3.5 mm (auriculares), HDMI	Consumo	3W/5V

Nota: Fuente: (Pascual, 2015)

Tabla 5. Características Modelo Raspberry Pi 2 B

Modelo de Raspberry Pi	Raspberry Pi 2 B		
SoC (Chip)	Broadcom BCM 2836	Conectores USB 2.0	4
CPU	ARM Cortex-A7 cuatro núcleos a 900 Mhz	Tarjetas de almacenamiento	microSD
GPU	VideoCore IV a 250 Mhz	Conexión a red	Ethernet 10/100 Mbit/sg
Memoria RAM	1 GB a 450 Mhz	Interfaz periféricos (GPIO)	17
Entradas de vídeo	Cámara CSI	Tamaño	85.6 x 56.5 mm
Salidas de vídeo	HDMI 1.4, conector TRRS	Peso	45 gramos
Salidas de audio	Jack de 3.5 mm (auriculares), HDMI	Consumo	5V

Nota: Fuente: (Pascual, 2015)

GPIO (Entrada/Salida de Propósito General)

El puerto GPIO de Raspberry Pi tiene varios pines que se pueden usar como entradas o salidas según el usuario lo requiera y dependiendo el uso del dispositivo. Los pines GPIO son de tipo “unbuffered” es decir no tienen ninguna protección de circuitería, por lo que hay que ir con cuidado a la hora de conectar componentes para evitar daños en la placa.

Los esquemas GPIO son diferentes dependiendo del modelo de Raspberry, tal como se muestra en el Anexo 1. Los pines de GPIO tienen diferentes funciones:

- “Pines de alimentación: como los pines de 3v3, 5v y tierra que sirven como fuente de alimentación para el circuito, aunque también se puede usar fuentes de alimentación externas.
- GPIO normales: son pines configurables que pueden enviar o recibir datos, se configuran dependiendo lo que el usuario quiera.
- GPIO especiales: son pines destinados a una interfaz UART, con conexiones TXD y RXD, son útiles para comunicaciones en serie.” (PE, 2015)

1.3.1.2 Raspbian

Raspbian es considerado como el sistema operativo estándar del Raspberry Pi, es gratuito, libre y fue creado por un grupo de desarrolladores, está basado en Debian y adaptado específicamente para Raspberry Pi, se lo puede descargar de forma gratuita desde su página.

La nueva versión de Raspbian está basada en la versión “Jessie” de Debian que tiene como entorno de escritorio a OpenBox, un gestor de ventanas, y aun que no es el único sistema operativo para Raspberry Pi, si es el más utilizado por los desarrolladores (Raspbian, s.f.).

1.3.1.3 Lenguaje de programación Python

Python es un lenguaje de programación interpretado creado a finales de los años ochenta por el europeo, ahora miembro de Google, Guido van Rossum y administrado por la Python Software Foundation. Gracias a sus características es un lenguaje muy conocido y usado actualmente, ideal para scripting y desarrollo rápido de aplicaciones sobre la mayoría de las plataformas, por estas razones es el lenguaje recomendado por los fundadores del Raspberry Pi. “Los programas en Python en su mayoría son más cortos que sus programas equivalente en C, C++ o Java ya que los tipos de datos de alto nivel permiten expresar operaciones complejas en una sola instrucción, la agrupación de instrucciones se hace por sangría en vez de llaves de apertura y cierre y no es necesario declarar variables ni argumentos” (Python Software Foundation, s.f.).

Características:

- “Interpretado: Es decir que nuestro programa se ejecutará utilizando un programa llamado intérprete y no es necesario compilar el código fuente antes de su ejecución ni enlazar lo que ofrece rapidez en el desarrollo.
- Tipado: En su programación no se pueden combinar variables de distintos tipos.
- Simple: Python es un lenguaje muy simple, por lo que es muy fácil aprender a programarlo.
- Open Source: Es gratuito, ha sido modificado para que sea multiplataforma, es decir que el intérprete que hace funcionar el código está disponible para Linux, Windows, Macintosh, entre otras lo que hace que el programa corra sin mayores modificaciones en las distintas plataformas que existen en el mercado.
- Lenguaje Orientado a Objetos: Es un lenguaje que permite a los usuarios manejar estructuras de datos llamadas objetos que

combinan datos y funcionalidades para construir y ejecutar programas.

- **Grandes Librerías:** Python tiene varias librerías, tipos de datos y funciones incorporadas en el propio lenguaje, que ayudan a realizar varias tareas comunes sin necesidad de programarlas desde cero.
- **Sintaxis clara:** Python tiene como filosofía tener una sintaxis fácil de entender, limpia, sencilla y que muestre un código legible.” (Alvarez, 2003)

1.3.1.4 Kivy

Kivy es una librería de interfaces gráficas usada por Python, es multiplataforma, trabaja en Windows, OS X, Linux, Android, iOS y Raspberry Pi.

Python usa esta librería porque permite hacer aplicaciones para el escritorio y dispositivos móviles con soporte multitouch (Hernandez Garcia, 2015).

1.3.1.5 Noobs (New Out Of the Box Software)

El sistema de instalación NOOBS, que en español significa “Software Nuevo Fuera de Caja”, permite la instalación en Raspberry de múltiples sistemas operativos basados o no en Linux. NOOBS nos permite seleccionar el arranque deseado, el idioma, el tipo de teclado, entre otras opciones, es sencillo y fácil de usar (GitHub, s.f.)

La última versión de NOOBS es la v1.9.0 que salió el 18 de Marzo del 2016, entre las distribuciones que podemos encontrar en esta y en algunas anteriores versiones tenemos las siguientes dos opciones, las cuales para que puedan ser descargadas se necesita de una tarjeta SD con al menos 4GB o más:

- NOOBS Offline and Network Install: Es la opción más pesada, aunque usa menos internet para completar su instalación
- NOOBS LITE Network Install Only: Es la opción más ligera, pero usa Internet durante todo el proceso de instalación

NOOBS permite instalar diferentes sistemas operativos como Raspbian, Pidora, OpenELEC, Arch Linux, en un solo lugar y de manera sencilla. Adicionalmente, NOOBS permanece como una herramienta residente y se la puede activar en el arranque del dispositivo, permitiendo alternar el uso de los sistemas operativos sin realizar cambios drásticos en la memoria SD.

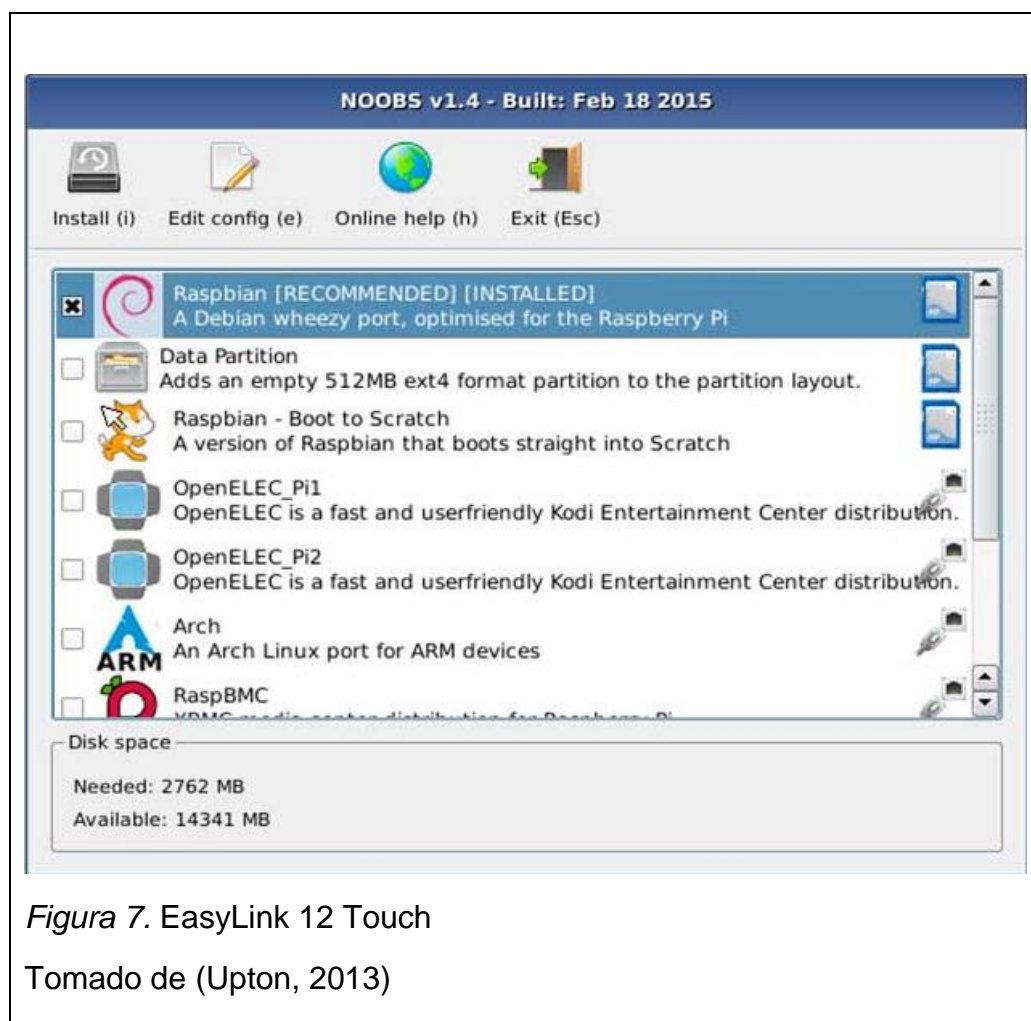


Figura 7. EasyLink 12 Touch

Tomado de (Upton, 2013)

1.3.1.6 Especificaciones de la Plataforma

La parte central del dispositivo está en un chip Broadcom BCM2836, con un procesador Quad-core ARM Cortex-A7 de un solo núcleo de 900 MHz y 1024 MB de memoria. Existen versiones antiguas las cuales vienen con menos memoria, así como una versión más compacta Raspberry PI Zero la cual es más barata pero no tiene las interfaces necesarias para el proyecto.

Soporta varios sistemas operativos pero el oficial es Raspbian el cual es una distribución modificada de Debian GNU/Linux, la ventaja es que se puede instalar la mayoría de paquetes de Debian. El dispositivo no tiene memoria interna por lo cual se debe utilizar un SDHC externo, particionado y utilizado para el software y los datos.

1.3.2 Redes WPAN (Wireless Personal Area Network)

Las redes WPAN fueron creadas para cubrir la necesidad de interconexión de dispositivos en forma inalámbrica de una manera rápida, fácil, eficiente y confiable, sus sistemas de comunicación se centran en un área de 10 metros alrededor de una persona o dispositivo (Valle, 2005)

Tabla 6. Tabla comparativa de tecnologías inalámbricas.

Estándar	Ancho de Banda	Consumo de potencia	Ventajas	Aplicaciones
Wi-Fi	Hasta 54Mbps	400ma transmitiendo, 20ma en reposo	Gran ancho de banda	Navegar por Internet, redes de ordenadores, transferencia de ficheros

Bluetooth	1 Mbps	40ma transmitiendo, 0.2ma en reposo	Interoperabilidad, sustituto del cable	Wireless USB, móviles, informática casera
ZigBee	250 kbps	30ma transmitiendo, 3ma en reposo	Batería de larga duración, bajo coste	Control remoto, productos dependientes de la batería, sensores , juguetería

Nota: Fuente DOMODESk

Interfaz Inalámbrica

Para que la información se mantenga actual es necesario conectar a las estaciones fijas con RPi y a las estaciones móviles con el dispositivo inalámbrico en el vehículo que se aproxima, por lo tanto el primer paso fundamental es lograr la interconexión inalámbrica de estos dispositivos.

Por esta razón se usa tecnología inalámbrica estandarizada por IEEE 802.15.4 para dispositivos inalámbricos de bajo consumo energético de 45 a 50 mA al transmitir y recibir, baja transmisión de datos hasta 256 kbps, con un alcance de 100m en vista directa y 40m en interiores.

1.3.3 Estándar 802.15.4

El estándar IEEE 802.15.4 opera con tasas bajas de transmisión LR-WPAN (low-Rate Wireless Personal Area Network), donde se define las especificaciones de capas tanto a nivel físico, control y acceso al medio en

redes inalámbricas, sus principales características son (IEEE STANDARDS ASSOCIATION):

- Velocidad de transmisión hasta 250 kbps.
- Bajo costo y bajo consumo de energía hasta 50 mA.
- Son redes tipo Ad Hoc.
- Alcance hasta de 10 a 20 metros.
- Latencia por debajo de los 15ms.
- Manejo de redes en estrella y malla.

Los canales operativos del estándar son del 11 al 16 en la banda de 2.4 GHz, utiliza dispositivos FDD (Full Function Device) los cuales permiten comunicación entre pares sin jerarquía de roles.

La justificación para utilizar este tipo de la tecnología LR-WPAN está basada en la reducción de costos y en el ahorro energético, además de la característica de la información que se requiere.

1.3.4 ZigBee

Zigbee es una alianza de proveedores y fabricantes de tecnología del mundo entero. Su objetivo principal es fomentar un lenguaje Wireless global y brindar soluciones para comunicaciones inalámbricas con bajo costo, interoperabilidad, alta velocidad, confiabilidad, escalabilidad y sin limitaciones para con las aplicaciones (Electrocomponentes S.A., s.f.).

La misión de la Alianza ZigBee es desarrollar estándares para dar al consumidor máxima flexibilidad, movilidad y libertad, al conectar varios dispositivos en una sola red y teniendo control absoluto en cualquier entorno y alrededor del mundo.

1.3.4.1 Estándar ZigBee

El estándar ZigBee es un sistema de comunicación inalámbrica con varios protocolos de alto nivel, trabaja con tecnología basada en el estándar IEEE 802.15.4 y permite la comunicación entre dispositivos a una baja tasa de transmisión de datos, fácil de usar, menor consumo energético y bajo costo. (Gutiérrez, 2015).

Decidimos usar ZigBee ya que es más barato, simple, y consume menos energía que otras tecnologías como el Wi-Fi o el Bluetooth, adicionalmente, el IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) está manejando su estandarización para que cualquier fabricante pueda implementarlo y así sea compatible con otros fabricantes.

1.3.4.2 Características

El protocolo ZigBee tiene las siguientes características (Domodesk, s.f.):

- Usa bandas libres ISM (2.4 GHz y 868/915 MHz).
- Velocidad entre 20 kB/s y 250 kB/s.
- Bajo consumo de energía y optimización.
- Baja tasa en la transmisión de datos para dispositivos.
- Diferentes topologías.
- Rango de alcance de 10m a 75m.
- Bajo costo en los dispositivos, la instalación y mantenimiento.
- Las baterías duran mucho más que con otras tecnologías.

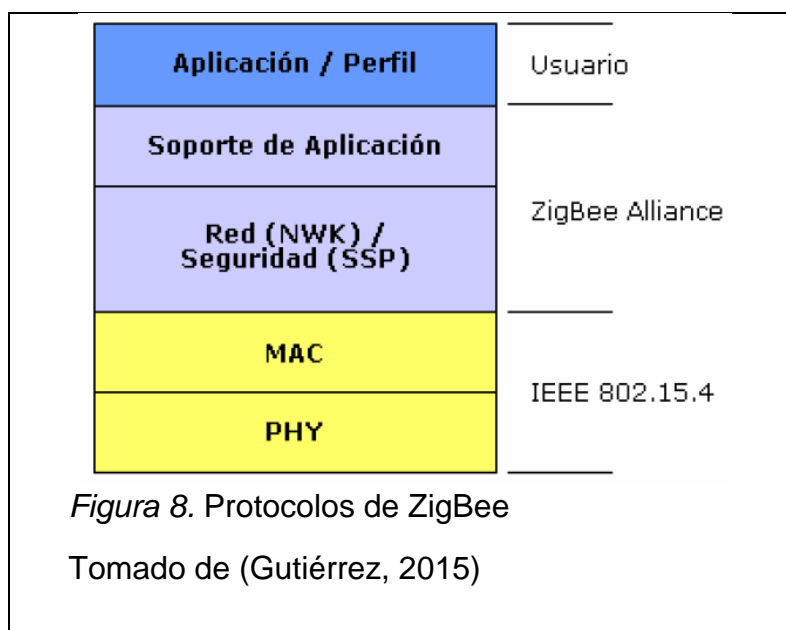
1.3.4.3 Protocolos

ZigBee usa protocolos que permiten a los dispositivos comunicarse de forma fácil y eficiente, su arquitectura se basa en el modelo OSI (Open

Systems Interconnection), comenzando con la capa física (PHY) y de control de acceso al medio (MAC) que se encuentran definidas por el estándar IEE 802.15.4 y realizan la transmisión de datos por el aire con una tasa de transmisión de hasta 250 kbps. Además, a esta arquitectura se suman el módulo de seguridad, encargado de cifrar y autenticar los paquetes, y el módulo de administración del dispositivo ZigBee, encargado de administrar los recursos de red del dispositivo local (Glen & Moreno, 2012).

Las capas superiores están dirigidas por la Alianza ZigBee, la capa de red (NWK) está encargada de gestionar las tareas de ruteo y mantenimiento de los nodos de la red, es responsable de implementar la topología de red necesaria que ZigBee soporta, permitiendo una mayor cobertura de la red.

La siguiente capa es la de soporte de aplicación es la encargada de mantener el rol que el nodo ocupa en la red, filtra paquetes a nivel de aplicación y hace más sencillo el envío de información a los diferentes nodos de la red. Y en el nivel conceptual más alto se encuentra la capa de aplicación donde están los ZDO (ZigBee Device Objects) encargados de definir si el dispositivo en la red va a actuar como coordinador, ruteador o dispositivo final (Rodríguez, Muñoz, Juárez, Contreras, & Alexandres, 2012).



1.3.4.4 Topologías de red

El estándar ZigBee cuenta con los siguientes tipos de nodos que podrían encontrarse en una red:

- **Dispositivo final:** Se encarga de enviar la información a un nodo ruteador o un nodo coordinador, pero no transmite mensajes que tienen como destino final otros dispositivos.
- **Coordinador:** Existe un nodo coordinador en toda la red y requiere de una fuente de alimentación permanente.
- **Ruteador:** Dispositivo de función completa, extiende la cobertura de la red.

ZigBee cuenta con 3 topologías de red con más de 65000 nodos, cada topología es una cadena de comunicación que tiene un nodo de red coordinador encargado de centralizar la adquisición y las rutas de comunicación entre dispositivos (EcuRed, s.f):

- **Star o estrella:** En esta configuración los dispositivos finales se comunican únicamente con el nodo coordinador de la red, el cual se encuentra en el centro, si este nodo central falla toda la red se cae. Una de las ventajas de esta configuración es que tiene larga vida útil por el bajo consumo que requiere.
- **Mesh o malla:** Esta red tiene nodos con más de una conexión en la cual existen varios caminos para ir al destino, lo cual genera baja latencia y alta confiabilidad. La comunicación entre los nodos puede seguir aún si un nodo de la ruta falla y la conexión se cae, ya que los caminos se rehacen.
- **Cluster Tree o racimo de árbol:** Esta configuración de alta escalabilidad tiene algunas de las ventajas de una topología tipo estrella. Los routers ZigBee se encargan de unir a los dispositivos

finales con los otros y transmitir los mensajes que hacen varios saltos de un nodo a otro hasta llegar a su destino.

1.3.5 XBEE

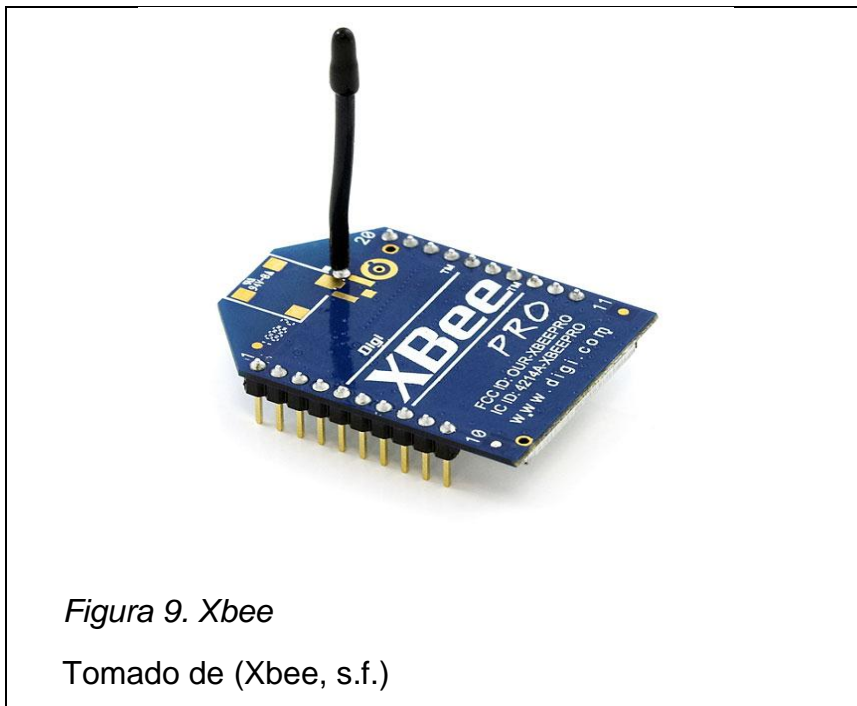


Figura 9. Xbee

Tomado de (Xbee, s.f.)

Esta tecnología Wireless trabaja a una frecuencia similar al Wi-Fi y permite interconectar diferentes dispositivos, cuando se logra realizar el vínculo se puede enviar señales a un concentrador principal y así controlar los dispositivos por medio de WI-FI utilizando algún dispositivo inteligente como un teléfono celular.

Los módulos Xbee's son pequeños chip azules que se comunican de forma inalámbrica entre dispositivos de la misma serie de manera económica, tienen pines similares independientemente del modelo o serie, siendo soluciones integradas que brindan un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos. Estos módulos utilizan el protocolo de red llamado IEEE 802.15.4 para crear redes FAST POINT-TO-MULTIPOINT (punto a multipunto); para redes PEER-TO-PEER (punto a punto) o redes tipo llama

dependiendo de la serie de XBee. Fueron diseñados para aplicaciones que requieren de un alto tráfico de datos, baja latencia y una sincronización de comunicación predecible (XBee, s.f.).

Digi, el fabricante de XBee dispone de 2 series diferentes, la serie 1 que es más fácil y sencilla para trabajar y utiliza arquitectura punto a punto y punto a multipunto para la comunicación, y la serie 2 en la que los módulos necesitan ser configurados y su comunicación es punto a punto, punto-multipunto y redes mesh.

1.3.5.1 Características

Algunas de las principales características de los módulos Xbee son:

- Alto rendimiento y bajo costo
- Bajo consumo
- Fácil manejo de módulos
- Red y seguridad

1.3.5.2 Consideraciones del montaje

Se dispone de placas de interface RS-232 que tienen un socket de 20-pines para recibir los módulos. Y ya que el módulo RF XBee fue diseñado para ser montado en un socket (hembra), no requiere ninguna soldadura durante el montaje en la placa.

1.3.5.3 Aplicaciones

Fueron diseñados para aplicaciones de comunicación punto a punto que ya viene con la configuración predeterminada en los módulos, y punto a

multipunto que se genera con un coordinador que opera como central en toda la red.

1.3.5.4 Modos AT y API

Los módulos XBee soportan dos tipos de modos, el modo AT y el modo API, lo que facilita la comunicación con otros dispositivos como con Arduino:

- **Modo AT:** Conocido como el modo de transmisión serial transparente, se utiliza para hacer conexiones en serie punto a punto, permite configurar el XBee a través de un terminal conectado por el puerto serie a la UART del módulo. No es recomendado para realizar algunas tareas como buscar la dirección del módulo que origina el dato recibido, realizar una modificación de manera remota a la configuración del módulo XBee, y como principal desventaja es que se necesita ingresar regularmente al modo de configuración a cambiar la dirección de destino para transmitir información a distintos nodos de la red (Andrés Duarte , s.f.).
- **Modo API:** Permite la configuración remota del módulo además de leer o escribir comandos en el módulo Xbee y se encarga de que toda la información que se envía y se recibe sea empaquetada en frames cuya cabecera tendrá información sobre el módulo y que definen operaciones y eventos dentro del mismo. Este modo es recomendado para redes muy grandes donde no se puede perder tiempo entrando y saliendo del modo configuración de los dispositivos (Andrés Duarte , s.f.).

1.3.5.5 Redes XBee

Los módulos XBee utilizan las arquitecturas punto a punto, punto a multipunto o una red mesh para comunicarse dependiendo del tipo de serie del módulo:

- Comunicación punto a punto.- Aquella que se realiza cuando se conecta un módulo con otro, es la configuración más sencilla y los módulos XBee ya vienen con esta configuración predeterminada.
- Comunicación punto a multipunto.- Se realiza cuando un coordinador opera como central en toda la red y permite el paso de información desde la entrada serie de un módulo a uno o varios módulos conectados a la misma red, ya que se necesitan las direcciones de los otros módulos, por lo que existe mayor seguridad (INVDESPRO MX, s.f.).
- Redes tipo malla.- Es la configuración disponible solo en los módulos XBee serie 2 recomendado para redes complejas y permiten una comunicación muy fiable y simple permitiendo la reparación de la red en caso de que algún nodo falle sin necesidad de intervención del usuario. Al mismo tiempo la red por sí sola resuelve la mejor ruta para un determinado paquete.

1.3.6 Arduino

Arduino es una plataforma de hardware libre que permite conectar lo físico con el mundo virtual, basada en una placa con un microcontrolador de entradas y salidas, analógicas y digitales, y un entorno de desarrollo basado en lenguaje de programación Processing que es flexible y fácil de usar.

Esta plataforma permite construir circuitos electrónicos mediante la utilización de tarjetas y microcontroladores que se pueden programar y que se basan en hardware de código abierto que son todos aquellos circuitos electrónicos de los que se disponen de toda información de forma gratuita para ser descargada y usada por cualquier persona para que lo pueda mejorar, desarrollar o ampliar.

En este prototipo se utilizará Arduino UNO, dispone de 14 pines que pueden configurarse a través de software como entradas o salidas y a los que se pueden conectar dispositivos que transmitan o reciban señales digitales de 0 y 5 V, 6 de estos terminales se pueden usar de salidas analógicas que obtienen datos de sensores y envían señales de control.

1.3.6.1 Características y Funcionamiento

El software de Arduino es una herramienta de código abierto que cuenta con un entorno de desarrollo integrado, disponible para el público, para muchas plataformas como Linux, Windows o Mac, el lenguaje de programación que opera en el microcontrolador de Arduino está basado en Wiring, y el entorno de desarrollo se basa en la plataforma Processing, la misma que está basada en C/C++.

En el entorno de desarrollo se pueden descargar aplicaciones a la placa de Arduino, desarrollarlas ejecutarlas o depurarlas desde allí, se debe realizar la descarga del software para trabajar desde el nivel de programación del procesador, en el software se incluye las librerías necesarias para poder utilizar el lenguaje de manera completa (Arduinodhtics, s.f).

El hardware Arduino más sencillo contiene una placa con un microcontrolador, comúnmente el Atmel AVR de 8 bits, y algunos puertos de entrada y salida. El Arduino está basado en microcontroladores que se encargan de realizar procesos lógicos y matemáticos dentro de la placa, son sencillos y de bajo coste como

ATMEGA8 y ATMEGA168 de Atmel, los mismos que permiten el desarrollo de varios diseños. Su diseño es de libre distribución y utilización por lo que diseñadores con experiencia en circuitos pueden hacer su propia versión del módulo, mejorándolo y extendiéndolo (Arduino.cl, s.f.).

Arduino tiene puertos seriales de entrada y salida, lo que le permite usar un convertidor de serial a USB para conectarlo a la computadora y enviar información del computador a la placa o de la placa al computador para trabajar a nivel de software, ya que es donde se desarrollan las órdenes que ejecutarán los componente conectados a la placa.

Además, Arduino para funcionar necesita de una fuente de alimentación externa, y dispone de un conector de alimentación que va a servir para alimentar la placa mediante la utilización de una fuente de energía como baterías para no tener conectado al pc todo el tiempo.

Las características generales de todas las placas Arduino son las siguientes:

- “El microprocesador ATmega328
- 32 kbytes de memoria Flash
- 1 kbyte de memoria RAM
- 16 MHz
- 13 pins para entradas/salidas digitales (programables)
- 5 pins para entradas analógicas
- 6 pins para salidas analógicas (salidas PWM)
- completamente autónomo: Una vez programado no necesita estar conectado al PC
- Microcontrolador ATmega328
- Voltaje de operación 5V
- Voltaje de entrada (recomendado) 7-12 V

- Voltaje de entrada (limite) 6-20 V
- Digital I/O Pins 14 (con 6 salidas PWM)
- Entradas analógicas Pins 6
- DC corriente I/O Pin 40 mA
- DC corriente 3.3V Pin 50 mA
- Memoria Flash 32 KB (2 KB para el bootloader)
- SRAM 1 KB
- EEPROM 512 byte
- Velocidad de reloj 16 MHz.” (Arduinodhtics, s.f)

1.3.6.2 Aplicaciones

Algunos de los ámbitos de aplicación de Arduino son en robótica, domótica, instrumentación, educación, música, internet de las cosas, etc. Arduino se lo puede utilizar para el desarrollo de objetos interactivos autónomos mediante su software de programación o puede ser conectado a otros lenguajes de programación para interactuar con el hardware y software de otros programas.

1.3.7 Energía Solar

La energía solar es la energía radiante producida en el sol como resultado de reacciones nucleares de fusión y las condiciones de intensa gravedad. La tierra recibe la energía del sol de diversas maneras, gracias a que la atmósfera y magnetosfera filtran gran parte de la radiación solar nociva, lo que más recibimos es luz y calor.

El hombre ha querido buscar y construir las más diversas maneras de aprovechar esta energía y convertirlas en el soporte de la vida en la tierra y es por ello que en estos momentos está siendo fuertemente optimizada la tecnología para extraer esta energía proveniente del sol y convertirla en energía de uso humano, como la electricidad y el agua caliente para en un

futuro obtener energía más barata, que no genere un mayor impacto ambiental y renovable (Erenovable, s.f.).

1.3.7.1 Efecto Fotovoltaico

El efecto fotovoltaico forma parte del proceso por el que una celda fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está conformada por fotones de los cuales los que se logran absorber son los que pueden generar electricidad ya que su energía se transfiere a un electrón de un átomo de la celda, y así el electrón puede pasar a formar parte de una corriente de circuito eléctrico gracias a la nueva energía. Las celdas se conectan entre ellas, se encapsulan y se montan sobre una estructura conforman un módulo fotovoltaico, el que está diseñado para suministrar electricidad a un voltaje específico (Bellver, 2015).

1.3.7.2 Célula o Celda Fotovoltaica

Es una placa de silicio encargada de transformar la energía solar en electricidad, la luz ingresa directamente sobre un dispositivo semiconductor de dos capas generando una diferencia de voltaje que produce una corriente por medio de un circuito externo. La celda fotovoltaica se construye con dos semiconductores de diferente conductividad, tipo n, dopada con elementos con más electrones que los átomos de silicio y tipo p, dopada con elementos con menos electrones de valencia que el silicio, la unión de estos semiconductores hace posible la creación de una corriente en la célula que va desde N hacia P (Celda, 2005):

Entonces, el panel solar se conforma de celdas solares positivas y negativas, las cuales están protegidas y selladas por un vidrio en la parte superior debido a las condiciones ambientales y una capa anti reflexiva que permite absorber más fotones.

La mayoría de celdas fotovoltaicas están construidas de silicio y se las clasifican principalmente en tres tipos, cada una con diferente eficiencia:

- Celdas de Silicio Monocristalino: Al enfriarse el silicio fundido se solidifica y forma un cristal de grandes dimensiones que posteriormente es cortado en finas capas dando como resultado las celdas solares, las que están conformadas por silicio con un mayor grado de pureza lo que les da una eficiencia de más del 16%, una vida útil de alrededor de 25 años y un mayor costo (ESUS Equipo Solar, s.f.).
- Celdas de Silicio Policristalino: Estas celdas están elaboradas a partir de lingotes de silicio fundido y recristalizado, son las más usadas y menos costosas pero no tan eficientes como las celdas monocristalinas. Tienen una eficiencia del 15% y una vida útil de 20 años. (EcoSources, s.f.).
- Celdas de silicio amorfo: Estas celdas fueron las primeras en ser manufacturadas, están hechas de silicio no cristalino y son las más fáciles y baratas de producir ya que es un silicio de menor calidad y su eficiencia disminuye con el aumento de la temperatura. Es el más utilizado y se encuentra en diversas aplicaciones, desde calculadoras y relojes “solares”. Su eficiencia se encuentra entre el 6% y 9%, funciona en días nublados y tiene una vida útil de 10 años (ESUS Equipo Solar, s.f.) .

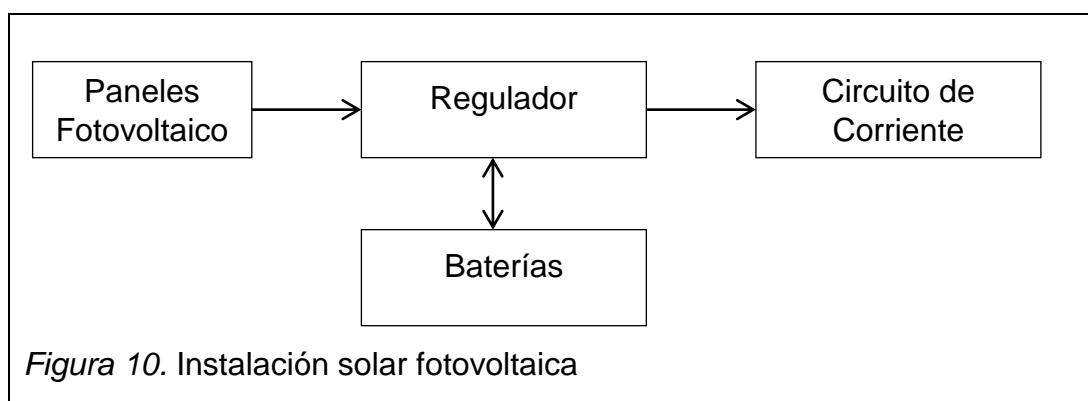
1.3.7.3 Módulo fotovoltaico

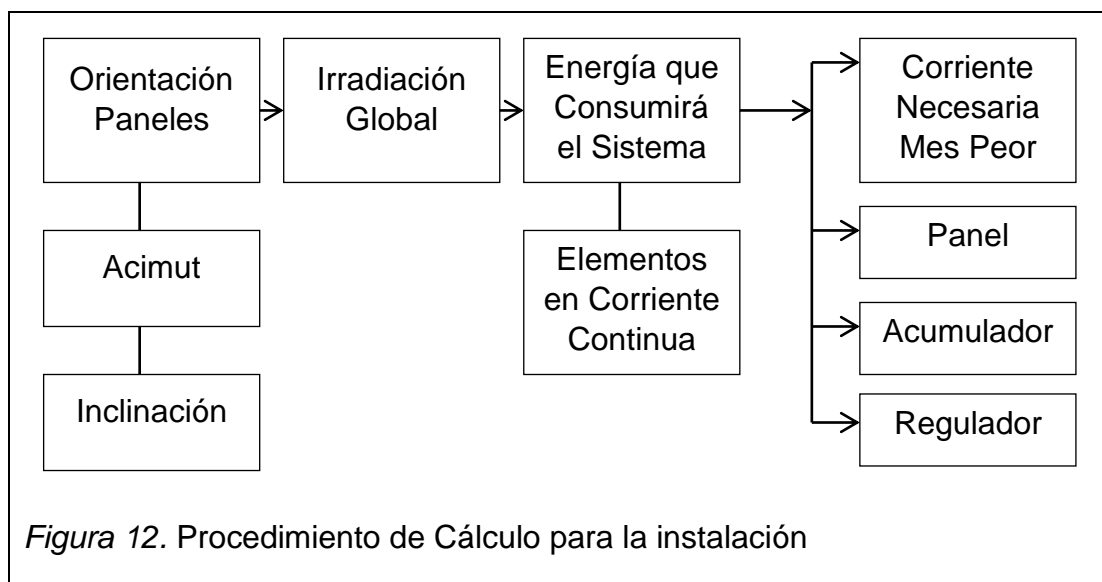
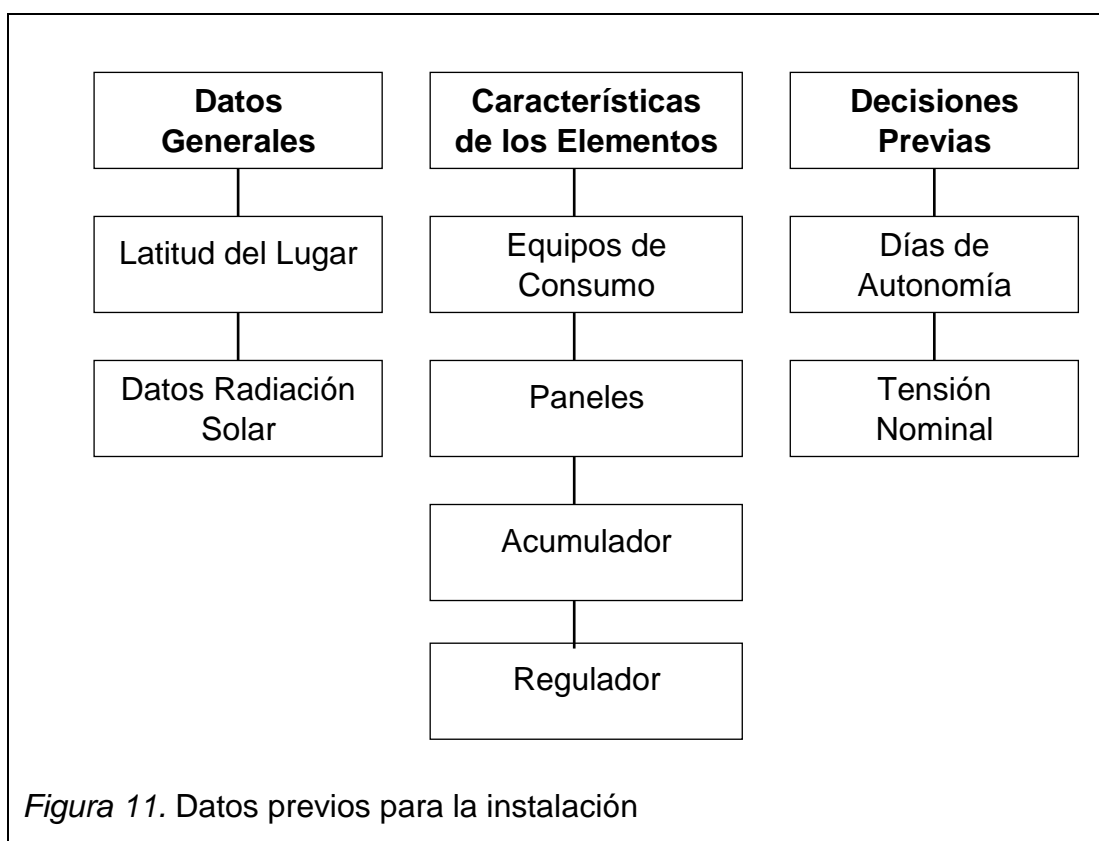
Es una estructura donde se colocan las células fotovoltaicas, tiene diferentes tamaños y su capacidad depende de las características del sistema fotovoltaico que se va a implementar. Al ser conectados en serie o en paralelo producen la corriente continua deseada y el voltaje requerido.

1.3.8 Sistemas Fotovoltaicos

Es una energía renovable que permite transformar de manera directa la radiación solar en electricidad por medio del uso de paneles formados por un conjunto de células fotovoltaicas. En los paneles la energía de los fotones se transmite a los átomos de silicio de las células fotovoltaicas, los electrones reciben la radiación solar que los excita y a ese movimiento se lo llama electricidad, estos paneles no necesitan la luz solar directa para funcionar y pueden generar electricidad hasta en los días más nublados (Garciglia, 2007).

La energía excedente producida en las horas y días de mayor radiación, es almacenada en bancos de baterías, de esta forma se logra abastecer el consumo en los días nublados y durante la noche.





1.3.8.1 Paneles Solares

Un panel solar es un dispositivo o placa que recibe energía de la radiación solar, es decir que permite usar los rayos del sol

como energía, mientras más luz del día reciba el panel solar, más electricidad podrá generar, sin embargo, los paneles solares funcionan también en días nublados. El funcionamiento de los paneles solares se basa en el efecto fotovoltaico explicado anteriormente, que se produce cuando, sobre materiales semiconductores incide la radiación solar y así se genera la electricidad. La vida útil media de los paneles es superior a 30 años y en su mayoría no necesitan un mantenimiento complejo.

Tipos de paneles

Paneles Solares Fotovoltaicos: Este tipo de sistema consiste en que la luz del sol transmite energía a los electrones de los materiales semiconductores de los paneles, estos electrones consiguen así separarse del núcleo y trasladarse del panel en forma de electricidad.

Paneles Solares Térmicos: Son aquellos paneles que convierten la radiación solar en calor mediante colectores térmicos solares, se encargan en su mayoría de calentar un circuito de agua y se instalan en casas con recepción directa de sol con temperaturas altas.

Paneles Solares Termodinámicos: pueden captar energía de cualquier estado meteorológico, están fabricados de aluminio y contienen canales por los cuales circula líquido refrigerante que absorbe grandes cantidades de calor al producirse en él un cambio de estado. Estos paneles se usan normalmente para calefacción, climatización de piscinas o generar agua caliente sanitaria (Basso, 2015).

1.3.8.2 Regulador de carga

La función del regulador de carga es controlar que la batería siga recibiendo energía y de controlar cuando a llegado a su carga máxima,

ya que cuando se a llegado a este punto y se intenta seguir introduciendo energía, comienzan a crearse gases y procesos de calentamiento en la batería, que pueden llegar a ser peligroso y reducirían la vida útil de la batería (HM Energía Perú, s.f.).

1.3.8.3 Batería

Los paneles fotovoltaicos están sujetos a la disponibilidad de luz solar, por lo es importante disponer de un sistema que guarde la energía solar que se recibe. La batería o acumulador, provee energía eléctrica a un voltaje relativamente constante y garantiza un suministro de energía estable. Las baterías acumulan la energía que generan los módulos durante las horas de luminosidad, actuando de reserva cuando la energía no es suficiente o nula y aguantando largos ciclos de descarga, a diferencia de las baterías normales (Biomass Users Network (BUN-CA), s.f.).

1.3.9 Ventajas del uso de la energía solar

Algunas ventajas al usar paneles solares como fuente alternativa de energía son:

- La energía solar es un recurso renovable y contribuyen al desarrollo de una ciudad sostenible.
- Permite aprovechar la energía en zonas donde no llega el tendido eléctrico.
- Es una opción eco-amigable, a diferencia de los generadores de combustible que se usan durante los apagones.
- Los paneles solares requieren poco mantenimiento, ya que no tienen partes mecánicas que puedan fallar y la única inversión es el coste inicial de la infraestructura.
- No dependen de los proveedores de energía eléctrica, por lo que no hay mayor impacto en su funcionamiento si se produce un apagón, o en el caso de que suban los precios de la luz.

En este capítulo se definieron las razones para la realización del prototipo, una de las cuales es que en el país las personas con discapacidad visual necesitan un mejor servicio de información acerca del transporte público, por lo cual con el uso de las tecnologías actuales y el concepto de internet de las cosas se puede ofrecer un dispositivo capaz de satisfacer esta necesidad.

Se dio a conocer las características del estándar 802.15.4/ZigBee que sobresale como la mejor opción para cumplir con los requerimientos de este proyecto por su bajo consumo de energía, alcance y características de seguridad ya que el prototipo requiere trabajar con varios dispositivos inalámbricos en donde la duración de las baterías es un factor importante, además del bajo consumo de ancho de banda, y se mostró que se usará paneles solares para que brinden energía al prototipo ya que además de todas las características ya mencionadas, son modulares, no contaminan y los gastos de mantenimiento y explotación son bajos .

Se realizó la investigación de los módulos Xbee que operan dentro de la banda 2.4 GHz ISM y ofrecen transporte seguro de datos y la posibilidad de implementar redes complejas entre módulos; también de la plataforma Arduino, la cual simplifica el trabajo con microcontroladores y provee un entorno de programación fácil de usar, permitiendo la transmisión de datos de manera eficiente.

En el siguiente capítulo se detalla el diseño del prototipo y se definen los bloques principales del mismo así como los componentes de cada uno. Se realizan también comparativas entre las alternativas existentes para las principales partes del prototipo definiendo la tecnología y el dispositivo ideal para este proyecto.

CAPITULO II

2. DISEÑO DEL PROTOTIPO

En este capítulo se realiza la selección de componentes en base a los requerimientos definidos en el capítulo anterior, además, se detalla el diseño del prototipo, así como sus partes, configuración y el desarrollo de aplicativos necesarios para la interfaz. Finalmente, un análisis de factibilidad del diseño en base a los requisitos de usuario y definiendo alternativas a la falta de funciones necesarias del sistema final.

En base a lo expuesto el capítulo anterior, se determina que el diseño del prototipo debe constar de los siguientes componentes principales:

- Fuente de alimentación
- Interfaz para el usuario
- Comunicación inalámbrica

La fuente de alimentación abastece la interfaz y el sistema de comunicación, por lo que está diseñado en base al consumo total del ensamblaje, la interfaz proporciona un enlace entre el usuario, la parada y la unidad que se aproxima, brinda información útil y permite interactuar con el prototipo, el mismo que se comunica con las unidades de transporte mediante transferencia de datos inalámbrica, los dispositivos deben cumplir con las necesidades requeridas y las condiciones del sitio de implementación.

El núcleo del prototipo es el microprocesador, en base a este se selecciona el resto de elementos que se utilizan para interactuar con el mismo o proveerle de energía, esta unidad de procesamiento forma parte de la interfaz del prototipo, continuación se detalla la selección del mismo.

El esquema del prototipo general lo podemos encontrar en el Anexo 2.

2.1 Interfaz

2.1.1 Unidad de procesamiento

Con la información de los dispositivos SBC(Ordenador de Placa Única) enunciados en el capítulo previo se realiza una comparativa entre los mismos, para seleccionar la mejor opción que se acopla a los requerimientos y características del prototipo.

Tabla 7. Tabla comparativa de dispositivos SBC

Dispositivo	Arduino uno	RaspberryPI 2	BeagleBone black	Odroid C1
Procesador	Micro-controlador ATmega 328P	ARM Cortex-A7 Quad-Core 900MHz	AM335x 1GHz ARM® Cortex-A8	S805 Cortex-A5 Quad-Core 1.5GHz
Almacenamiento	32 Kb	Micro SD16GB	16 GB 4 GB interna / Micro SD expandible	Micro SD 64 GB
Ram	No	1 GB	512 MB	1 GB
Puerto USB	No	4usb2.0	1usb2.0	2usb3.0
Conectividad	No	Ethernet	Ethernet	Gigabit Ethernet
Sistema Operativo	No	Multiplataforma	Debian	Android
Consumo	5 V 40mA	5 V 0.6 A	5 V 0.5 A	5V 0.5 A
Audio	No	3.5mmjack	Stereo over	Interfaz I2S

			HDMI	
Video	No	HDMIport DSI Interface	HDMIport	HDMIport
Otros	14 pins I/O	GPIO 26/40 pins	GPIO 65/92 pins	GPIO 19 pins
Precio	24,95\$	39,95\$	50\$	74\$

Arduino es una placa que permite correr pequeños programas mediante un microcontrolador, ideal para obtención de datos o aplicaciones que no requieren mayor procesamiento, no tiene la capacidad de instalarse un sistema operativo mucho menos una interfaz interactiva como la que se requiere en el proyecto.

Tabla 8. Comparativa técnica BeagleBone vs Raspberry PI.

	Raspberry PI	BeagleBone	Comparación
Procesador	A7 Quad-Core 900MHz	A8 ARM 1GHz	BeagleBone presente un procesador con mejor frecuencia sin embargo el procesador de Raspberry es Quad-Core lo que nos permite realizar más tareas al mismo tiempo, esto en el prototipo es crucial.
RAM	DDR3	LPDDR2	El tipo de memoria de Raspberry tiene un menor consumo energético y es el doble de BeagleBone.
Audio	Vía HDMI	Jack audio	Debido a las características del prototipo enfocado a personas con discapacidad visual se requiere una salida de audio y ya que no se utiliza HDMI, Raspberry es la

			opción más adecuada.
Software	Multiplataforma	Debian	El soporte del sistema operativo que ofrece BeagleBone es limitado para interfaces, por su procesador las aplicaciones de gran demanda no reaccionan de manera adecuada por lo que Raspberry es la mejor opción.
Soporte	Medio	Alto	Raspberry PI cuenta con la mayor comunidad en placas de desarrollo, así como documentación de proyectos y de hardware compatible.

Tabla 9. Comparativa técnica Odroid vs Raspberry PI.

	Raspberry PI	Odroid	Comparación
Procesador	A7 Quad-Core 900MHz	A5 Quad-Core 1.5GHz	Raspberry Presenta un dispositivo con mejores características el Cortex-A7 sin embargo Odroid tiene un mejor desempeño por la frecuencia mayor.
RAM	DDR3	LPDDR2	El tipo de memoria de Raspberry tiene un menor consumo energético.
Audio	Vía HDMI	Jack audio	Debido a las características del prototipo enfocado a personas con discapacidad visual se requiere una salida de audio y ya que no se utiliza HDMI, Raspberry es la opción más adecuada.
Software	Multiplataforma	Android	En Raspberry PI se puede instalar algunos sistemas operativos con soporte de

			manera oficial por lo que lo hace más versátil.
Soporte	Medio	Alto	Raspberry PI cuenta con la mayor comunidad en placas de desarrollo, así como documentación de proyectos y de hardware compatible.

Proyectos

Un factor importante que determina la mejor opción entre los dispositivos es el soporte y el tipo de proyectos que se puede realizar con cada una de las placas.

Arduino se lo utiliza para lectura de sensores y transmisión de datos entre las aplicaciones más importantes, algunos proyectos son:

- Robots
- Teléfono
- Quadcopters
- Reloj
- Monitoreo de sensores

BeagleBone está mayormente enfocado en proyectos de control y sensores entre los cuales existen:

- Robots
- Monitoreo de sensores
- Control de luces
- Sensores de movimiento

Odrion es una placa relativamente nueva entre los proyectos que se puede realizar tenemos:

- Robots
- Quadcopters
- Tablets
- Centros de entretenimiento

De manera general se determina que Arduino Uno no cumple con los requerimientos de memoria ni procesamiento puesto a que no brinda las suficientes características para generar una interfaz interactiva adecuada y a la vez procesar los datos de la comunicación entre la parada y la unidad de transporte.

Este tipo de dispositivo es óptimo procesamiento de datos de los sensores, se lo utiliza en el sistema de comunicación para emitir los datos de los módulos Xbee es detallado más adelante.

BeagleBone es una alternativa enfocada a proyectos de control, monitoreo y manejo de sensores, pese a que en el proyecto actual se va a manejar datos del módulo Xbee y el uso del GPIO para los pulsadores externos, BeagleBone no cuenta con un soporte completo para generar la interfaz interactiva que se requiere, por lo que se descarta esta tarjeta.

Finalmente, Odroid es un dispositivo robusto que brinda las mejores características de las tarjetas comparadas, sin embargo, sus funciones serían subutilizadas, encareciendo el prototipo y volviendo ineficiente la solución. Al ser un dispositivo relativamente nuevo no cuenta con el amplio soporte que ofrece la comunidad Raspberry PI para proyectos.

Entre los varios modelos comerciales de Raspberry PI se selecciona el más actual a la fecha de realización de este proyecto que es el Modelo 2 B, debido a la relación costo beneficio que se tiene con modelos anteriores, con precios similares, pero con características superiores el modelo 2 B cumple con los requerimientos que demanda el prototipo.

Tabla 10. Características del Modelo de Raspberry Seleccionado

RASPBERRY PI 2 MODEL B	
SoC	Broadcom BCM2836
CPU	ARM11 ARMv7 ARM Cortex-A7 4 núcleos @ 900 MHz
Overclocking	Sí, hasta arm_freq=1000 sdram_freq=500 core_freq=500 over_voltage=2 de forma segura
GPU	Broadcom VideoCore IV 250 MHz. OpenGL ES 2.0
RAM	1 GB LPDDR2 SDRAM 450 MHz
USB 2.0	4
Salidas de vídeo	HDMI 1.4 @ 1920x1200 píxeles
Almacenamiento	microSD
Ethernet	Sí, 10/100 Mbps
Tamaño	85,60x56,5 mm
Peso	45 g
Consumo	5v, 800mA, aunque depende de la carga de trabajo de los 4 cores
Precio	39,95 dólares

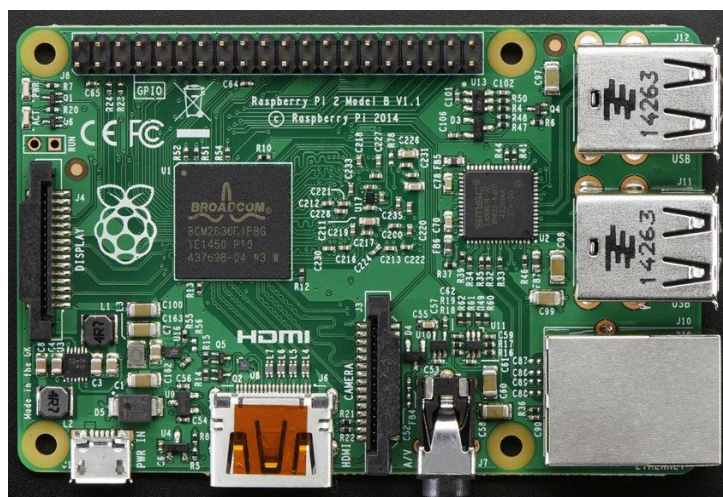


Figura 13. Raspberry Pi 2 Model B

Las características completas del dispositivo se detallan en el Anexo 3 y el costo del SBC Raspberry Pi es de 39,95. Existen varios locales comerciales en los cuales se puede adquirir el dispositivo, es importante destacar que Raspberry ofrece una entrada directa Serial DSI que permite utilizar un display sin ocupar el puerto hdmi, el Display utilizado en el proyecto es el Raspberry Pi foundation 7" debido a la compatibilidad con el procesador seleccionado y su fácil instalación.

2.1.2 Dispositivos periféricos

Una interfaz interactiva cuenta con dispositivos periféricos para brindar a usuarios total o parcialmente discapacitados la posibilidad de obtener información que sea de utilidad para transportarse de manera más eficiente por la ciudad. Usuarios del prototipo que utilizan el tacto o el sonido para guiarse en su vida diaria requieren periféricos adicionales que permitan el manejo intuitivo del prototipo.

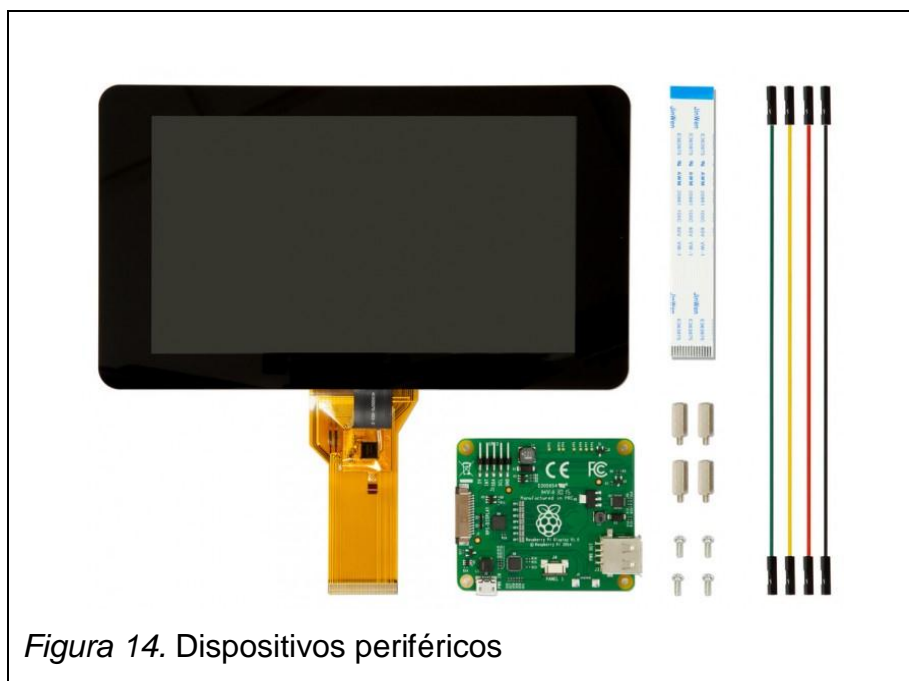


Figura 14. Dispositivos periféricos

2.1.3 Interfaz especial para usuarios no videntes

Con el fin de cumplir el objetivo principal del proyecto se genera una interfaz que permite a los usuarios no videntes acceder a información útil para mejorar la calidad de servicio que reciben en el sistema de transporte público. Los usuarios podrán ubicarse con certeza en los circuitos integrados, así como aumentar su independencia y movilidad a través de la ciudad.

Para lo cual la solución consta de tres funcionalidades definidas, las cuales se enuncian a continuación:

- Información relevante emitida periódicamente.
- Herramientas para acceder a información específica.
- Alerta de arribo de la unidad de transporte.

La herramienta anuncia periódicamente por el altavoz datos importantes del uso del prototipo, así como la hora actual e información de la unidad que está próxima a arribar. Adicionalmente, está conformada por un panel de pulsadores numerados e identificados en sistema braille para obtener información de la interfaz, el resultado de presionar los pulsadores es el siguiente:

- **Pulsador 1 Información**
Su función es comunicar como se usa interfaz para los usuarios con discapacidad visual, también datos relevantes de la parada como la ubicación, la hora, las rutas que circulan por la misma. Finalmente la ruta próxima a arribar con el tiempo estimado de espera.
- **Pulsador 2 Hora**
Indica la hora actual.
- **Pulsador 3 Rutas**
Detalla las rutas que circulan por la parada, las unidades asignadas a cada ruta, las paradas que la conforman, horarios de atención y tiempo de recorrido.

- **Pulsador 4 Paradas**

Informa la parada próxima para cada ruta y el tiempo aproximado de viaje hasta la parada.

- **Pulsador 5 Unidad próxima**

Informa la unidad que esta por arribar a la parada y su tiempo aproximado de llegada.

Finalmente cuando el bus está próximo a la estación, se anuncia su identificación, la ruta por la cual circula, la parada a la que se dirige y el tiempo estimado que tardaría en llegar a la misma.

Debido a que la interfaz se enfoca a personas con discapacidad visual es necesario tomar en cuenta la normativa vigente en la cual se destacan puntos a tomar en cuenta en la implementación del prototipo.

Área de barrido ergonómico

Las dimensiones aceptadas para colocar texto de alto relieve o en sistema Braille para su fácil acceso, se muestran en la siguiente figura (INEN, s.f.):

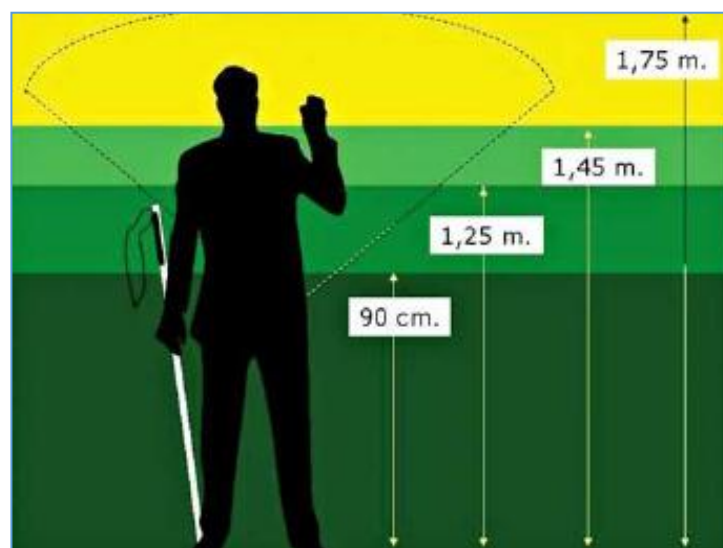


Figura 15. Área de barrido ergonómico

Tomado de (INEN, s.f.)

2.1.4 Interfaz normal de usuario

Uno de los objetivos del proyecto es el diseño de una interfaz interactiva para brindar al usuario información, esta interfaz permite que las personas interactúen con los dispositivos para obtener datos útiles sobre la parada, las rutas que pasan por la parada, así como información turística relevante enfocada a personas extranjeras.

Se requiere que la interfaz sea funcional, fácil de utilizar y con un entorno amigable para el usuario, para diseño de una interfaz como se debe conocer que es lo que el cliente quiere. De acuerdo con The Essential Guide to User Interface Design de Wilbert O. Galitz, existen parámetros clave a tomar en cuenta al momento de diseñar una interfaz de usuario.

Según el autor los usuarios buscan generalmente lo siguiente:

- Información en el lugar correcto.
- Indicadores claros de lo que se muestra y que se debe hacer con esto.
- Una interfaz clara y organizada.
- Palabras sencillas sin adornos.
- Mensajes claros de las acciones que pueden realizarse.

Cuando personas que utilizan la interfaz interactúan con la misma realizan actividades como:

- Identificar una actividad que puede ser realizada o necesita realizarse, esto significa que el usuario es procedimental y las tareas asignadas deben ser claras.
- Decide como la actividad va a ser completada, para esto la continuidad de las pantallas deben seguir un orden lógico, de fácil navegación.
- Manipular los controles de la interfaz, utilizar periféricos fáciles de operar permiten al usuario cumplir con la tarea de manera eficiente.

El objetivo de una interfaz eficiente y organizada es reducir el esfuerzo visual e intelectual del usuario, reducir el procesamiento de información para toma de decisiones ágil.

Tomando en cuenta estos parámetros y en base a los conceptos y recomendaciones enunciados se diseña la pantalla principal de la interfaz, la cual se detalla a continuación:

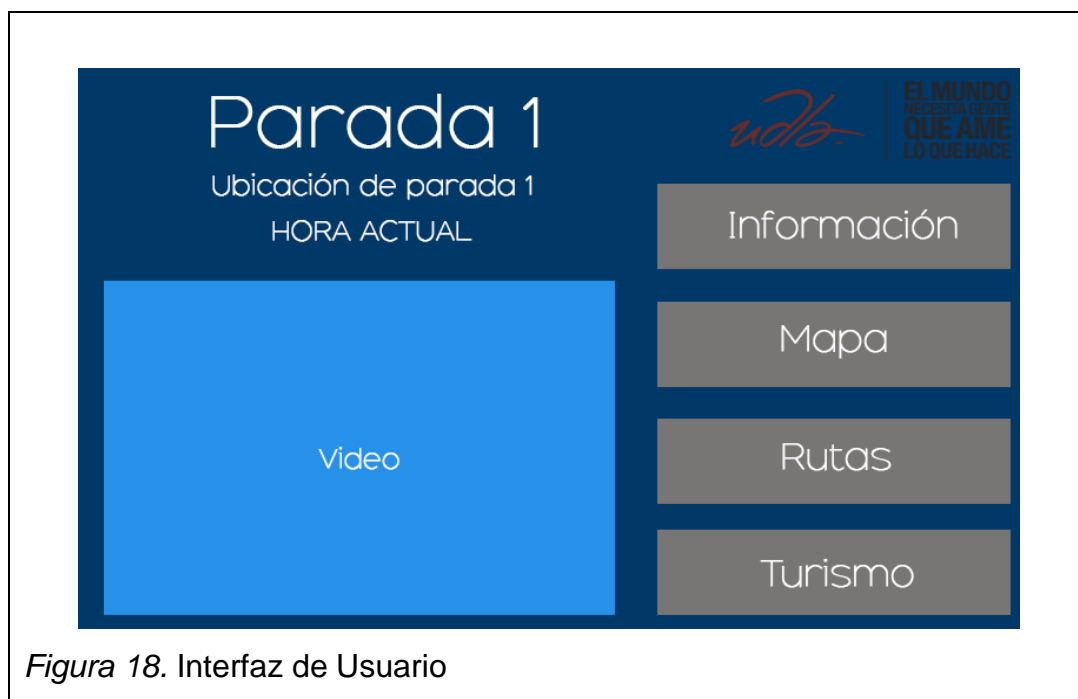


Figura 18. Interfaz de Usuario

A continuación, se detalla los requerimientos para la interfaz:

- Nombre de la parada
- Información de la ubicación de la parada
- Hora del día actualizada
- Video que muestra la labor de la Ecovía e información del municipio
- Botón de información: su función es reproducir por el altavoz información de la parada, así como las rutas que circulan por la misma.
- Botón de mapa: presenta un mapa de los circuitos y paradas de integración de la empresa metropolitana de transporte público, debe contar con zoom.

- Botón de rutas: muestra las rutas con la información de cada una y permitir al usuario navegar entre rutas.
- Botón de Turismo: despliega un video de rutas turísticas importantes en el país.

Finalmente, la interfaz debe permitir su ejecución en el SBC seleccionado.

2.2 Base de datos

Con el fin de almacenar datos relevantes que permitan mejorar la logística del transporte público se crea una base de datos local en el dispositivo, las características de la misma son:

- Facilidad de acceso mediante Python
- Poca información almacenada
- Tipo de datos texto, números y fechas.

Los datos que se requiere almacenar es el id de la unidad de transporte, la fecha y hora en la que paso por la parada.

Continuando con el diseño, una vez determinado el núcleo del prototipo, así como sus periféricos y la interfaz que permite al usuario interactuar con los mismos, es necesario analizar los dispositivos compatibles para emitir datos desde la unidad de transporte a la parada con el fin de determinar la distancia o generar alertas de arribo hacia la misma. Por lo que se diseña el sistema de comunicación, comparando las alternativas tecnológicas enunciadas en el capítulo anterior que cumplen con el requerimiento.

2.3 Sistema de comunicación

Existen varios métodos para medir distancias o transmitir datos relevantes para determinar la posición de un objeto, como se enuncia en el capítulo anterior entre las diferentes tecnologías se realiza una pre selección de la más

adecuada tomando en cuenta su costo, distancia efectiva y seguridad. Los costos serán referenciales a la fecha de realización del presente documento y consultados en el mismo lugar para todos los dispositivos.

Como preselección del sensor se realiza la comparativa entre las tecnologías más frecuentes de medición de distancias.

Tabla 11. Comparación de Sensores

Tipo de Dispositivo	Sensores Inductivos	Sensores Fotoeléctricos	Sensores Ultrasónicos
Distancia efectiva	40mm	15 m	3 m
Uso	Aplicaciones industriales	Medidores de Velocidad	Medición de Fluidos
Costo	15\$	24,95\$	33,95\$
Seguridad	No	No	No

Debido que la distancia efectiva de los sensores enunciados no cumple con los requerimientos del prototipo se decide utilizar otro método para transmitir información entre puntos más distantes de manera más segura. Se utiliza tecnología de transmisión de datos inalámbrica, de igual manera para seleccionar el tipo de dispositivo que se acopla de mejor manera al prototipo es necesario comparar las diferentes alternativas que usan esta tecnología.

Tabla 12. Características de Dispositivos de Transmisión de Datos Inalámbricos

Tipo de Dispositivo	Low Energy Bluetooth	Zigbee	NFC	Low Energy WiFi
Distancia efectiva	10m	100m	10cm	30m
Velocidad de Transmisión	1 Mbps	250 Kbps	424 Kbps	54 Mbps
Costo	19,95\$	22,95\$	39,95\$	24,95\$

Consumo de Energía	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	Alto
Escalabilidad de Red	No	Si	No	Si

La tecnología seleccionada es Zigbee debido a su bajo consumo energético y alcance superior a las otras tecnologías, el caso de Bluetooth y NFC son tecnologías que pese a que son más económicas la distancia de operación es muy corta. WiFi ofrece mayores ventajas en cuanto a transmisión de datos y versatilidad de implementación en redes, pero para el prototipo sería una tecnología subutilizada por lo cual se la descarta.

Los dispositivos que ocupan la tecnología Zigbee son los módulos Xbee como se detalló en el capítulo anterior, Digi es una empresa que comercializa estos módulos y ofrece varios productos relacionados como se muestra en el Anexo 4, siendo Xbee S1 MC13212 el módulo más básico y el que se usa para el desarrollo del proyecto, con un costo aproximado de 22,95 dólares.

Las características principales del módulo Xbee elegido son las siguientes:

Tabla 13. Características dispositivo XBee 802.15.4.

XBee® 802.15.4	
Power output	1mW (+0 dBm) North American & International version
Indoor/Urban range	Up to 100 ft (30 m)
Outdoor/RF line-of-sight range	Up to 300 ft (90 m)
Receiver sensitivity	-92 dBm
RF data rate	250 Kbps
Operating frequency	2.4 GHz
Interface data rate	Up to 115.2 Kbps
Power output	1mW (+0 dBm) North American & International version
Indoor/Urban range	Up to 100 ft (30 m)
Outdoor/RF line-of-sight range	Up to 300 ft (90 m)
Receiver sensitivity	-92 dBm
RF data rate	250 Kbps
Operating frequency	2.4 GHz

El datasheet completo del módulo XBee se encuentra en el Anexo 5.

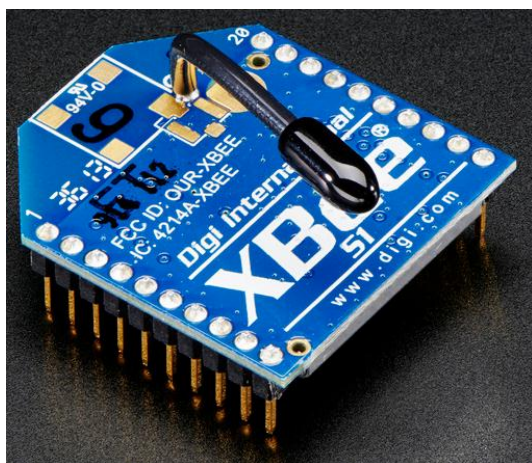


Figura 19. XBee® 802.15.4

Tomado de (Xbee, s.f.)

Además el microcontrolador Arduino Uno que será ubicado en los buses y está encargado de enviar datos a través del módulo Xbee para ser procesados por la parada.

Arduino ofrece una interfaz sencilla de programación de microcontroladores la cual permite generar un prototipo eficiente y de fácil manejo.

El dispositivo tiene un costo aproximado de 24,95, las características del dispositivo son las siguientes:

Tabla 14. Características del Microcontrolador ATmega328P.

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6

Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P)
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

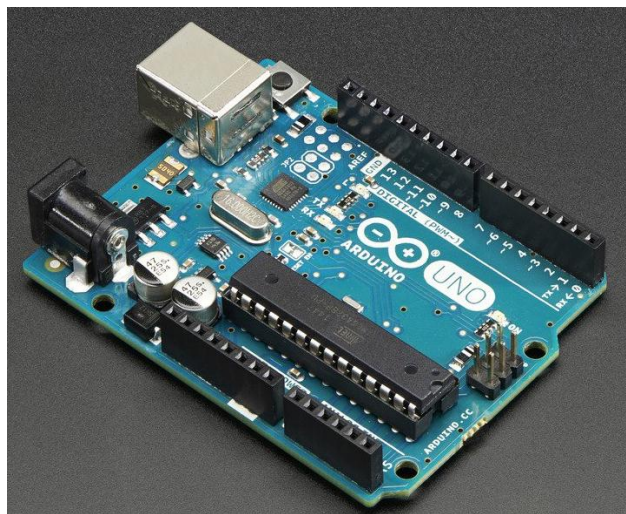


Figura 20. Arduino

Por último, para poder conectar los módulos entre la placa Arduino y el SBC Raspberry Pi es necesario adquirir adaptadores para facilitar la conexión y configuración del sistema de comunicación.

En el caso de Aduino el adaptador recomendado es el Xbee Shield que permite al microcontrolador conectarse inalámbricamente usando el protocolo Zigbee

toda la documentación del adaptador está en la página oficial de Arduino, el costo es de 14,95.

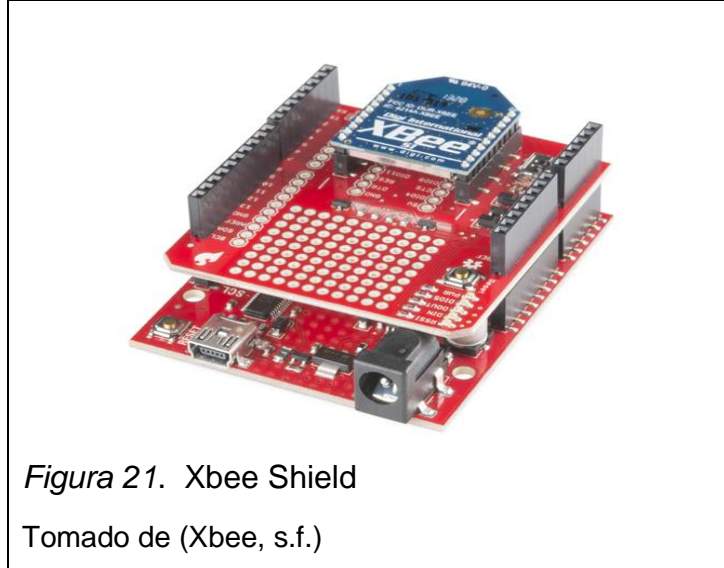


Figura 21. Xbee Shield

Tomado de (Xbee, s.f.)

Para Raspberry se utiliza el Xbee Explorer sirve para conectar el Módulo Xbee vía USB.



Figura 22. Xbee Explorer

Tomado de (Xbee, s.f.)

2.4 Diseño red Multipunto

Xbee puede trabajar en topologías de estrella o de malla. Una topología punto a punto no satisface la demanda del proyecto pues por la parada pueden transitar varias rutas. La topología de malla (Mesh) abarracaría un proyecto más grande donde dispositivos coordinadores estén distribuidos a lo largo de todas las paradas permitiendo una red más amplia y conectar a las paradas entre sí, el objetivo del proyecto se enfoca en una red para cada parada individual por lo cual se escoge una topología de punto multipunto simple.

Uno de los parámetros más importantes en el dimensionamiento de la red es la zona de Fresnel por el uso de radio enlaces, el cual nos indica el lóbulo mínimo despejado para que el enlace tenga una buena propagación. Debido a las características de los módulos Xbee a utilizar y la ubicación geográfica de la parada no existe problema de visión en línea directa por ser una parada en la cual no existen arboles de por medio y en general no es transitada por tráfico pesado como camiones.

En el caso del prototipo se considera como obstáculo el suelo por lo cual se determina la altura mínima de las antenas con respecto al suelo, mediante la ecuación:

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- r_n = radio del elipsoide de Fresnel en metros ($n=1,2,3\dots$).
- d_1 = distancia desde el transmisor al centro del elipsoide en metros.
- d_2 = distancia desde el centro del elipsoide al receptor en metros.
- λ = longitud de onda de la señal transmitida en metros.

Para la primera zona tenemos lo siguiente:

$$r_1 = 8,657 \sqrt{\frac{D}{f}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

- r_1 = radio en metros (m).
- D = distancia en kilómetros (km) ($d_1 = d_2$, $D = d_1 + d_2$).
- f = frecuencia de la transmisión en gigahercios (GHz) ($\lambda = c/f$)

Reemplazando los valores propios del enlace, donde la distancia máxima entre los nodos será de 90 metros y la frecuencia de transmisión de 2400 Mhz se obtiene el siguiente resultado:

$$r = 8,657 \sqrt{\frac{0,09}{2,4}}$$

El valor del radio es de 1,67 metros teóricamente, para garantizar un enlace ideal entre los módulos xbee a la distancia máxima dada por el fabricante, por lo que la ubicación de los módulos debe ser en una altura mayor a los 2 metros. Con el fin de generar un análisis de cobertura más detallado se utiliza el software libre radio mobile. El uso de la herramienta para el estudio del enlace se detalla en el siguiente capítulo en la sección de implementación del sistema de comunicación.

Finalizando el diseño del prototipo para abastecer de energía a los dispositivos que forman parte de los sistemas analizados, se requiere diseñar un sistema de alimentación para lo cual se analiza las alternativas existentes y se determina diseño que provee de energía de manera eficiente al prototipo.

2.5 Sistema de alimentación

Uno de los objetivos de este capítulo es calcular los elementos necesarios de la instalación fotovoltaica y sus parámetros. Para que exista un equilibrio en todo el sistema hay que tener en consideración el número de paneles necesarios para cumplir con la demanda de energía, la capacidad de las baterías para abastecer de energía en días de poca luz y también las características del resto de elementos presentes en el sistema fotovoltaico.

Para la realización del dimensionamiento del sistema se va a realizar el método conocido como “mes peor”, en el cual se calcula las dimensiones del sistema de manera que pueda funcionar sin problemas en el mes que la demanda de energía sea mayor en relación a la energía solar disponible.

Como primer paso se realiza un análisis del consumo general de la carga para corriente alterna y corriente continua por separado, en el caso del prototipo la carga consta únicamente de la interfaz, se determina además el número de horas en las cuales se utiliza la carga. A continuación se detalla el consumo general del prototipo.

Tabla 15. Consumo Corriente Continua (E_{CC})

Dispositivo	Cantidad	Potencia (W)	Horas de funcionamiento (h)	Energía (Wh) por día
Raspberry Pi desabilitado LAN y 3 USB	1	0,76	18	13,68
Display DSI	1	0,56	18	10,08
Xbee Usb	1	0,16	18	2,88
			Total E_{CC}	26,64

Donde:

- La energía diaria consumida en cada tipo de carga, en Wh/día, se calcula como:

$$\text{Cantidad de equipos} \times \text{Potencia(W)} \times \text{Uso(Horas/día)}$$

- E_{CC} = la energía consumida en corriente continua.

No existe consumo de corriente alterna en el prototipo actual por lo tanto:

- Energía consumida en corriente alterna (E_{CA}) = 0.

Una vez determinado el consumo se debe aplicar un factor de seguridad para prever posibles pérdidas en cables o aumento inusual en la demanda de energía, para el caso de la corriente alterna se debe considerar además la eficiencia del inversor. Por lo cual, consumo corriente continua aplicando el factor de seguridad se calcula como:

$$E'_{CC} = (1 + Fs) * E_{CC} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde:

- E'_{CC} = consumo corriente continua aplicando el factor de seguridad
- Fs = factor de seguridad
- E_{CC} = energía consumida en corriente continua.

Entonces, reemplazando se tiene que:

$$E'_{CC} = (1 + 0,2) * 26,64 = 31,96 \text{ Wh/día}$$

Cálculo del consumo corriente alterna.

$$E'_{CA} = (1 + FS) * \frac{E_{CA}}{\eta_{inv}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

- E'_{CA} = consumo corriente alterna aplicando el factor de seguridad
- E_{CA} = energía consumida en corriente alterna.
- η_{inv} = eficiencia del inversor.

Entonces:

$$E'_{CA} = (1 + 0,2) * \frac{0}{\eta_{inv}} = 0 \text{ Wh/día}$$

Cálculo del consumo diario de energía eléctrica.

$$E_{total} = E'_{CC} + E'_{CA} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

- E_{total} == total consumo diario de energía eléctrica.
- E'_{CC} = consumo corriente continua aplicando el factor de seguridad
- E'_{CA} = consumo corriente alterna aplicando el factor de seguridad.

Entonces:

$$E_{total} = 31,96 + 0 = 31,96 \text{ Wh/día}$$

En el siguiente paso se debe determinar la irradiación global máxima para el peor mes en función de datos meteorológicos y de la orientación y posición del panel solar.

Esto es con el fin de determinar la energía e intensidad máxima que puede ofrecer el panel solar en las peores condiciones, existen varias bases de datos con las que se puede obtener la información inicial, la que se utiliza son datos provistos por la nasa para la ubicación geográfica de la parada:

A continuación, se muestra la ubicación donde se realiza el cálculo para el prototipo.

Tabla 16. Datos Generales de la Ubicación del prototipo

Lugar:	Parada Alimentador Ecovía "El Inca"
Ciudad:	Quito
Cantón:	Distrito Metropolitano de Quito
Provincia:	Pichincha
Latitud:	0° 09' 18.0" S
Longitud:	78° 28' 37.3" W
Temperatura Media:	Entre 10° C y 22° C



Figura 23. Mapa de la Ubicación del Prototipo

Los datos para las coordenadas de la parada obtenidas de la nasa son los detallados en el Anexo 6.

La mayor parte de energía del sol recibida por el panel llega en línea recta, es decir que el módulo recibirá más energía si está ubicado de forma perpendicular a la recta que une la posición de la instalación con el sol. Dado que la tierra se mueve existen dos parámetros que determinan la orientación de la superficie y son el azimut y la inclinación del panel.

Azimut

El ángulo α azimut mide la desviación respecto a la superficie perpendicular de la tierra, para que durante el día el panel capte la mayor cantidad de radiación ($\alpha = 0$). Es posible desviar los paneles solares 20° hacia el Este o el Oeste ($\alpha = \pm 20^\circ$) si es que las condiciones del lugar no son óptimas para el sistema.

Por consiguiente, la superficie debería centrarse en el mediodía, es decir, debería orientarse al ecuador $\alpha = 0$.

En el caso del prototipo el ángulo de azimut es $\alpha = 0^\circ$.

Inclinación

El ángulo de inclinación (β) es aquel que está formado por el plano horizontal a superficie del módulo, esta inclinación de los paneles solares suele ser fija instalaciones con sistemas de comunicaciones y es recomendable que no sea menor que 15° . Se utilizan inclinaciones iguales al valor absoluto de la latitud del lugar, ángulo \varnothing , incrementado en 10° ($\beta = |\varnothing| + 10^\circ$).

Movimiento del sol

El último factor que incide en la energía máxima que se puede obtener del panel en las peores condiciones es declinación solar, la altura máxima de la

trayectoria del sol cambia según el ciclo anual, se puede definir la declinación con la siguiente ecuación:

$$\delta = 23,45 \sin \left(2\pi * \frac{d+284}{365} \right) \quad (\text{Ecuación 6})$$

En la cual δ es la declinación y d es el número del día en el cual se va a calcular la declinación, se toma todos los días de mitad del mes para el cálculo. La radiación máxima sería de cara al sol, definida por la ecuación:

$$\beta = |\phi - \delta| \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde β es el ángulo beta y ϕ es la latitud.

Por lo que la inclinación de la superficie para la latitud donde se encuentra el prototipo -0,155. La siguiente tabla contiene el resultado de los cálculos para los parámetros del prototipo:

Tabla 17. Cálculos β

Mes	Días	Declinación δ	β
Enero	31	-21,27	21,115
Febrero	28	-13,62	13,465
Marzo	31	-2,02	1,865
Abril	30	9,78	9,935
Mayo	31	19,26	19,415
Junio	30	23,37	23,525
Julio	31	21,17	21,325
Agosto	31	13,22	13,375
Septiembre	30	1,69	1,845
Octubre	31	-10,29	10,135
Noviembre	30	-19,49	19,335
Diciembre	31	-23,4	23,245

Irradiación global

El cálculo de la radiación global sobre una superficie inclinada se puede describir mediante una ecuación cuadrática con coeficientes lineales y cuadráticos A y B, respectivamente:

$$G_{dm}(\beta) = A * G_{dm}(0) + B * G_{dm}(0)^2 \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde $G_{dm}(\beta)$ es la irradiación global sobre el plano inclinado, $G_{dm}(0)$ es la irradiación global diaria sobre el plano horizontal, y el coeficiente A es función del ángulo β y de un coeficiente ρ relacionado con la reflectividad del suelo.

También existen valores típicos del coeficiente de reflexión:

Tabla 18. Reflectividad del Suelo.

Suelo	Reflectividad
Seco	0.2
Hierba húmeda	0.3
Desierto de arena	0.4
Nieve	0.6

Mientras que el coeficiente B depende del ángulo de inclinación β y latitud del lugar ϕ . Los valores de A y B se pueden obtener de las tablas enunciadas en el Anexo 7 y Anexo 8 respectivamente, Aplicando las formulas se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 19. Irradiación Global

Mes	Gdm (0)	Días	Declinación δ	Latitud φ	B	A	B	Gdm(β)
Ene	4,14	31	-21,27	-0,155	21,115	0,976	0,0196	437,658
Feb	4,35	28	-13,62	-0,155	13,465	0,986	0,0085	444,994
Mar	4,55	31	-2,02	-0,155	1,865	0,998	0,0004	454,918
Abr	4,33	30	9,78	-0,155	-9,935	0,994	0,0042	438,277
May	4,12	31	19,26	-0,155	-19,415	0,976	0,0178	432,326
Jun	4,02	30	23,37	-0,155	-23,525	0,976	0,0241	431,299
Jul	4,27	31	21,17	-0,155	-21,325	0,976	0,0212	455,406
Ago	4,46	31	13,22	-0,155	-13,375	0,986	0,0009	441,546
Sep	4,27	30	1,69	-0,155	-1,845	0,998	0,0003	426,693
Oct	4,24	31	-10,29	-0,155	10,135	0,994	0,0043	429,186
Nov	4,2	30	-19,49	-0,155	19,335	0,976	0,0174	440,614
Dic	3,98	31	-23,4	-0,155	23,245	0,976	0,0269	431,059

Como paso final se realizan los cálculos necesarios para determinar el número de paneles solares, el número de acumuladores necesarios y la carga máxima del controlador. Es necesario determinar las características del panel fotovoltaico que se va a utilizar, además de decidir el número de días de autonomía que tendrá el sistema.

- **Panel Fotovoltaico**

Voltaje nominal: 6 V

Potencia nominal: 9 W

- **Carga**

Tensión nominal del sistema: 5 V

Energía total consumida por la carga: 31,96 Wh/día

Días de autonomía: 3 días

- **Acumulador**

Tensión nominal: 3.7v

Cálculos finales

La corriente necesaria para el mes peor se calcula en función del consumo total de energía y la irradiación máxima por cada mes por medio de la siguiente fórmula:

$$I_m = \frac{E_{TOTAL}}{G_{dm}(\beta) * V_N} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde I_m es la intensidad del mes peor y V_N es el voltaje nominal del sistema.

El mes con el I_m más alto es considerado el mes peor y los cálculos se realizan en función de ese mes, en el caso del proyecto el I_m es de 1,5 A para el mes de Septiembre.

Debido a las pérdidas, en los diferentes dispositivos tanto el acumulador como el controlador de carga no se utiliza el punto de máxima potencia por lo cual la I_m del peor mes será multiplicada por un factor de seguridad.

$$I_{mMAX} = I_m * (1 + Fs) \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde I_{mMAX} es la intensidad máxima del mes peor y Fs es el factor de seguridad.

Entonces:

$$I_{mMAX} = 1,5 * (1 + 0,2)$$

$$I_{mMAX} = 1,798 \text{ A}$$

Finalmente, aun que en este modelo no es necesario calcular el número de paneles en serie y paralelo debido a la simplicidad de las condiciones, se determina el número de paneles que se debe utilizar para abastecer a la carga con la siguiente ecuación únicamente para fines didácticos:

$$N_{ptotal} = N_{ps} * N_{pp} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde N_{ptotal} es el número total de paneles, N_{ps} es el número de paneles en serie y N_{pp} es el número de paneles en paralelo, obtenidos de la siguiente forma:

Número de paneles en serie

$$N_{ps} = \frac{V_N}{V_{pmax}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

- V_N es el voltaje nominal del sistema.
- V_{pmax} es el voltaje máximo del panel fotovoltaico.

Reemplazando con los datos y escogiendo el valor entero inmediatamente superior, tenemos lo siguiente:

$$N_{ps} = \frac{5}{6} = 0,8 \approx 1 \text{ panel}$$

Número de paneles en paralelo

Se lo calcula en función del valor obtenido como intensidad de corriente máxima I_{mMAX} y el punto de máxima potencia del panel.

$$N_{pp} = \frac{I_{mMAX}}{I_{pmax}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde N_{pp} es el número de paneles en paralelo e I_{pmax} es la corriente de máxima potencia del panel.

$$N_{pp} = \frac{1,798}{1,5} = 1,2 \approx 2 \text{ paneles}$$

Por lo tanto:

$$N_{ptotal} = N_{ps} * N_{pp} \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$N_{ptotal} = 1 * 2 = 2 \text{ paneles solares}$$

Número de acumuladores y capacidad total

El acumulador o batería es determinado por la tensión nominal del sistema, y su capacidad de almacenamiento. Como recomendación no se debe utilizar ensamblajes en paralelo debido al deterioro de los acumuladores y el decrecimiento de la eficiencia.

La capacidad necesaria de las baterías (C_{Nec}), depende de consumo energético del mes peor y el número de días de autonomía con la siguiente ecuación:

$$C_{Nec} = \frac{E_H}{V_N} * N_d \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde N_d es el número de días de autonomía y E_H es la energía necesaria en el mes peor.

$$C_{Nec} = \frac{31,96}{5} * 3 = 19,18 \text{ Ah}$$

La capacidad nominal de las baterías (C_{NOM}), que se necesita está definida por el porcentaje de descarga y se determina mediante:

$$C_{NOM} = \frac{C_{Nec}}{PD} * 100 \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde PD es el porcentaje de descarga, es recomendado no pasar del 80%

$$C_{NOM} = \frac{19,18}{80} * 100 = 23,98 \text{ Ah}$$

Para determinar el número de baterías en serie (N_{bs}) que necesita el panel, se divide la tensión nominal del sistema (V_N), para la tensión nominal de la batería (V_{BAT}).

$$N_{bs} = \frac{V_N}{V_{BAT}} \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$N_{bs} = \frac{5}{3,7} = 1,33 \text{ baterías}$$

Finalmente, se concluye que necesitamos 2 baterías ya que se escoge el valor entero inmediatamente más alto.

Controlador de Carga

Por seguridad se debe utilizar un regulador que disipe un 20% más de la intensidad máxima que puede proporcionar el panel fotovoltaico.

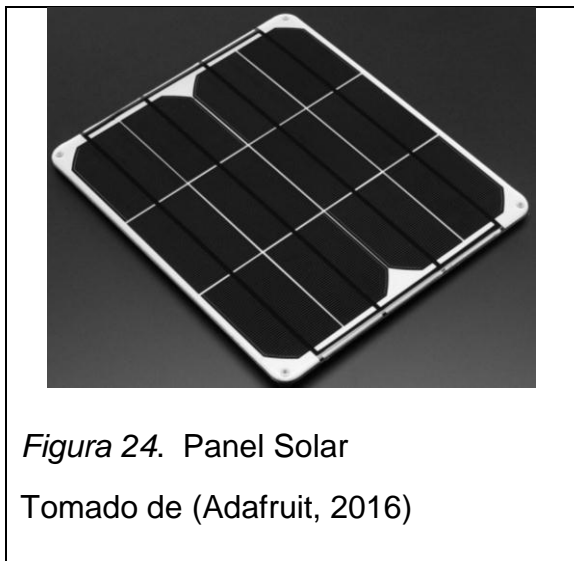
$$I_{r_{max}} = 1,2 * N_{ps} * I_{p_{max}} \quad (\text{Ecuación 18})$$

$$I_{r_{max}} = 1,2 * 1 * 1,5 = 1,8 \text{ A}$$

Dispositivos Adquiridos

En base a los cálculos previos se adquiere cada una de las partes que conforman el sistema de alimentación, adicionalmente se añade un regulador de voltaje para garantizar la tensión estable requerida por la interfaz.

Características del panel solar



Dimensiones:

- Tamaño: 254mm x 223.5mm
- Grosor: 5mm / 0.2"
- Peso: 309g

Especificaciones:

- Celdas monocristalinas - 19% de eficiencia
- Voltaje máximo: 6.0V
- Corriente máxima: 1500mA
- Potencia máxima: 9.0 Watt

El precio del panel solar es de 88,95 dólares (Adafruit).

Características controlador de carga

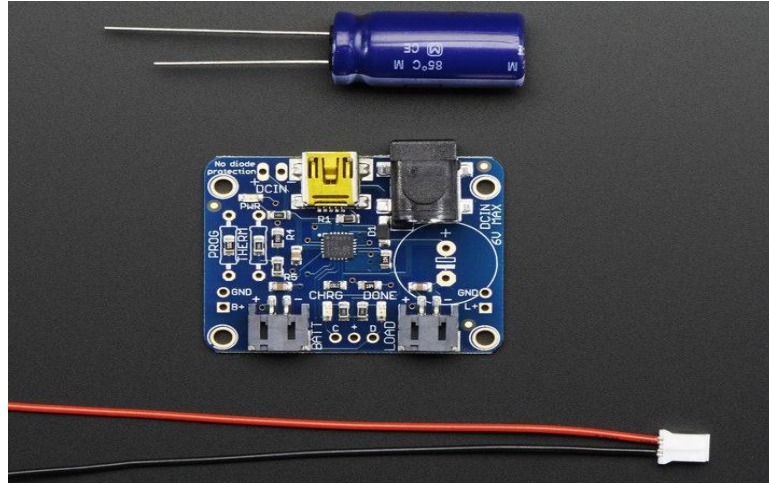


Figura 25. Regulador de Carga
Tomado de (Adafruit, 2016)

Características:

- Voltaje máximo de entrada: 6 v
- Voltaje regulado de la carga: 4,42 v
- Indicadores de batería baja
- Control de temperatura de la batería
- Costo: 17,50\$

Se detallan las características del Chip controlador de carga en el Anexo 9.

Regulador de Voltaje

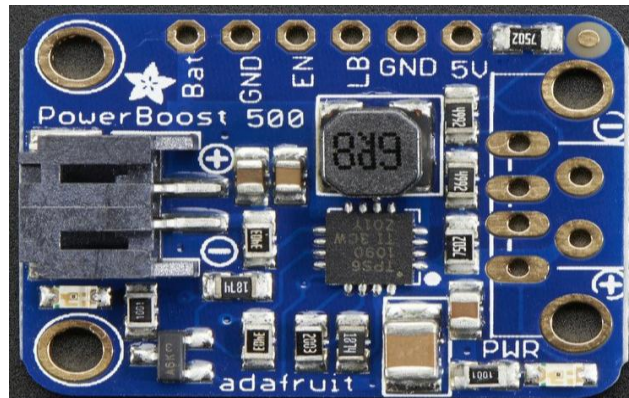


Figura 26. Regulador de Voltaje

PowerBoost 500 Básico - 5V USB Boost @ 500mA de 1.8V + :

- Dimensiones: 28 mm x 22 mm x 2 mm / 1,1 "x 0,9" x 0,08 "
- Altura w / JST: 7 mm / 0,3 "
- Peso: 3g
- Costo: 9,95\$

Este módulo convertidor de potencia DC / DC se puede ejecutar desde 1.8V baterías o superior, y convertir ese voltaje de 5.2V DC para ejecutar proyectos de 5V. Además, el PowerBoost 500 tiene en el centro un convertidor elevador TPS61090 de TI , el cual brinda las siguientes características:

- Interruptor interno 2A, es decir que se puede obtener 500mA + desde un mínimo de 1,8 V, 750 mA + de 2 baterías de NiMH o alcalinas, y al menos 1.000 mA desde un LiPoly batería de 3,7 V / Li-Ion o NiMH 3 / alcalinas.

- Funcionamiento síncrono significa que se puede desconectar por completo la salida conectando el pin enable a tierra. Esto apaga completamente la salida.
- Indicador de batería baja LED se ilumina en rojo cuando la tensión cae por debajo de 3.2V.
- Soldadura en el conector USB incluido
- 90% de eficiencia operativa en la mayoría de los casos y baja corriente de reposo: 5 mA cuando está activado y el LED de alimentación está encendido, 20uA cuando está desactivado.

2.6 Esquema del prototipo

Determinados los sistemas y los componentes que los conforman, se especifica el esquema de los sistemas del prototipo, el costo de los dispositivos que lo conforman y en resumen la función que cumple cada sistema.

Se separa en tres bloques el prototipo, tomando en cuenta las funciones que estos cumplen de manera individual, el sistema de alimentación encargado de brindar energía suficiente para todo el ensamblaje, la interface entre el usuario y el procesador, el sistema de comunicación que obtiene los datos a ser procesados.

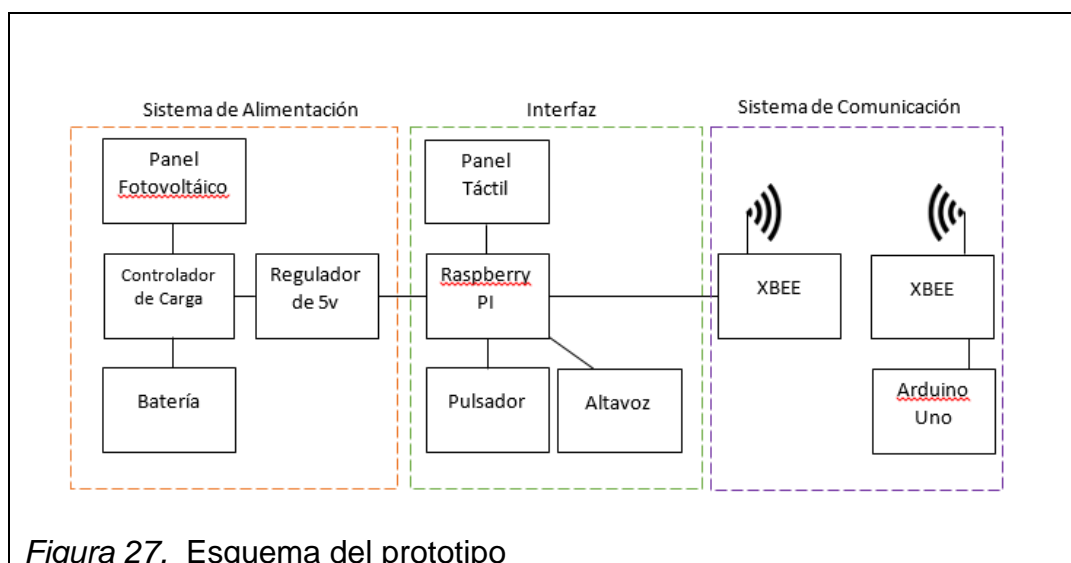


Figura 27. Esquema del prototipo

A continuación, se resume los componentes por sistema y su función:

- El sistema de Alimentación consta de un panel fotovoltaico, un controlador de carga para distribuir la energía obtenida por el panel hacia el regulador de voltaje y la batería que acumula la energía restante para las horas que no hay sol. Su función es proveer de energía al prototipo.
- La Interfaz es el núcleo del prototipo y consta con un SBC Raspberry Pi 2B y un panel táctil compatible con el mismo, como dispositivos de entrada un pulsador y de salida un altavoz. Está encargado de procesar la información y alojar la interfaz de usuario interactiva.
- El sistema de comunicación encargado de transmitir los datos relevantes con el fin de determinar la posición de la unidad de transporte con respecto a la parada. Consta de módulos Xbee y un microcontrolador Arduino.

Los componentes del sistema se adquieren de las tiendas tecnológicas Adafruit y Sparkfun que proveen todos los dispositivos para este proyecto, los precios son referenciales a la fecha de realización del documento.

Tabla 20. Precios de los Dispositivos

	Dispositivo	Proveedor	Precio \$
Sistema de alimentación	Panel Fotovoltáico	Adafruit	88,95
	Controlador de carga	Adafruit	17,5
	Batería	Adafruit	14,95
	Regulador de voltaje	Adafruit	9,95
Interfaz	Raspberry Pi	Adafruit	39,95

	2B		
	Panel Táctil	Adafruit	79,95
	Pulsador	Adafruit	2,95
	Altavoz	Adafruit	9,95
Sistema de comunicación	2 Xbee S1	Adafruit	22,95
	Xbee Explorer	Sparkfun	24,95
	Xbee shield	Sparkfun	14,95
	Arduino	Sparkfun	24,95
Total			351,95 \$

En conclusión, el costo total es de 352 dólares aproximadamente, se puede disminuir el costo cambiando el panel táctil por uno de menor tamaño, se cumple con el objetivo del capítulo de diseñar el prototipo seleccionando las partes de cada sistema para conseguir un dispositivo eficiente, de bajo consumo energético y con autonomía. Además de identificar los requerimientos de la interfaz de usuario para proveer una herramienta útil e intuitiva para que la interacción sea fácil.

El siguiente capítulo detalla la implementación de los sistemas dando una guía clara de los pasos a seguir para configurar los componentes. La integración de los dispositivos y el ensamblaje del prototipo especificando el producto final en base a los conceptos iniciales y el diseño que se realiza en este capítulo. Igualmente, el código utilizado para generar la interfaz de usuario y los servicios que permiten la adquisición y tratamiento de los datos, es señalado en la próxima sección del documento.

CAPÍTULO III

3. REALIZACIÓN

El objetivo general del capítulo es ensamblar el prototipo final, configurar la interfaz de usuario y establecer la comunicación entre el dispositivo en la parada y en la unidad de transporte. En base al diseño previo y la preselección de los componentes, se determina el esquema general de cada sistema detallando los elementos que lo componen y como acoplarlos.

La implementación de la fuente de energía describe los componentes utilizados y su función además de brindar una guía clara de cómo integrar los elementos seleccionados.

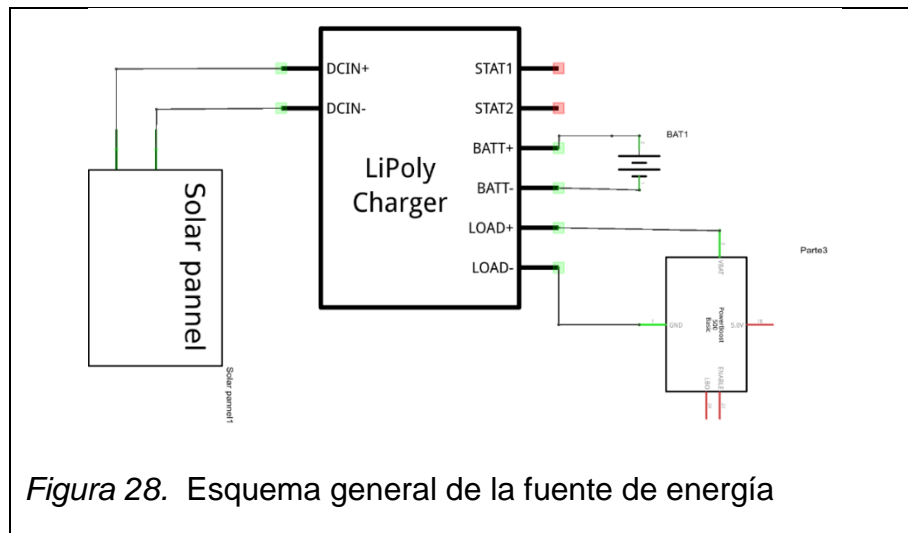
En la sección de la interfaz, se muestra como configurar la SBC para alojar un aplicativo interactivo, así como el código que permite que el aplicativo cumpla con los requerimientos definidos en el capítulo 2.

Para el sistema de comunicación la configuración necesaria que requieren los dispositivos para intercambiar información, los programas utilizados y los parámetros definidos para el tipo de enlace.

3.1 Implementación fuente de energía

En el capítulo anterior se determinó que usar paneles solares es la mejor alternativa, por todas las ventajas descritas anteriormente, para alimentar de energía al prototipo, ya que si ocurre algún apagón en el sector donde se encuentra el dispositivo , el mismo seguiría funcionando con normalidad y sin problemas, a diferencia de si usamos la red eléctrica. También se realizó el cálculo del número de paneles solares y acumuladores necesarios para abastecer la demanda de los componentes.

En esta sección se detalla cómo integrar el panel solar, el controlador de carga, la batería y el regulador de voltaje para brindar energía constante y suficiente al SBC. El esquema general se muestra en la siguiente figura:



Está compuesto por el panel solar monocristalino dimensionado en el capítulo pasado que provee de energía al controlador de carga, este está compuesto principalmente por el chip MCP73871 cuyo funcionamiento se detalla a continuación.

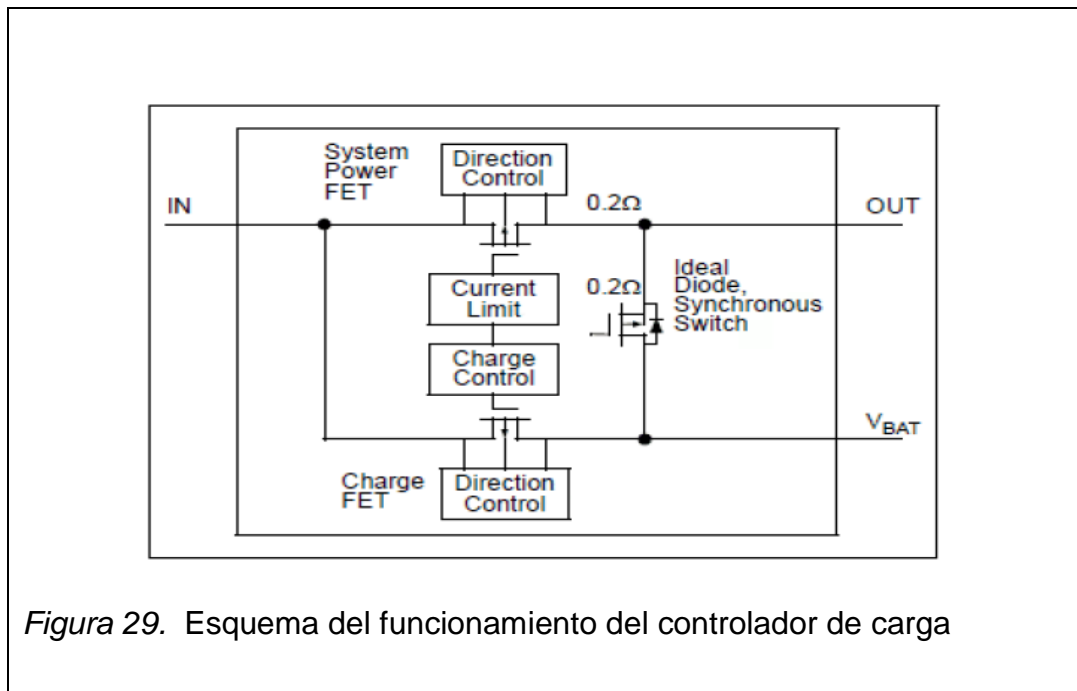
El chip MCP73871 que está incluido en el controlador de carga cumple la función de definir la fuente de energía que abastece a la salida del controlador. Obtiene automáticamente energía para la carga del sistema desde una batería de Li-Ion o una fuente de voltaje por medio de un adaptador AC-DC o por el puerto USB. La autonomía de selección está dada mediante el uso de un algoritmo CC/CV (Constant Current / Constant Voltaje) de carga constante. Puede ser seteado para trabajar en límites de voltaje de 4.10V, 4.20V, 4.35V o 4.40V.

Se puede incluir una termocupla para monitorear la temperatura de la batería, esto optimiza el tiempo de ciclo de carga de la batería y garantizar un sistema eficiente en condiciones de demanda altas.

El chip MCP73871 incluye un indicador de batería baja, un indicador de potencia buena y dos del estado de carga, la temperatura de operación del

dispositivo es de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las características de operación y documentación detallada del chip se encuentran en la sección de anexos.

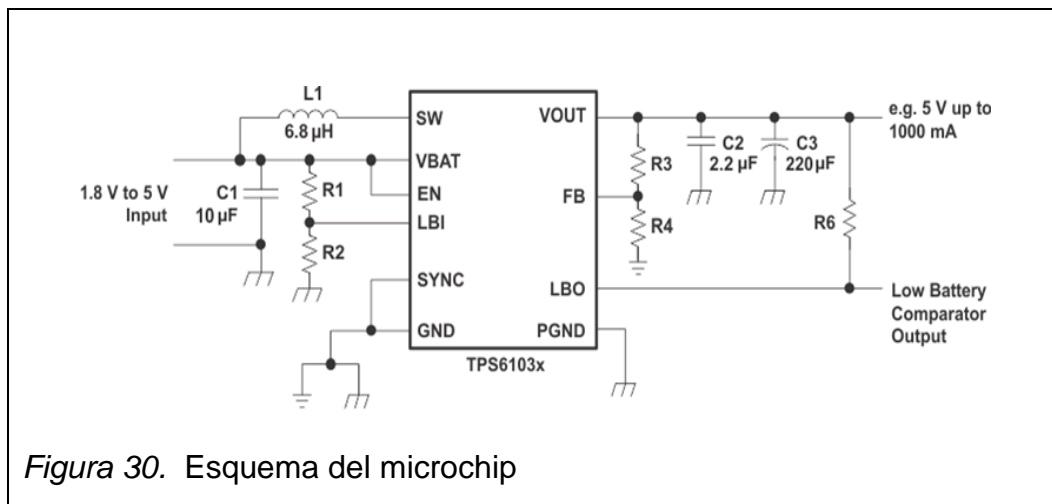
En la siguiente figura se muestra el funcionamiento general del controlador de carga, donde la fuente de entrada para el prototipo es el panel solar.



La salida del sistema va al regulador que asegura un voltaje constante en el sistema de 5V DC, está compuesto principalmente por un microchip TPS61030.

El cual provee una fuente para sistemas que utilizan fuentes como baterías, el conversor genera una fuente de voltaje constante la cual puede ser ajustada mediante divisores de voltaje externos o internamente en el microchip. Su eficiencia es alta y es capaz de entregar hasta 1A y 5V a partir de 1.8V en la entrada.

La eficiencia del microchip es del 96%, está basado en una frecuencia fija, ancho de pulso modulado por PWM y un rectificador para obtener la máxima eficiencia. Cuando existe una demanda baja el conversor entra en modo de bajo consumo, pero puede ser deshabilitado. La información del microchip se encuentra en el anexo 9 y el esquema es el siguiente:



Para realizar la implementación se basó en las recomendaciones del fabricante de las partes adquiridas. A continuación, se detalla una guía de como ensamblar correctamente el sistema.

- El conector original del panel solar adquirido es de 1.3mm y debe ser adaptado para acoplarse al controlador de carga que es de 2.1mm por lo que se debe cortar el extremo y solar el conector adecuado.



Se deben descubrir los cables para poder acoplarlos al nuevo conector.



Una vez descubiertos los cables del panel solar y del conector se sueldan y recubren para evitar que hagan contacto entre sí.



La preparación del controlador de carga es sencilla solo se debe soldar un capacitor en el lugar indicado por el fabricante, la función del capacitor es filtrar la señal de entrada, estabilizando la entrada suministrada por el panel solar, por recomendación el capacitor debe ser de $4700\mu\text{F}$ por el amperaje al cual se trabaja.



Figura 34. Soldadura del capacitor en la placa

Adicionalmente si se desea se pueden incorporar indicadores externos de carga integrando LED en los conectores mostrados en la siguiente figura:

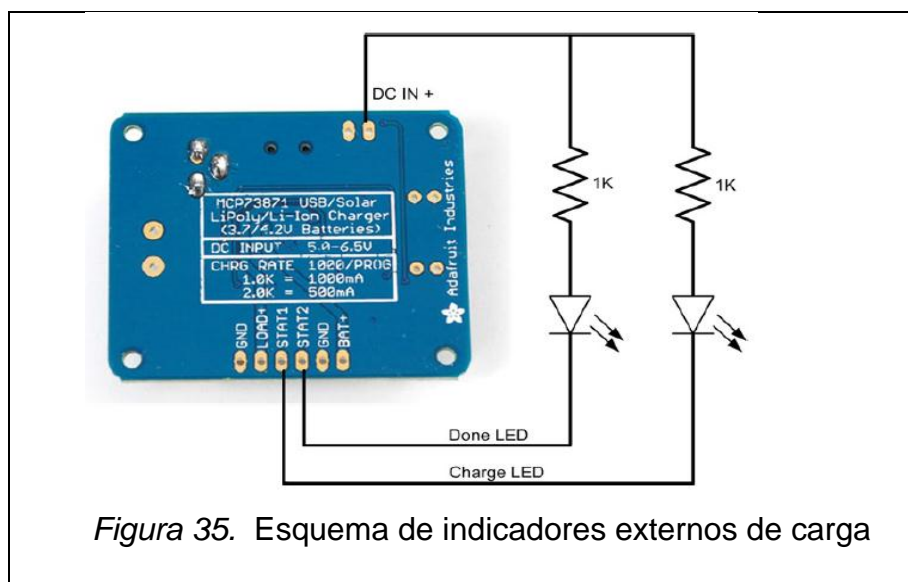
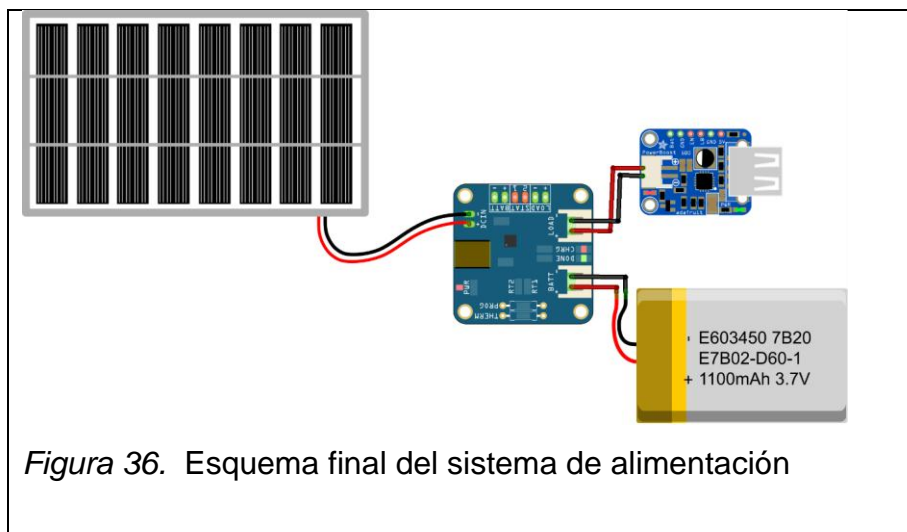


Figura 35. Esquema de indicadores externos de carga

El ensamblaje final del sistema de alimentación se muestra en la figura siguiente, la salida del mismo se conecta directamente al SBC Raspberry Pi mediante cable USB.



Continuando con la implementación se describe en la siguiente sección la configuración de la interfaz.

3.2 Implementación Raspberry Pi e Interfaz

En esta sección se describe el proceso para generar una interfaz con el SBC seleccionado, los pasos de instalación del sistema que alojará el aplicativo y la configuración de las librerías necesarias para que este se ejecute.

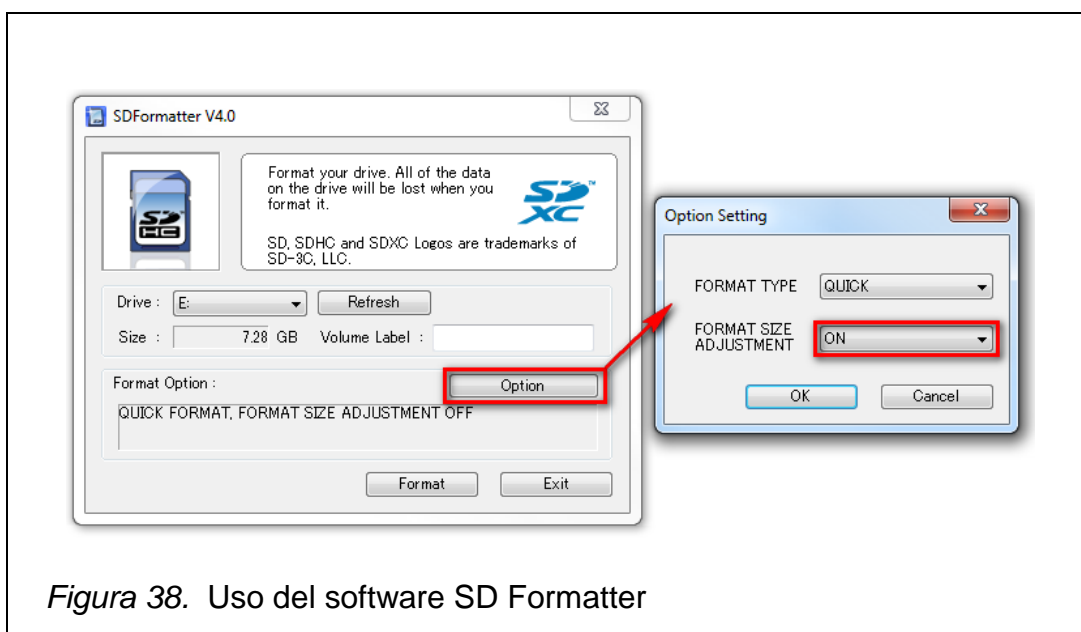
3.2.1 Configuración Raspberry Pi

Existen varios sistemas operativos que se puede instalar en Raspberry, la herramienta recomendada para instalar cualquiera de estos sistemas oficiales es Noobs el cual se puede descargar de la página oficial <https://www.raspberrypi.org/downloads/noobs/>. La función de Noobs es brindar al usuario la posibilidad de escoger el sistema operativo e instalarlo fácilmente en la placa, a continuación, se detalla los pasos que se utilizó para incorporar Raspbian al prototipo.

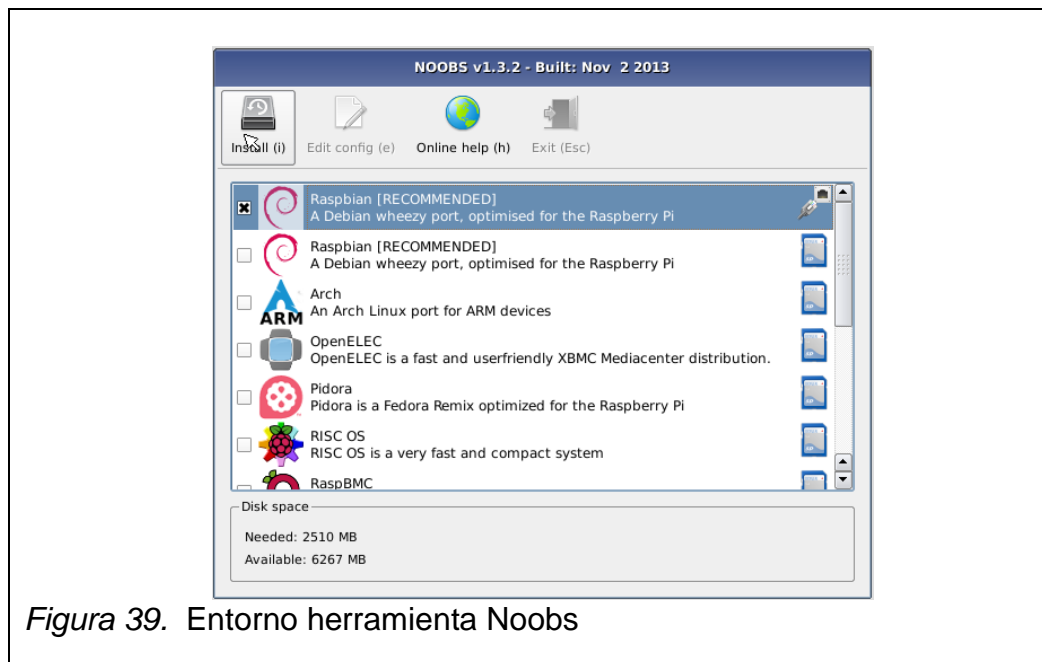
Descargar Noobs de la web oficial de Raspberry.



Se recomienda utilizar una tarjeta SD de 8GB de capacidad, se debe formatear. Raspberry recomienda utilizar el software SD Formatter para realizar este requerimiento.



Descomprimir y copiar los archivos en la tarjeta SD formateada. Insertar la tarjeta en el Raspberry y encender el Raspberry. La primera vez que inicia se puede escoger el sistema operativo a instalar, en el caso del prototipo se seleccionó Raspbi



Una vez seleccionado esperamos a que el sistema se instale totalmente.



Finalmente se puede iniciar el raspberry en modo gráfico con el comando de consola startx. Los datos de inicio por defecto son:

- Username: pi
- Password: raspberry



Figura 41. Esquema del prototipo

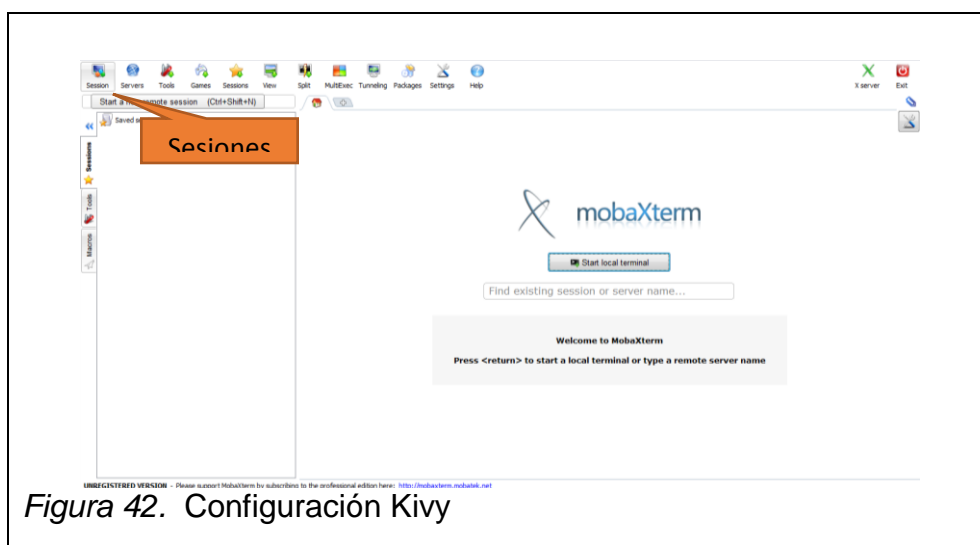
Continuando la configuración se debe cargar las librerías necesarias para generar una interfaz interactiva para esto se instala Kivy en Raspbian.

3.2.2 Configuración Kivy

Kivy es una librería de código abierto de Python utilizada para el desarrollo de aplicaciones que utilizan interfaces de usuario como las aplicaciones multi-touch. Es multiplataforma permitiendo que el código se ejecute en Linux, Windows, OS X, Android e iOS. Existen dos formas de obtener Kivy en RPi, la primera es instalar manualmente Kivy dentro de Raspbian y la segunda es descargar la distribución KivyPie directamente como sistema operativo del RPi. Se opta por la primera opción por utilizar la distribución oficial de Raspberry Pi.

Se utiliza el software MobaXterm para acceder mediante el protocolo SSH (secure shell) y controlar mediante intérprete de comandos al RPi, esto es debido a que no se cuenta con dispositivos periféricos para controlarlo directamente, la instalación del programa se encuentra detallada en la página web del propietario del software. Se procede a conectar el RPi a la red lan mediante el puerto ethernet y se ejecuta MobaXterm.

Se crea una nueva sesión dando clic en el botón de Sesiones.



Se selecciona la opción de SSH para crear la sesión y se colocan los parámetros de dirección de host el cual es la dirección de red del RPi y username, por defecto Raspbian viene con el usuario pi y contraseña raspberry. Clic en Ok y colocar la contraseña. Como primera instancia se debe actualizar los repositorios de Raspbian con el comando `sudo apt-get update`.

Posteriormente, se instalan las dependencias necesarias con los siguientes comandos:

- `sudo apt-get install libsd12-dev libsd12-image-dev libsd12-mixer-dev libsd12-ttf-dev`
- `sudo apt-get install pkg-config libgl1-mesa-dev libgles2-mesa-dev`
- `sudo apt-get install python-setuptools libgstreamer1.0-dev git-core`

- `sudo apt-get install gstreamer1.0-plugins-{bad,base,good,ugly}`
- `sudo apt-get install gstreamer1.0-{omx,alsa} python-dev cython`

Finalmente se instala Kivy en el sistema con el siguiente comando:

- `sudo pip install git+https://github.com/kivy/kivy.git@master`

Instalado Kivy se puede utilizar sus librerías para cumplir con el objetivo de generar una interfaz interactiva de fácil uso que ayude al usuario a obtener información útil con los requerimientos definidos en el capítulo anterior.

3.2.3 Implementación interfaz de usuario

Existen varias librerías que permiten a la interfaz cumplir con los requerimientos planteados, la documentación de cada una de estas se encuentra en el sitio web oficial de kivy. Se enuncia las librerías más importantes utilizadas y la función que cumple en la interacción entre el usuario y el aplicativo.

Layout

Son contenedores utilizados para ubicar elementos ordenados, dependiendo del tipo de layout se puede generar una interfaz que cumpla con requerimientos de calidad, en el proyecto se utiliza:

GridLayout que permite ubicar los elementos ordenados como una matriz de filas y columnas.

BoxLayout genera un contenedor horizontal o vertical ordenando los elementos uno tras otro.

Floatlayout no tiene restricciones en este es importante colocar la ubicación de cada elemento así como su tamaño.

Button

Esta librería contiene las definiciones de un botón virtual y los métodos o acciones que se ejecutan dependiendo si su estado cambia al ser presionado. Entre sus atributos tenemos "text" que permite colocar la etiqueta del botón y font_size que es el tamaño del texto.

Para asignar una acción al botón se define el método y se lo asigna con el comando `button.bind(on_press=metodo)`.

Image

Permite agregar y desplegar una imagen a un contenedor el atributo que permite obtener la imagen es "source" en el cual se coloca la ruta del fichero a presentar.

Video

De manera análoga a la anterior, esta librería despliega un archivo de video en el formato determinado por la plataforma y los plugins instalados.

Clock

Permite agendar ejecuciones de funciones en un tiempo posterior, una vez o en intervalos. Esto nos permite crear una función que se ejecuta cada cierto tiempo para cumplir un cierto requisito, en el caso del prototipo se lo utilizó para monitorear el puerto serial en espera de mensajes emitidos por los módulos Xbee finales.

Carousel

Esta librería provee un contenedor de objetos que permite al usuario desplazarse entre ellos como diapositivas. Se puede agregar cualquier tipo de

objetos al contenedor además de configurar la dirección de la transición para que sea horizontal o vertical. Permite que los objetos desplegados sigan una secuencia o un bucle repetitivo.

En el proyecto se utiliza la librería para permitir al usuario obtener información de las rutas que circulan por la parada en la que se encuentra y el código que se genera utilizando las librerías en lenguaje python y para cumplir los requerimientos se lo puede encontrar en la sección de anexos. Se genera un archivo de texto plano con la extensión .py conteniendo el código fuente y finalmente se ejecuta en el terminal del raspbian el comando:

- `python nombredelprograma.py`

Ejecutándose así el aplicativo con el siguiente resultado:



Figura 43. Resultado gráfico de la aplicación de librerías

En la sección de resultados se presenta la funcionalidad de la interfaz, detallando cada uno de sus elementos y como esos interactúan con el usuario.

3.3 Configuración pulsador externo

Uno de los objetivos del presente proyecto es el permitir a usuarios con discapacidad visual, obtener información útil interactuando con la parada. Con el fin de brindar datos de la parada en la cual se ubica y las rutas que circulan por la misma, por lo que se agregan pulsadores externos de fácil acceso, y se genera un servicio que está corriendo en el procesador cuya función es censar los puertos de la interfaz GPIO del RPi. Cuando esta emita una señal disparar la ejecución del audio correspondiente.

El esquema general de conexión para cada botón es el siguiente:

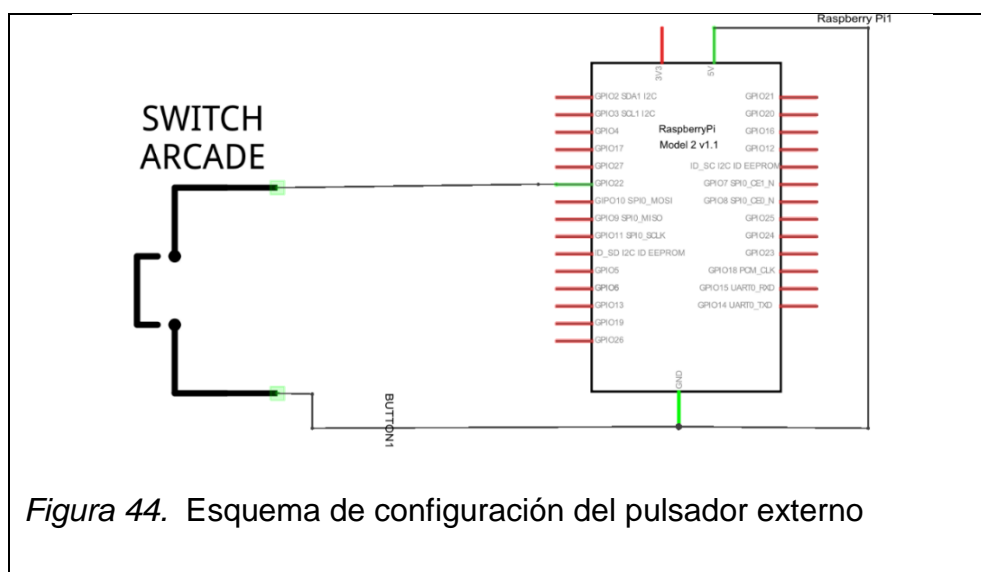


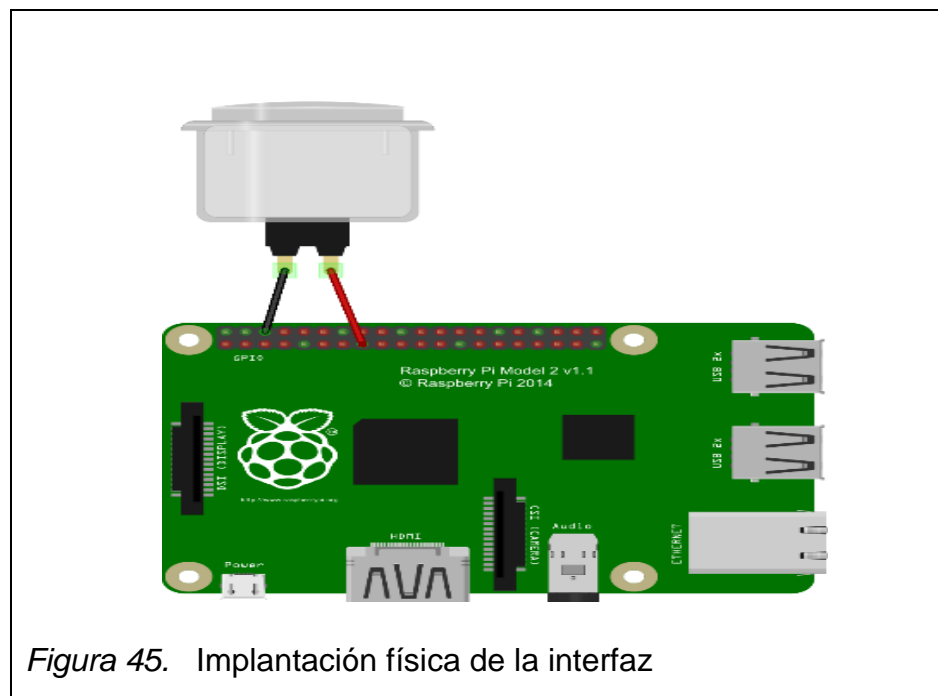
Figura 44. Esquema de configuración del pulsador externo

Para el prototipo se genera audios en función de cada uno de los botones acordes con botones virtuales de la interfaz gráfica, además se coloca rótulos en el sistema braille identificando la función de cada pulsador. El servicio que se ejecuta en el RPi está realizado en Python.

Las librerías utilizadas incluyen el puerto GPIO del Raspberry el cual fue descrito en los capítulos anteriores, y la definición de botón en Kivy. La clase se encarga de cambiar el estado del botón virtual de la interfaz para simular la acción física de presionar el pulsador, adicionalmente se agregan validaciones para priorizar la reproducción del audio si es presionado el pulsador y otra acción en la interfaz se está llevando a cabo.

El funcionamiento del código consta en censar los puertos del GPIO del RPi se define como entrada a cada uno de los puertos y al pulsar el botón el voltaje en este será de 0v obteniendo como estado un cero lógico el cual se condiciona con cada acción para reproducir el audio correspondiente.

La implantación física de la interfaz sería la siguiente, adicionalmente se incorpora el panel táctil en el puerto DSI para usuarios en general y personas con discapacidad visual baja y un altavoz en la entrada de audio de 3.5mm



3.4 Instalación Base de Datos

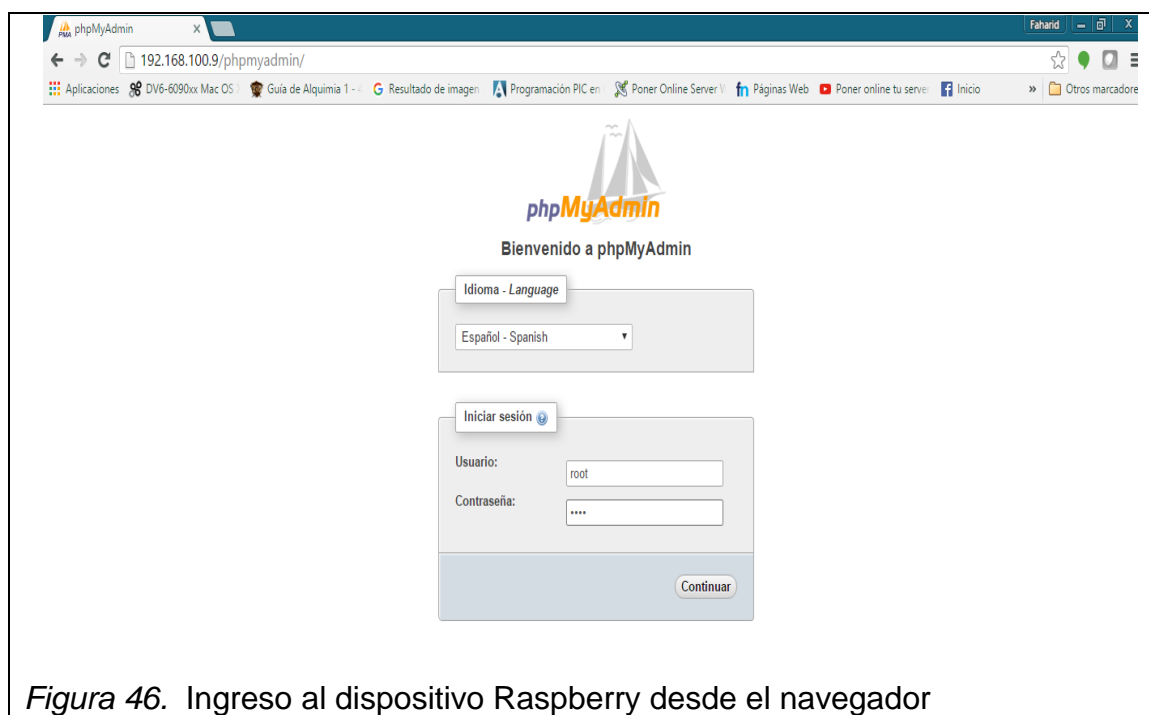
Se va a alojar un servidor web y una base de datos en el dispositivo, se utiliza software libre y compatible con Raspbian, los programas a instalar son Apache, MySQL y PHPMyAdmin, con los siguientes pasos:

- Instalación Apache server y php, para esto es necesario dar permisos al grupo que usa Apache por defecto y usamos los siguientes comandos:
 - `sudo addgroup www-data`
 - `sudo usermod -a -G www-data www-data`
 - `sudo apt-get update`
 - `sudo apt-get install apache2 php5 libapache2-mod-php5`
 - `sudo /etc/init.d/apache2 restart`
- Instalación MySQL y PHPMyAdmin, para esto es necesario activar la interfaz de loopback con el fin de instalar la base de datos usando los siguientes comandos.
 - `sudo ifup lo`
 - `sudo apt-get install mysql-server mysql-client php5-mysql phpmyadmin`

Se inicia la configuración de MySQL donde se indica la contraseña del usuario root y se define si se utiliza apache tal como lo vemos en el anexo 10.

De igual manera para PHPMyAdmin se inicia el asistente de configuración donde se debe suministrar las contraseñas para administrador de la base de datos y de la interfaz web como se lo detalla en el anexo 11.

Se puede comprobar la correcta instalación ingresando desde el navegador a la dirección IP del dispositivo Raspberry o desde el dispositivo a localhost.



3.4.1 Configuración base de datos

Ingresar al panel de phpMyAdmin con los datos de inicio de sesión colocados en la instalación y seleccionar nueva en el panel del lado izquierdo, Definir el nombre de la base de datos y crear.

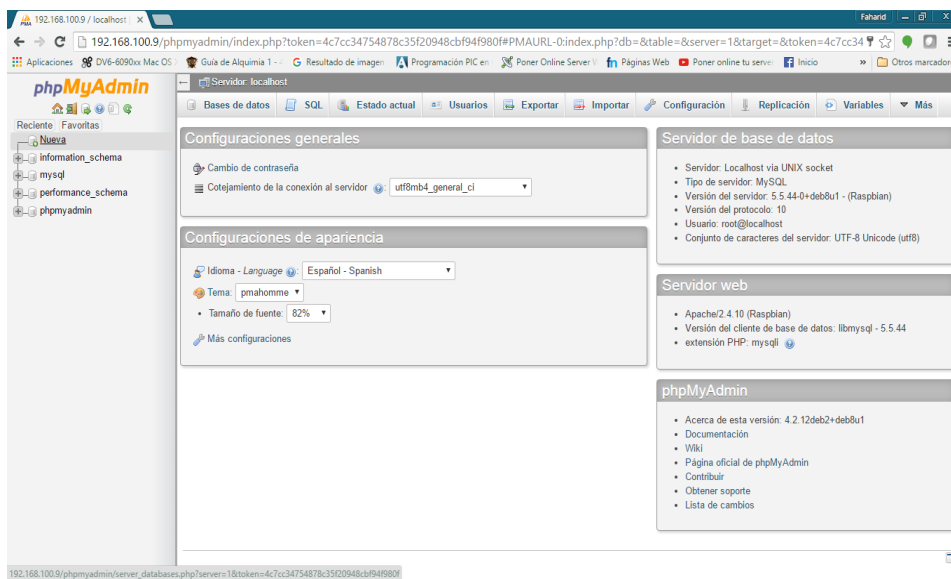


Figura 47. Panel phpMyAdmin

Para crear una nueva tabla en la base de datos se selecciona el esquema y se define el nombre de la tabla.

Es necesario definir el tipo de datos de cada columna de las tablas, y las claves primarias en este caso son:

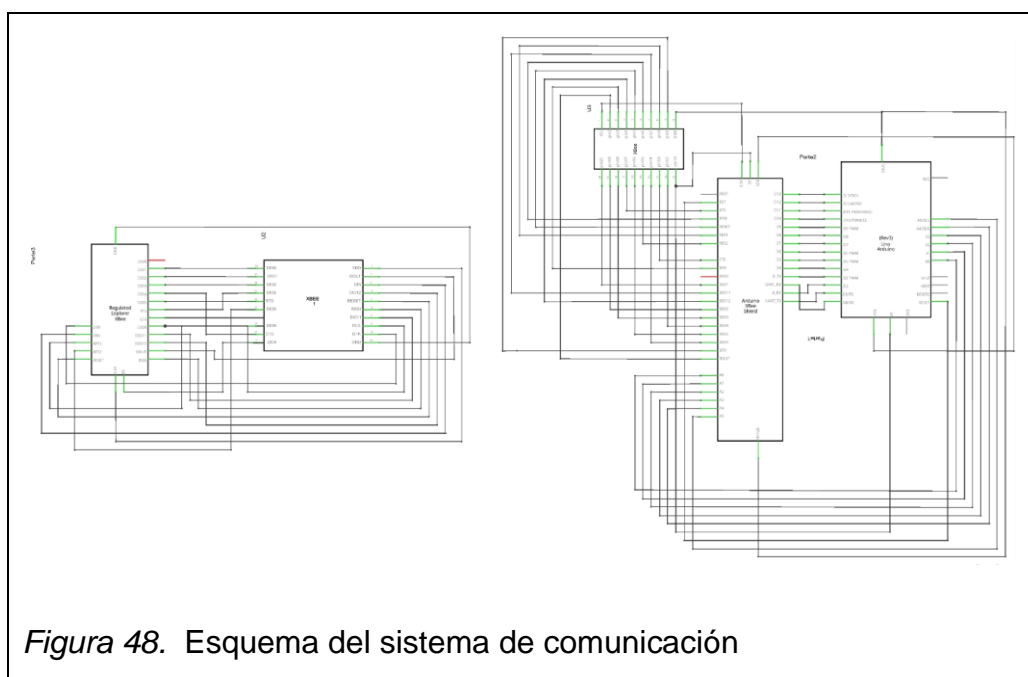
- Bus: que es el identificador de la unidad de transporte que esta por arribar.
- Id: es el identificador de registro con valor numérico
- Fecha: fecha en la cual el registro fue creado
- Hora: hora en la cual el registro fue creado

Estos datos se llenan cuando la unidad de transporte entra en rango de comunicación y envía datos a la parada, con el uso de la librería MySQL previamente instalada se puede generar una conexión a la base de datos, y mediante la instrucción insert guardar la hora y la fecha de la unidad que se aproxima.

3.5 Implementación sistema de comunicación

Se detalla el estudio de cobertura y las configuraciones necesarias para la correcta interacción entre los dispositivos de interface y el sistema de comunicación, el software requerido es de descarga gratuita en los sitios oficiales de los diferentes productos, así como manuales de configuración y proyectos similares ya implementados.

La figura siguiente detalla el esquema del sistema de comunicación



3.6 Simulación cobertura con Radio Mobile

Se define las coordenadas principales para los módulos y el posicionamiento central del mapa, el cual será el de la parada con las siguientes coordenadas $0^{\circ}09'18.8''S$ $78^{\circ}28'37.3''W$.

A continuación, se colocan los parámetros de la antena dados por el datasheet del fabricante en el anexo 5 como la potencia de transmisión 1mW, el umbral de recepción de -92dBm ganancia de 0 dBi, finalmente la altura de la antena la cual colocamos 2 metros por seguridad en base al cálculo realizado en la sección de diseño de la zona de Fresnel.

Lista de todos los sistemas

- Sistema 1
- Sistema 2
- Sistema 3
- Sistema 4
- Sistema 5
- Sistema 6
- Sistema 7
- Sistema 8
- Sistema 9
- Sistema 10
- Sistema 11
- Sistema 12
- Sistema 13
- Sistema 14
- Sistema 15
- Sistema 16
- Sistema 17
- Sistema 18
- Sistema 19
- Sistema 20
- Sistema 21
- Sistema 22
- Sistema 23
- Sistema 24
- Sistema 25

Parámetros por defecto Copiar Red Pegar Red Cancelar OK

Parámetros Topología Miembros **Sistemas** Estilo

00 Seleccionar desde VHF ... UHF ...

Nombre del sistema Sistema 1

Potencia del Transmisor (Watt) 0.001 (dBm) 0

Umbral del receptor (µV) 5.6234 (dBm) -92

Pérdida de la línea (dB) 0 (Cable+cavidades+conectores)

Tipo de antena omni.ant Ver

Ganancia de antena (dBi) 0 (dBd) -2.15

Altura de antena (m) 2 (Sobre el suelo)

Pérdida adicional cable (dB/m) 0 (Si la altura de la antena difiere)

Agregar a Radiosys.dat Remover del Radiosys.dat

Figura 51. Parámetros de la antena

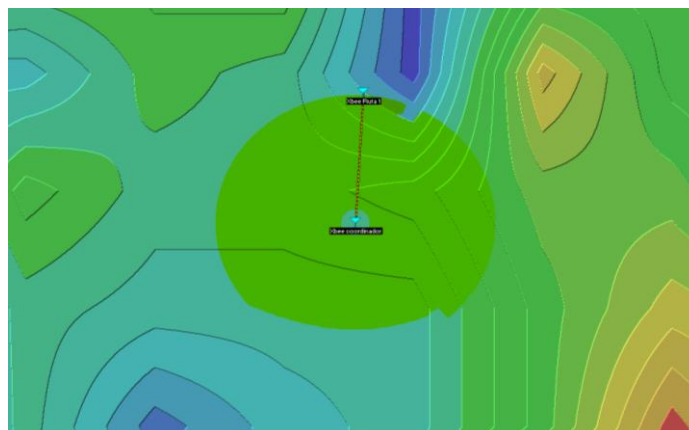


Figura 52. Área de cobertura

Con los nodos posicionados en este caso se realiza el estudio con un nodo coordinador y un nodo final y se realiza la simulación en la que se puede apreciar que el área de cobertura es ideal, el nodo coordinador alcanza al nodo final sin interrupciones. El enlace de radio, disponible en el Anexo 14, muestra que los parámetros son los adecuados para transmitir los datos sin pérdidas significativas.

3.7 Configuración comunicación Xbee

Para configurar los módulos Xbee de manera rápida se requiere el software X-CTU, su instalación es sencilla y esta detallada en la web del propietario, una vez realizada la instalación se conecta el módulo Xbee mediante USB con el adaptador XBee Explorer y se procede a su configuración.

Dadas las definiciones en capítulos previos la red Xbee generada es una red en estrella y consta de un nodo coordinador y varios nodos finales, el nodo coordinador es el que se ubica en la parada y está en escucha de transmisiones de los nodos finales que se encuentran en las unidades de transporte.

Para configurar el nodo coordinador y los nodos finales el procedimiento es el mismo, solo se varía el parámetro del tipo en la interfaz de configuración. Para esto se selecciona el puerto en el cual está conectado el módulo xbee.

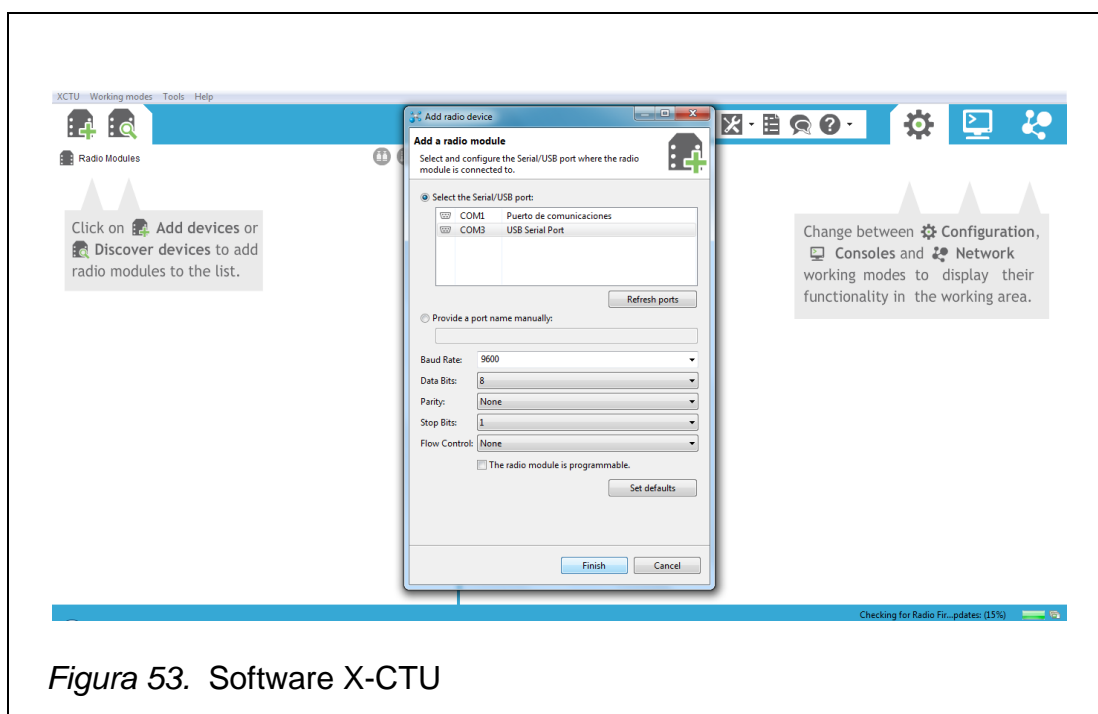


Figura 53. Software X-CTU

Una vez realizado esto se cargan los parámetros por defecto del mismo, si se desea se puede actualizar el firmware del módulo.

Los parámetros que permiten crear una red xbee son los siguientes:

- Pan ID: Es el identificador de la red, todos los Xbee pertenecientes a la red deben tener el mismo Pan ID.
- Coordinator: define si el módulo xbee es un nodo coordinador o dispositivo final.
- AES Encryption Enable: habilita el cifrado AES para la comunicación de paquetes en la red xbee.
- AES Encryption Key: Es la clave usada para acceder a la red con cifrado AES.



Figura 54. Ingreso de parámetros

El PAN ID seleccionado para la red Xbee del prototipo es el 1111 este nodo se define como el nodo Coordinador y estará conectado al RPi.



Figura 55. Selección del PAN ID

Se habilita el cifrado por encriptación AES con clave 123, esto se debe configurar en todos los nodos, una vez colocados los parámetros definidos en el nodo se da clic en Write para que se guarde en el módulo Xbee.

3.8 Configuración del Aplicativo en Raspberry

Partimos con el sistema operativo Rasbian instalado en el RPi, como se detalló en secciones anteriores. Para poder realizar la comunicación serial entre el módulo XBee coordinador y los dispositivos finales es necesario instalar la librería python-serial, la instalación de esta librería es simple y se logra con los siguientes comandos:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade
sudo apt-get install python-serial
```

Una vez inicializado el sistema operativo e instalada la librería, la sección del código del programa podrá ser ejecutada, el algoritmo implementado para cumplir con el requerimiento realiza las siguientes acciones:

- Se define el puerto donde el Xbee coordinador está conectado para recibir comunicación serial y para generar un tiempo de lectura de puerto. Una vez definido el puerto se procede a leer la información que llega al puerto y dependiendo de la data recibida ejecuta los archivos de audio correspondientes a la unidad que se aproxima. Además de emitir un mensaje al módulo Xbee del bus indicando que ya recibió la información para evitar bloqueo.
- El mensaje que contiene los archivos de audio detalla datos relevantes de la unidad la ruta que esta sigue y la próxima estación a la que se dirige. Las validaciones que se realizan evitan que el mensaje pueda ser interrumpido al seleccionar una de las opciones de la interfaz además de finalizar cualquier audio o video ejecutándose pues se define al mensaje de aproximación de la unidad como prioritario.

3.9 Configuración Arduino

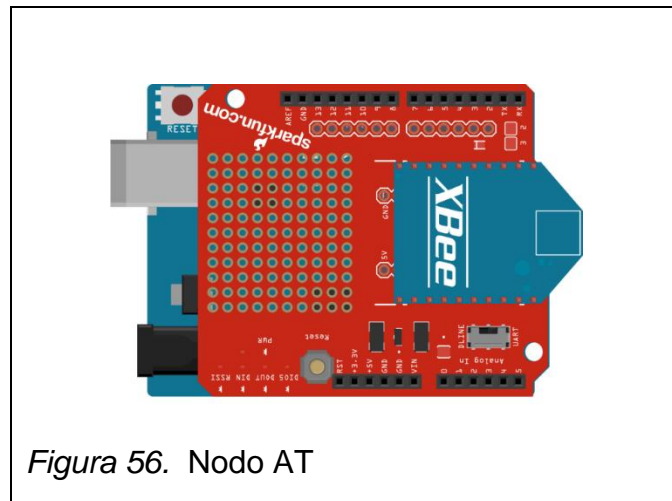
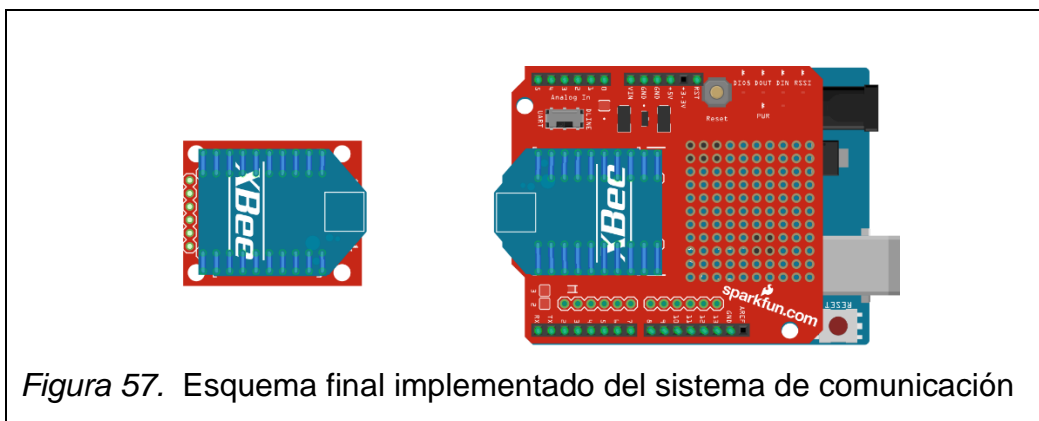


Figura 56. Nodo AT

El nodo AT repetidor está conformado por una placa Arduino y su respectivo microcontrolador atmega328, un Xbee Shield como adaptador y el módulo 107 Xbee. Su función es emitir un mensaje hacia el nodo Coordinador para ser interpretado por el mismo.

Se define que el mensaje para el prototipo será el número de la unidad de transporte a la que está asignado el nodo xbee. Para esto se debe obtener el software de Arduino y conectarlo a la PC, una vez conectado e instalado el software se programa el microcontrolador mediante el IDE de Arduino.

La lógica que se usó es inicializar el puerto serial a un baud rate de 9600, mediante un lazo repetitivo se envía por el puerto la identificación de la unidad de transporte con un retardo de 5 segundos por cada envío. Si el dispositivo recibe respuesta por parte del nodo coordinador este deja de enviar información.



El módulo Xbee con el adaptador USB Xbee Explorer se conectan al SBC Raspberry Pi y es configurado como nodo coordinador AT. El ensamblaje más grande se coloca en la unidad de transporte, consta de un microcontrolador Arduino Uno, el adaptador Xbee Shield y el módulo Xbee como nodo final AT.

3.10 Pruebas de conectividad

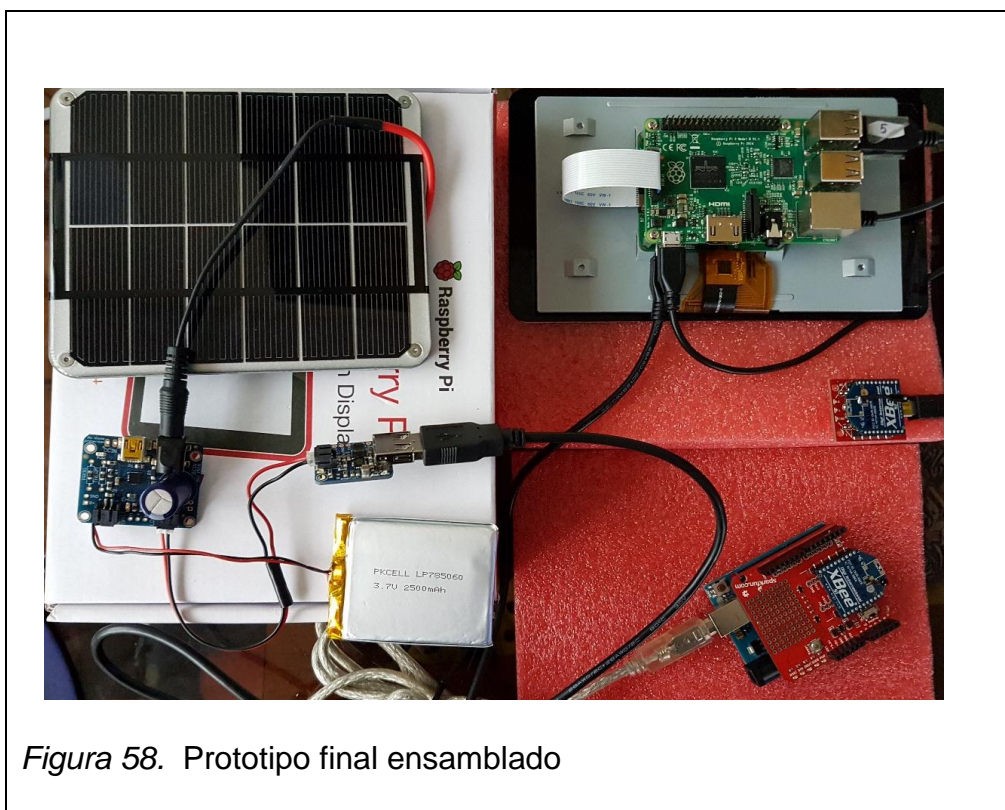
Mediante la lectura en la terminal del software XCTU y del software de Arduino se puede comprobar el acoplamiento e interacción de los módulos Xbee, el nodo coordinador recibe el mensaje desde el nodo final como muestra el anexo 12 y en el nodo final se comprueba que se trasmite el mensaje hacia el nodo coordinador y al enviar el mensaje de parar (stop) desde el nodo coordinador, el envío de paquetes desde el nodo final se detiene como se muestra gráficamente en el anexo 13.

Una vez comprobada la comunicación de la red se puede conectar al SBC Raspberry mediante puerto USB para las pruebas integrales con la interfaz y el sistema de alimentación y finalmente se realiza el ensamblaje total del prototipo conectando los tres sistemas. En la siguiente sección se registran los datos obtenidos por las pruebas de cada uno de los sistemas y del producto final, generando los ajustes requeridos para obtener una interfaz más eficiente y cumplir así con los objetivos del proyecto de tesis.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

El prototipo final ensamblado se muestra en la siguiente figura, donde se puede observar la incorporación de los sistemas dimensionados en el capítulo pasado, el núcleo del prototipo es el SBC Raspberry Pi el cual se encuentra integrado al panel táctil.



4.1 Interfaz

El código implementado en la interfaz da como resultado un sistema que cumple con los requerimientos definidos en el capítulo del diseño, generando una interfaz interactiva sencilla y útil para el usuario. Como se puede observar

en la siguiente figura, la interfaz permite al usuario obtener información valiosa con el fin de escoger una ruta más eficiente.

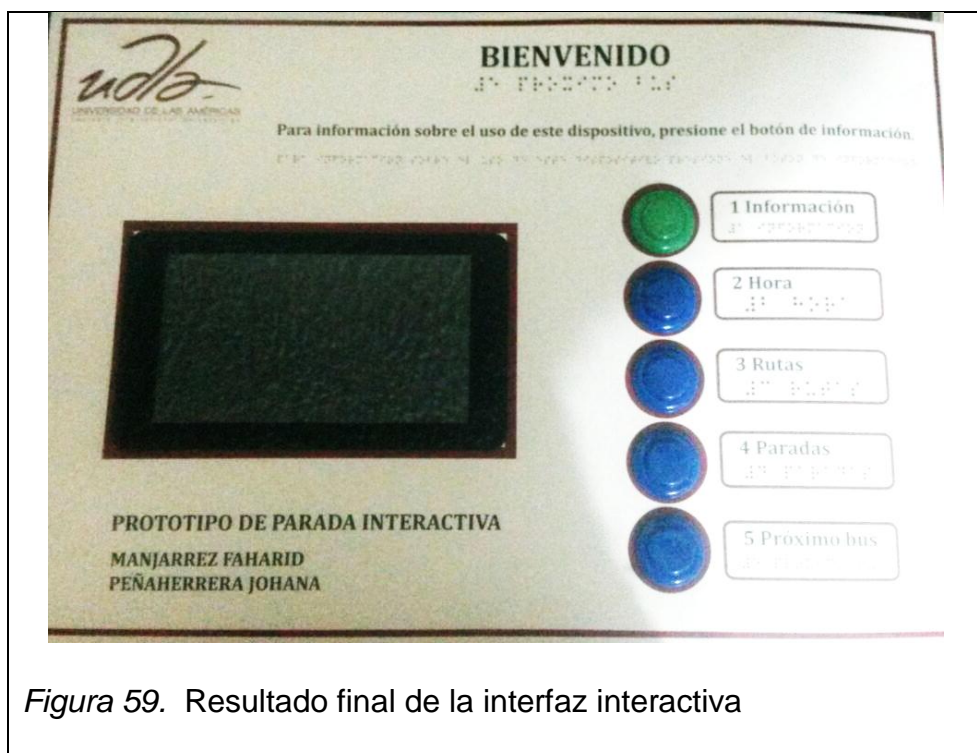


Figura 59. Resultado final de la interfaz interactiva

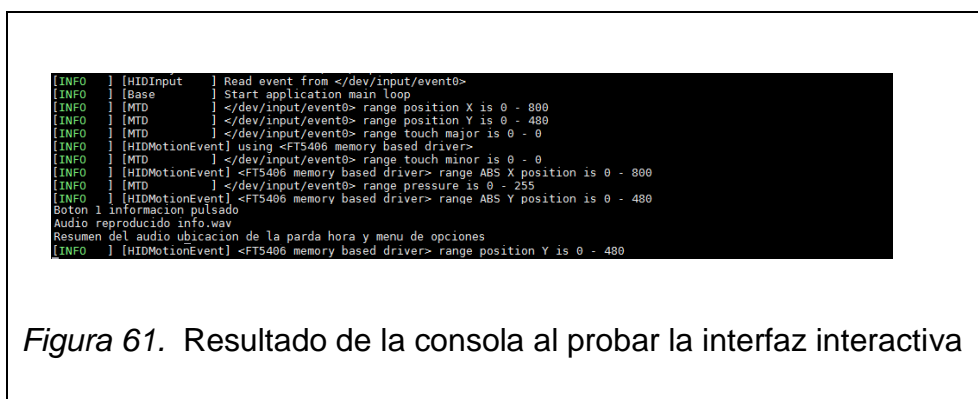
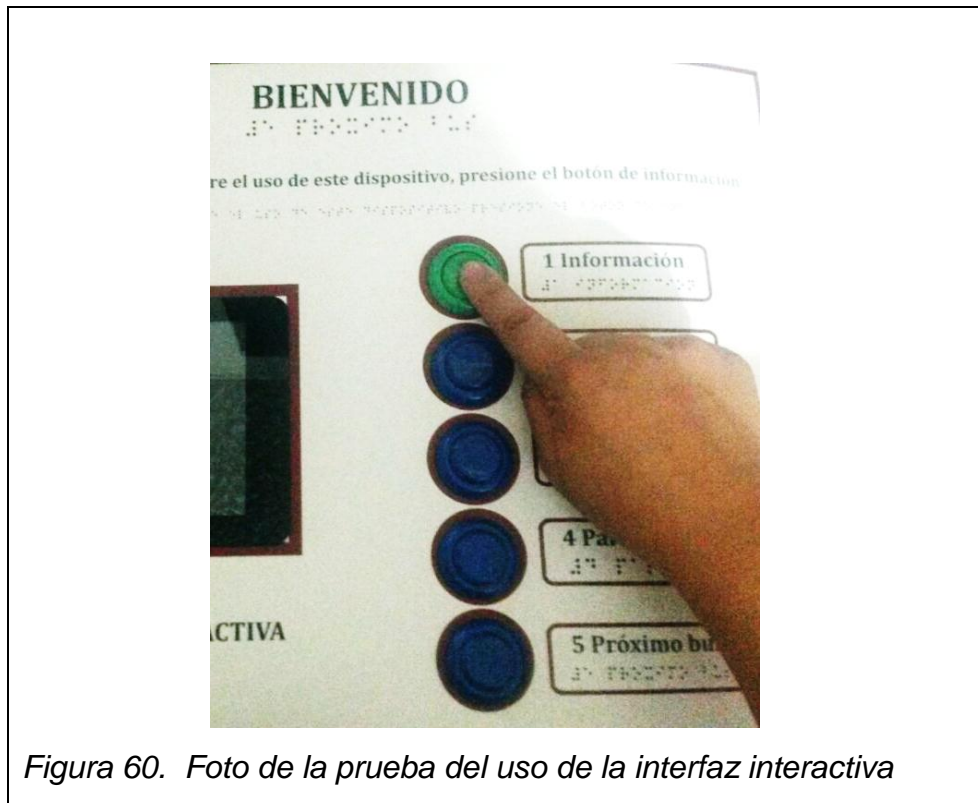
A continuación se detalla el uso de la interfaz ya implementada y el resultado de usar cada una de las funcionalidades, al ser un prototipo enfocado a personas con discapacidad visual, el uso de audio es indispensable por lo cual para poder documentar el correcto funcionamiento se mostrara en la consola de Raspberry PI el identificador del audio que se ejecuta así como el pulsador sea interno o externo que se presiona.

Interfaz para usuarios con discapacidad visual

Información

El pulsador de información ofrece al usuario información de donde está ubicado y el menú de opciones que tiene para interactuar con la parada, al presionarlo se reproduce el siguiente audio: Usted está ubicado en la parada El Inca en las avenida 6 de diciembre y el inca, para obtener más información sobre las unidades de transporte o las pardas presione los siguientes botones: 1 para información, 2 para la hora actual, 3 para las rutas de transporte que puede

acceder en esta parada, 4 la próxima parada de cada ruta, 5 para la unidad de transporte que está próxima a llegar.



Hora

Al presionar este pulsador, se informa la hora actual, el audio es generado por Raspberry.

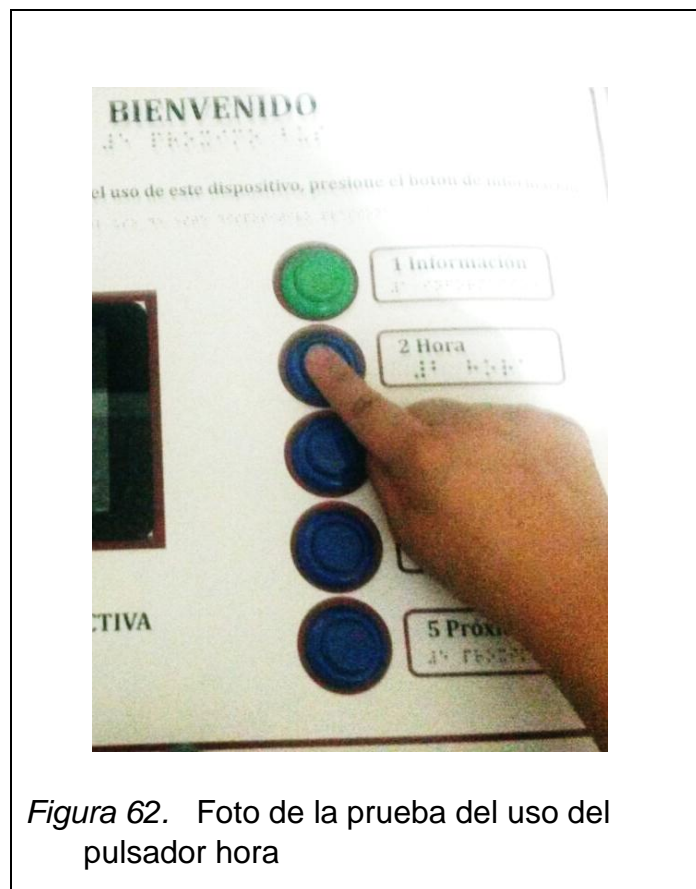


Figura 62. Foto de la prueba del uso del pulsador hora

```
[INFO ] [HIDMotionEvent] using <FTS406 memory based driver>
[INFO ] [MTD ] </dev/input/event0> range touch_minor is 0 - 0
[INFO ] [HIDMotionEvent] <FTS406 memory based driver> range ABS X position is 0 - 800
[INFO ] [MTD ] </dev/input/event0> range pressure is 0 - 255
[INFO ] [HIDMotionEvent] <FTS406 memory based driver> range ABS Y position is 0 - 480
Boton 1 informacion pulsado
Audio reproducido info.wav
Resumen del audio ubicacion de la parda hora y menu de opciones
[INFO ] [HIDMotionEvent] <FTS406 memory based driver> range position Y is 0 - 480
Boton 2 informacio pulsado
Audio generado por raspberry en libreria espeak de python
Hora actual
```

Figura 63. Resultado de la consola al probar el pulsador hora

Rutas

Al presionar este pulsador se indica las rutas que circulan por la parda y los datos de cada una de ellas como: Identificación de la ruta, tiempo de duración del recorrido, punto de inicio y punto final, recorrido de la ruta, horario de atención.

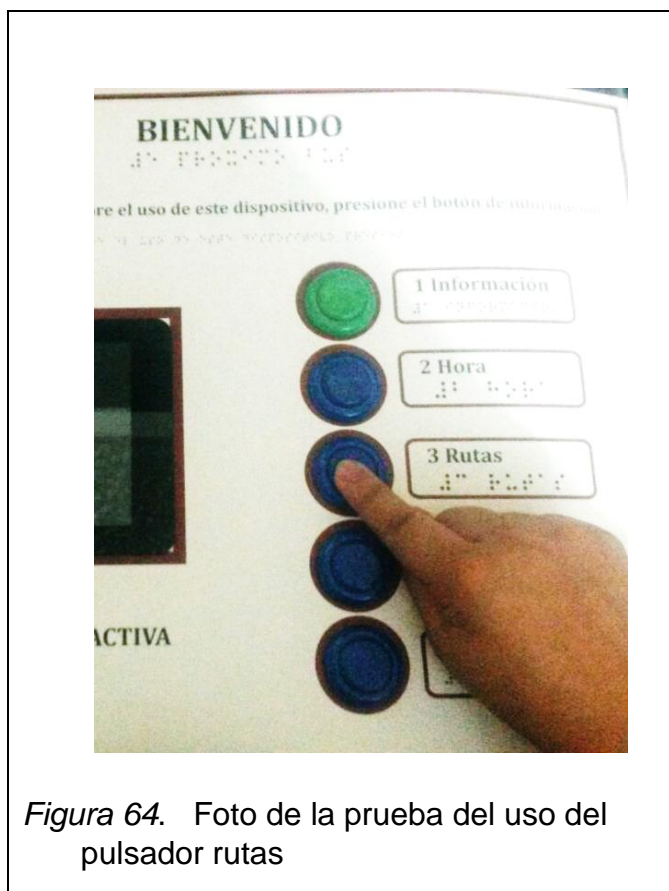


Figura 64. Foto de la prueba del uso del pulsador rutas

```
[INFO ] [HID] [/dev/input/event0] range pressure is 0 - 255
[INFO ] [HIDMotionEvent] <FT5406 memory based driver> range ABS Y position is 0 - 480
Boton 1 informacion pulsado
Audio reproducido info.wav
Resumen del audio ubicacion de la parada hora y menu de opciones
[INFO ] [HIDMotionEvent] <FT5406 memory based driver> range position Y is 0 - 480
Boton 2 informacion pulsado
Audio generado por raspberry en libreria espeak de python
Hora actual
Boton 3 rutas pulsado
Audio reproducido rutas.wav
Ruta con las paradas y las unidades que la componen
```

Figura 65. Resultado de la consola al probar el pulsador rutas

Paradas

Este pulsador informa la siguiente parada de cada ruta así como el tiempo hasta llegar a la misma.

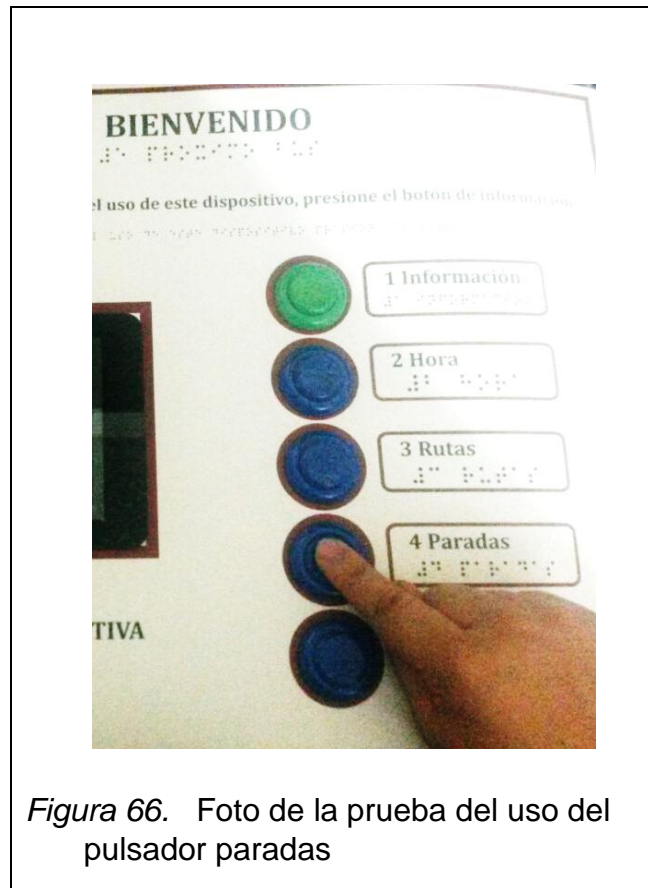


Figura 66. Foto de la prueba del uso del pulsador paradas

```

Boton 1 informacion pulsado
Audio reproducido info.wav
Resumen del audio ubicacion de la parda hora y menu de opciones
[INFO ] [HIDMotionEvent] <FT5406 memory based driver> range position Y is 0 - 480
Boton 2 informacio pulsado
Audio generado por raspberry en libreria espeak de python
hora actual
Boton 3 rutas pulsado
Audio reproducido rutas.wav
Ruta con las paradas y las unidades que la componen
Boton 4 paradas pulsado
Audio reproducido paradas.wav
Proxima parada de cada ruta

```

Figura 67. Resultado de la consola al probar el pulsador paradas

Próximo bus.

Finalmente este pulsador indica el tiempo aproximado y la unidad de transporte que esta por arribar a la estación.

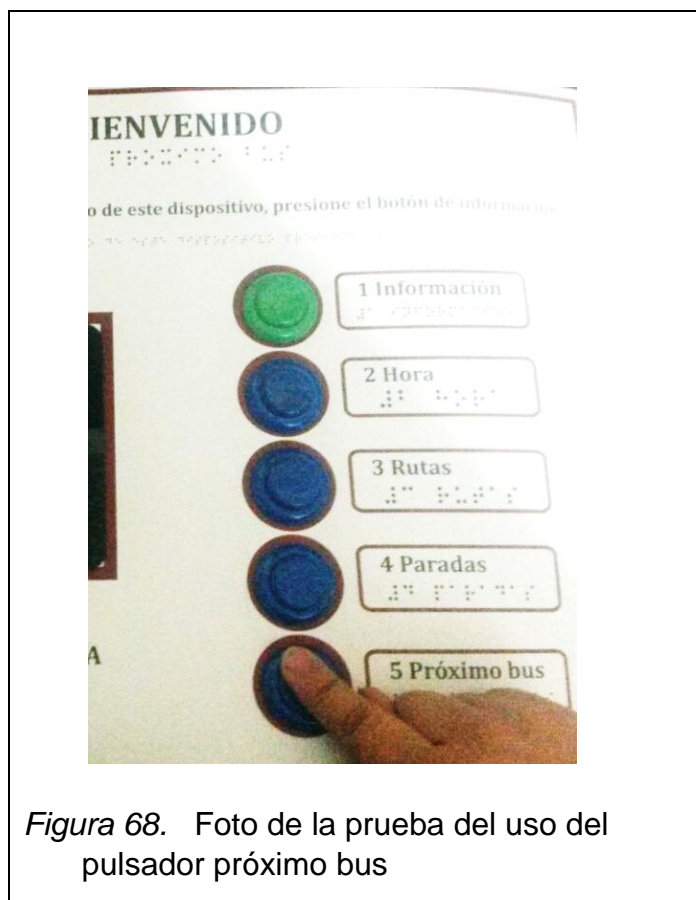


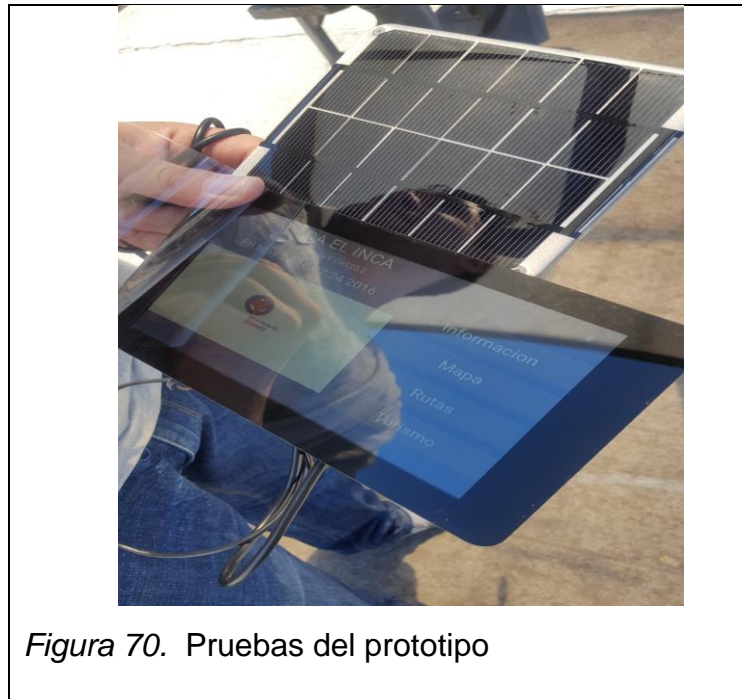
Figura 68. Foto de la prueba del uso del pulsador próximo bus

```
[INFO ] [HIDMotionEvent] <FT5406 memory based driver> range position Y is 0 - 480
Boton 2 informacio pulsado
Audio generado por rasperry en libreria espeak de python
Hora actual
Boton 3 rutas pulsado
Audio reproducido rutas.wav
Ruta con las paradas y las unidades que la componen
Boton 4 paradas pulsado
Audio reproducido paradas.wav
Proxima parada de cada ruta
Boton 5 bus proximo pulsado
Audio generado por rasperry en libreria espeak de python
Calcula el tiempo aproximado de llegada del la unidad de transporte
```

Figura 69. Resultado de la consola al probar el pulsador próximo bus

En la siguiente sección se muestra los resultados de la interfaz de usuario que se ejecuta en el panel táctil

4.2 Pantalla principal



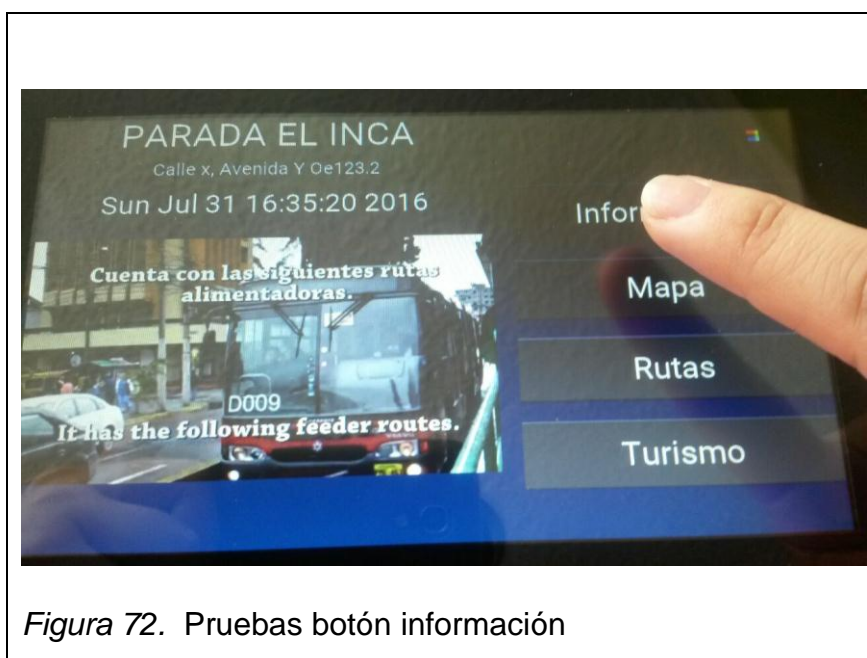
Incluye la identificación clara de la parada y su ubicación, además muestra la hora actual. Un video con datos referentes a la gestión de la Ecovía es reproducido constantemente, este puede variarse y colocar cualquier tipo de información.



La interacción de cada uno de los componentes de la interfaz se detalla a continuación:

4.2.1 Información

Al presionar el botón de Información el audio referente a la parada es emitido por el altavoz el audio reproducido contiene información de la parada, ubicación de la misma, las rutas que circulan y los horarios de operación.



4.2.2 Mapa

Permite al usuario visualizar un mapa de los circuitos troncales de todo el distrito metropolitano de quito, este puede utilizarse para encontrar una ruta eficiente, el usuario de manera interactiva puede seleccionar la ruta por la que va a trasladarse para conocer mayor información de la misma.



Figura 73. Pruebas botón mapas

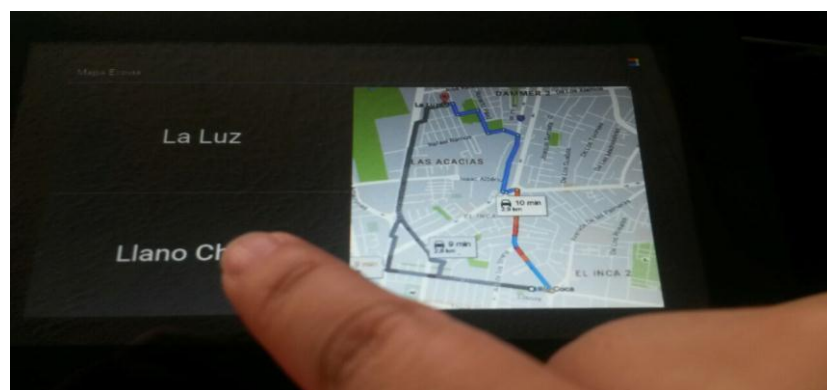


Figura 74. Selección de la ruta, prueba 1.

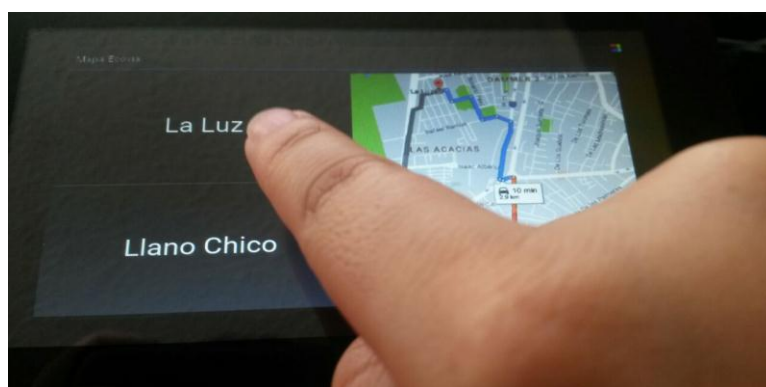


Figura 75. Selección de la ruta, prueba 2.

4.2.3 Rutas

Presenta de manera interactiva las rutas que circulan por la parada, mostrando de manera clara el trayecto de la unidad, el tiempo aproximado de espera y de recorrido. El usuario puede desplazarse entre rutas o esperar que se cambie automáticamente, el pulsador externo correspondiente a rutas detalla cada ruta que circula por la parada.

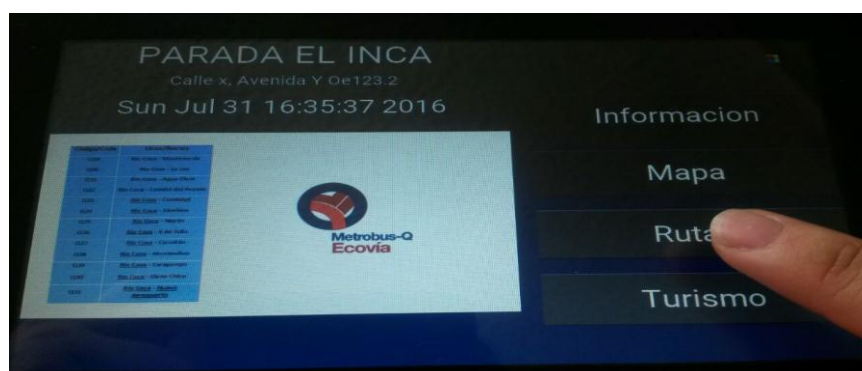


Figura 76. Resultado final de la interfaz interactiva



Figura 77. Información sobre las rutas de los alimentadores

4.2.4 Turismo

Finalmente, el botón de turismo reproduce un video donde se muestran lugares emblemáticos de la ciudad, esta información está enfocada a los usuarios extranjeros y el público en general.



Figura 78. Información turística de la ciudad de Quito



Figura 79. Resultado final del botón turismo

4.3 Sistema de comunicación



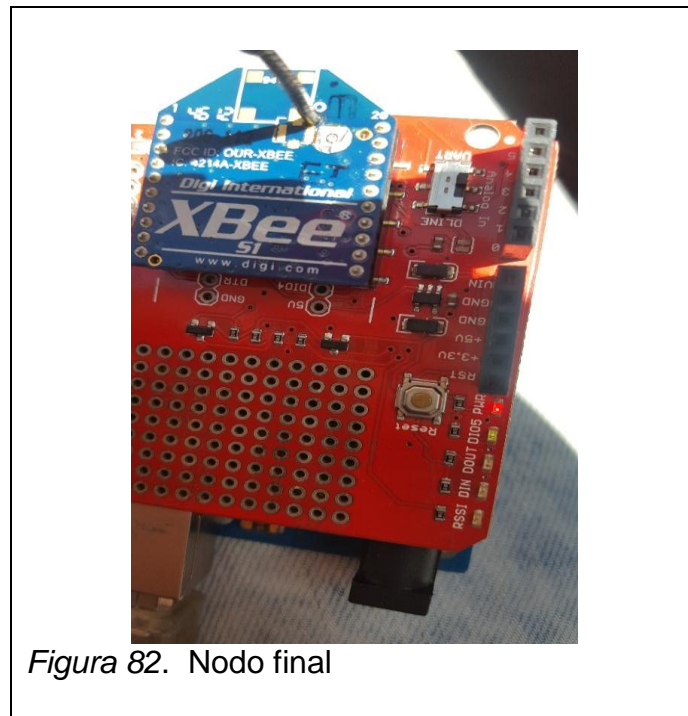
Figura 80. Pruebas del sistema de comunicación

Se realiza la prueba de conectividad en la parada en espera de que el nodo Xbee final entre en rango de alcance y envíe el mensaje para que se reproduzca el audio correspondiente, para validar esto se puede observar en el dispositivo como el indicador de transmisión de datos se enciende en color verde.



Figura 81. Pruebas de conectividad del nodo XBee

En el lado del nodo final, en este caso se simula el transporte público con un vehículo en movimiento que va en la dirección que recorre el bus hacia la parada.



En conclusión, se cumplió con los objetivos propuestos de diseñar e implementar un prototipo funcional para brindar una interfaz interactiva a los usuarios, permitiendo a personas con discapacidad visual y público en general obtener información útil para transportarse de forma más eficiente entre paradas.

Mediante el uso de la tecnología propuesta en la parada el usuario con discapacidad visual puede acceder a información de la misma, datos relevantes de las unidades de transporte que circulan por la parada y puede conocer la unidad de transporte que se aproxima, brindando a las personas no videntes un mejor servicio. Con una interfaz adecuada para cada grado de discapacidad se cumple con el objetivo general del presente proyecto.

Para el público general adicionalmente se cuenta con la interfaz gráfica y táctil con la que el usuario puede interactuar con la parda, un entorno amigable que brinda información útil del servicio en general cumpliendo con el objetivo específico gracias al adecuado diseño y selección de los componentes del prototipo.

Se valida que el diseño previo fue adecuado y satisface los requerimientos del prototipo, mediante las pruebas y la validación de usuarios clave que utilizaron el prototipo.

Al utilizar celdas fotovoltaicas y acumuladores el prototipo puede abastecerse solo por un periodo prolongado de tiempo, el buen dimensionamiento facilita la implementación de los paneles solares. Además de ser una tecnología amigable con el medio ambiente y fácil de implementar.

El prototipo realizado es de fácil uso y su implementación fue de bajo costo, cuenta con alternativas tecnológicas que brindan un mejor servicio a las personas con discapacidad visual y al público en general. Se busca innovar en el uso de la tecnología actual y de las herramientas para el desarrollo de proyectos para dar soluciones económicas y eficientes a determinado problemas.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El consumo promedio del prototipo es de 31,96 Wh/día, para abastecer la demanda en la ubicación del prototipo con una irradiación promedio A se implementó 1 panel solar monocristalino de 254mm de ancho por 223.5mm de alto y 1 acumulador de Li-Ion.

El uso de una red inalámbrica implantada con módulos Xbee permite la transmisión segura de datos con un bajo consumo energético, con una sencilla configuración y fácil administración. Para el proyecto se generó una red básica punto a punto con un solo nodo coordinador y varios nodos finales, no contempla planes de contingencia en caso de que este falle, por seguridad debería generarse una red redundante donde exista un nodo de backup en la parada.

El área efectiva de alcance de los módulos Xbee S1 medidos desde la parada hasta la unidad de transporte es de 90 metros, si se desea ampliar esta distancia se puede adquirir módulos Xbee Pro que son más robustos. Los Dispositivos Xbee presentan una alternativa económicamente viable para proyectos con varias aplicaciones entre las más utilizadas en redes de sensores WSN.

La interfaz fue generada en python con el uso de las librerías del proyecto Kivy, permitiendo el uso de controles interactivos y generando un entorno amigable para el usuario final. Además de facilitar la configuración del SBC Raspberry Pi y explotar sus capacidades.

Raspberry Pi es un SBC (Single Board Computer) muy potente que puede realizar la mayoría de funciones de un ordenador actual, por lo que puede ser utilizada en diversos proyectos, por sus beneficios de software libre, bajo costo

y el amplio soporte que se puede encontrar se convierte en la mejor opción para desarrollo de proyectos innovadores.

Arduino presenta un entorno de desarrollo sobre microcontroladores sencillo y muy útil, con el cual se pueden generar proyectos potentes de bajo presupuesto con conocimientos básicos de programación, está presente en la actualidad por su versatilidad se lo utiliza en general para adquisición de datos de sensores y control remoto de actuadores.

Se utilizó el gestor de base de datos MySQL con el fin de almacenar información relevante como las horas en las cuales las unidades de transporte arriban a la parada en una base de datos, con lo que se puede generar reportes útiles para mejorar la logística y gestión del transporte público.

Cumpliendo con los objetivos planteados, el proyecto implementado brinda accesibilidad y mejora la calidad del servicio para las personas con discapacidad visual, promoviendo que se pueda utilizar el transporte público de manera segura, confortable y autónoma a través de una interfaz interactiva que les permita a los usuarios acceder a información propia del sistema de transporte. La interfaz que ofrece el prototipo tanto para personas discapacitadas como para el público en general es amigable, fácil de usar y provee información útil para el usuario de manera eficiente.

5.2 Recomendaciones

Se debe realizar un buen dimensionamiento de las celdas solares para garantizar que el sistema tenga energía suficiente para su correcto funcionamiento, para esto se recomienda tomar en cuenta varios parámetros, entre ellos, la capacidad y eficiencia de los acumuladores, la ubicación geográfica entre otras.

Los módulos Xbee que usan el protocolo zigbee pueden utilizarse para generar redes WSN (Wireless Sensor Network) para adquisición de datos de manera inalámbrica o para transmitir información útil como en el caso del presente

trabajo, se recomienda para su configuración tener claro la red general así se pueden definir cuales nodos son finales y cuales son coordinadores.

En futuros proyectos se puede analizar el incluir un control centralizado de los dispositivos, ampliando la red Zigbee para que tenga conexión a internet esto permitiría mayor versatilidad en la actualización de cada parada, brindaría mayores beneficios pues tendría un enfoque de internet de las cosas.

Otro alcance del proyecto podía ser el incluir un procesador en la unidad de transporte con el fin de anunciar que se va a llegar a la parada, su funcionamiento sería análogo al de la parada sin la interfaz gráfica.

REFERENCIAS

- Adafruit. (s.f.). Colossal 6V 9W Solar Panel. Recuperado el 12 de junio de 2016 de <https://www.adafruit.com/product/2747>
- Allen-Bradley. (s.f.). Rockwell Automation. Recuperado el 10 de abril de 2016 de <http://ab.rockwellautomation.com/es/Sensors-Switches/Ultrasonic-Sensors>
- Alvarez, M. A. (2003). Qué es Python. Recuperado el 10 de enero de 2016 de <http://www.desarrolloweb.com/articulos/1325.php>
- ARDUINO.cl. (s.f.). ¿QUÉ ES ARDUINO? Recuperado el 10 de mayo de 2016 de <http://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Arduinodhtics. (s.f.). Arduino: Tecnología para todos. Recuperado el 15 de mayo de 2016 de <http://arduinodhtics.weebly.com/historia.html>
- Asamblea Nacional Constituyente. (s.f.). Constitución de la República del Ecuador. Recuperado el 20 de noviembre de 2015 de http://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion_de_bolsillo.pdf
- Assistive Technology Data. (s.f.). Kaptan Mobility. Recuperado el 15 de enero de 2016 de <http://www.hmi-basen.dk/en/r11x.asp?linkinfo=47023>
- Autonics. (s.f.). Sensores. Recuperado el 10 de enero de 2016 de http://www.autonics.com.mx/products/products_2.php?big=01&mid=01/01
- Basso, C. (2015). La Tribuna. Recuperado el 10 de mayo de 2016 de <http://www.latribuna.cl/noticia.php?id=NTg1MQ==>
- Bellver, E. (2015). ¿Cómo funciona la energía solar? Recuperado el 20 de mayo de 2016 de <http://erenovable.com/como-funciona-la-energia-solar/>
- Biomass Users Network (BUN-CA). (2002). Manuales sobre energía renovable: Solar Fotovoltaica/. Recuperado el 22 de mayo de 2016 de <http://www.energia.gob.pa/tmp/file/302/manual-solarfotovoltaica.pdf>

- Castejón Costa, J. L., & Navas Martínez, L. (2009). Unas Bases psicológicas de la educación especial. España: Club Universitario.
- Consejo Nacional de la Igualdad de Discapacidades. (2013). Agenda Nacional para la Igualdad de Discapacidades.
- Cuándo Pasa? (s.f.). Aplicación Móvil ¿Cuándo pasa? Recuperado el 20 de septiembre de 2015 de <http://cuandopasa.efibus.com.ar/>
- culturacion. (s.f.). Raspberry Pi: Qué es, características y precios. Recuperado el 20 de febrero de 2016 de <http://culturacion.com/raspberry-pi-que-es-caracteristicas-y-precios/>
- DOMODESK. (s.f.). DOMODESK Todo en Domótica, Inmótica y Control. Recuperado el 22 de febrero de 2016 de <http://www.domodesk.com/a-fondo-zigbee>
- Doutel, F. (2015). Xataka Smart Home. Recuperado el 21 de febrero de 2016 de <http://www.xatakahome.com/trucos-y-bricolaje-smart/probamos-la-nueva-raspberry-pi-2-a-fondo>
- Duarte Marín, A. F. (s.f.). Arduino y Xbee. Recuperado el 28 de enero de 2016 de <http://www.andresduarte.com/arduino-y-xbee>
- EcoSources. (s.f.). ÉNERGIES RENOUVELABLES. Recuperado el 10 de enero de 2016 de http://www.ecosources.info/dossiers/Types_de_cellules_photovoltaiques
- EcuRed. (s.f.). Recuperado el 20 de abril de 2016 de Topologías de red ZigBee: http://www.ecured.cu/Topolog%C3%ADas_de_red_ZigBee
- Educación Inclusiva. (2004). Tiflotecnología. Recuperado el 20 de mayo de 2016 de http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/unidad_10/m10_tiflotecnologia.htm
- El Tiempo. (s.f.). Braille para que los invidentes circulen seguros en el Masivo. Recuperado el 18 de agosto de 2015 de

<http://www.eltiempo.com/colombia/cali/invidentes-tendran-mas-facilidad-para-ingresar-al-transporte-masivo-mio/14687199>

Electrocomponentes S.A. (s.f.). Tecnología ZigBee. Un Mundo de Soluciones Inalámbricas. Recuperado el 15 de enero de 2015 de <http://www.electrocomponentes.com/articulos/diciembre06/zigbee.html>

Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros. (s.f.). EPMTTP. Recuperado el 10 de septiembre de 2015 de http://www.trolebus.gob.ec/web/index.php?option=com_docman&view=docman&Itemid=730

erenovable. (2015). ¿CÓMO FUNCIONAN LOS PANELES SOLARES? Recuperado el 20 de febrero de 2016 de <http://erenovable.com/como-funcionan-los-paneles-solares/>

ESUS Equipo Solar. (2015). Tipos de Células Fotovoltaicas. Recuperado el 20 de mayo de 2016 de <http://esussolarteam.cl/tipos-de-celdas-solares/>

Gaona, J. (2015). Discapacidades Ecuador. Recuperado el 15 de mayo de 2016 de [https://public.tableau.com/profile/javier.gaona#!/vizhome/DICAPACIDAD ESECUADOR/Discapacidades](https://public.tableau.com/profile/javier.gaona#!/vizhome/DICAPACIDAD_ESECUADOR/Discapacidades)

Garciglia, R. S. (s.f.). PANELES SOLARES: GENERADORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA. Recuperado el 22 de mayo de 2016 de <http://www.sabermas.umich.mx/archivo/secciones-antteriores/tecnologia/133-numero-17/268-paneles-solares-generadores-de-energia-electrica.html>

Giordano, J. L. (2010). Como Funciona: El Semiconductor (Tipo-n y Tipo-p). Recuperado el 20 de febrero de 2016 de <http://www.profisica.cl/comofuncionan/como.php?id=41>

GitHub. (2016). NOOBS (New Out of Box Software). Recuperado el 10 de agosto de 2015 de <https://github.com/raspberrypi/noobs/blob/master/README.md>

- Glen, M., & Moreno, J. (2012). ZigBee. Recuperado el 10 de abril de 2016 de <https://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE>
- Gutiérrez, M. (2015). Todo sobre ZigBee, la tecnología ultrabarata para comunicación inalámbrica. Recuperado el 20 de enero de 2016 de <http://www.elandroidelibre.com/2015/08/todo-sobre-zigbee-la-tecnologia-ultrabarata-para-comunicacion-inalambrica.html>
- Hernandez Garcia, J. C. (2015). planetalinux. Recuperado el 20 de febrero de 2016 de <http://planetalinux.org/android/>
- HM Energía Perú. (s.f.). REGULADORES DE CARGA. Recuperado el 22 de mayo de 2016 de <http://hmenergiaperu.com/reguladores/index.html>
- IEEE STANDARDS ASSOCIATION. (2006). IEEE. Recuperado el 11 de abril de 2016 de <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2006.pdf>
- INEN. (s.f.). Requisitos de accesibilidad para la rotulación. Recuperado el 15 de junio de 2016 de http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/MAR/07102014/2850.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (s.f.). Información Censal Cantonal. Recuperado el 20 de septiembre de 2015 de http://www.inec.gob.ec/cpv/index.php?option=com_content&view=article&id=232&Itemid=128&lang=es
- Instrumentación virtual. (s.f.). Sensores de Proximidad. Recuperado el 15 de enero de 2016 de http://antares.itmorelia.edu.mx/~talfaro/Materias/Instrumentacion_Virtual/Sensores%20de%20Proximidad.pdf
- INVDES PRO MX. (2014). XBee comunicaciones inalámbricas. Recuperado el 20 de febrero de 2016 de <http://modulosxbec.blogspot.com/2014/01/punto-multipunto.html>

- Irie AT. (s.f.). EasyLink 12 Touch. Recuperado el 20 de enero de 2016 de <https://irie-at.com/>
- Kapsys. (s.f.). Kaptan Mobility. Recuperado el 15 de enero de 2016 de <http://www.kapsys.com/fr/support-produits/kaptan-mobility/>
- Llansola, Z. F. (2006). Sensores de Identificación por radiofrecuencia. Recuperado el 24 de enero de 2016 de <http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/27825/ICC+2006-10-04.pdf;jsessionid=ECEC05127394CCE2CEF92D2FAB81804E?sequence=1>
- Martin, Z. (2011). Institución Británica prueba sistema RFID. Recuperado el 14 de enero de 2016 de <http://www.idnoticias.com/news-item/institucion-britanica-prueba-sistema-rfid-de-orientacion-para-ciegos-y-debiles-visuales/>
- Martínez, L. (s.f.). Conoce todo acerca de la Tiflotecnología. Recuperado el 15 de enero de 2016 de <http://www.salud180.com/adultos-mayores/conoce-todo-acerca-de-la-tiflotecnologia>
- Ministerio de Salud Pública. (s.f.). Registro Nacional de Discapacidades. Recuperado el 20 de febrero de 2016 de http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/registro_nacional_discapacidades.pdf
- Optelec. (s.f.). EasyLink 12 Touch. Recuperado el 15 de enero de 2016 de <https://in.optelec.com/products/easylink-12-touch.html>
- Organización Mundial de la Salud. (s.f.). Ceguera y discapacidad visual. Recuperado el 15 de febrero de 2015 de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/es/>
- Pascual, J. A. (2015). Raspberry Pi: ¿Qué modelo me compro? Recuperado el 20 de mayo de 2016 de

<http://computerhoy.com/noticias/hardware/raspberry-pi-que-modelo-me-compro-23811>

PE, I. (2015). Todo sobre los GPIO Raspberry Pi. Recuperado el 20 de febrero de 2016 de <http://comohacer.eu/gpio-raspberry-pi/>

Perez, D. (s.f.). Sensores de Distancia por Ultrasonido. Recuperado el 15 de enero de 2016 de http://picmania.garcia-cuervo.net/recursos/redpictutorials/sensores/sensores_de_distancias_con_ultrasonidos.pdf

Python Software Foundation. (2014). Tutorial de Python. Recuperado el 11 de mayo de 2016 de <http://docs.python.org.ar/tutorial/3/real-index.html>

raspberrishop. (s.f.). Raspberry Pi. Recuperado el 10 de enero de 2016 de <http://raspberrishop.es/>

Raspbian. (s.f.). Raspbian. Recuperado el 10 de enero de 2016 de <http://www.raspbian.org>

Real Academia Española. (2008). Diccionarios de la Real Academia Española. Recuperado el 01 de Marzo de 2016 de <http://dle.rae.es/?id=Zjao4Pv>

Rodríguez, C., Muñoz, J., Juárez, J., Contreras, D., & Alexandres, S. (2012). Gestión de redes inteligentes domésticas mediante ZigBee Smart Energy. Recuperado el 15 de mayo de 2016 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4079593>

Sistema Integrado de Transporte Masivo. (s.f.). Desarrollo Conceptual y Alcance. Recuperado el 20 de septiembre de 2015 de http://metrodequito.gob.ec/estudios_de_soporte/1-Disenio_Conceptual_del_Sistema_Integrado_de_Transporte_Masivo-SITM/2-DESARROLLO_CONCEPTUAL_Y_AVANCES_DEL_SITM.pdf

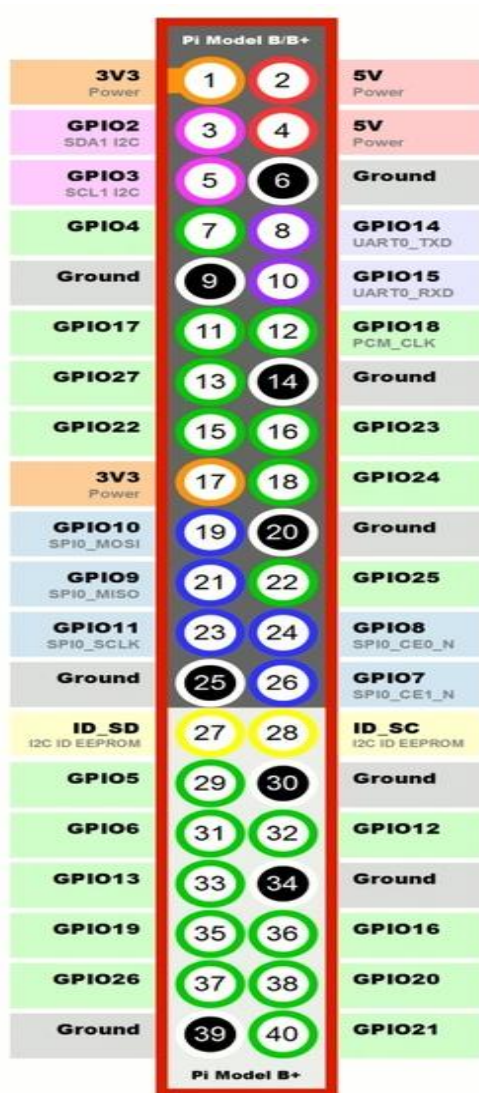
Soler, M. J. (2004). Centro de Recursos Sordo Ceguera. Recuperado el 10 de enero de 2016 de http://www.sordoceguera.org/vc3/biblioteca_virtual/archivos/69_orientacion_movilidad.pdf

- Tenyus. (s.f.). Ultracane bastón de ultrasonidos. Recuperado el 20 de enero de 2016 de <http://www.tenyus.com/2013/07/02/ultracane-baston-de-ultrasonidos/#.VLQwVivF9UU>
- Textos Científicos. (2005). Celdas Solares. Recuperado el 20 de mayo de 2016 de <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>
- Upton, L. (2013). INTRODUCING THE NEW OUT OF BOX SOFTWARE (NOOBS). Recuperado el 24 de febrero de 2016 de <https://www.raspberrypi.org/blog/introducing-noobs/>
- Vilas, J. M. (2007). Sistema Multimedia para la enseñanza de los sensores de proximidad. Recuperado el 10 de febrero de 2016 de http://www.dte.uvigo.es/recursos/proximidad/Sensores_Proximidad.swf
- WPAN Red Inalámbrica de Área Personal. (2015). Recuperado el 20 de marzo de 2016 de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/valle_i_lf/capitulo2.pdf
- XBee. (s.f.). ¿QUÉ ES XBEE? Recuperado el 15 de enero de 2015 de <http://xbee.cl/que-es-xbee/>

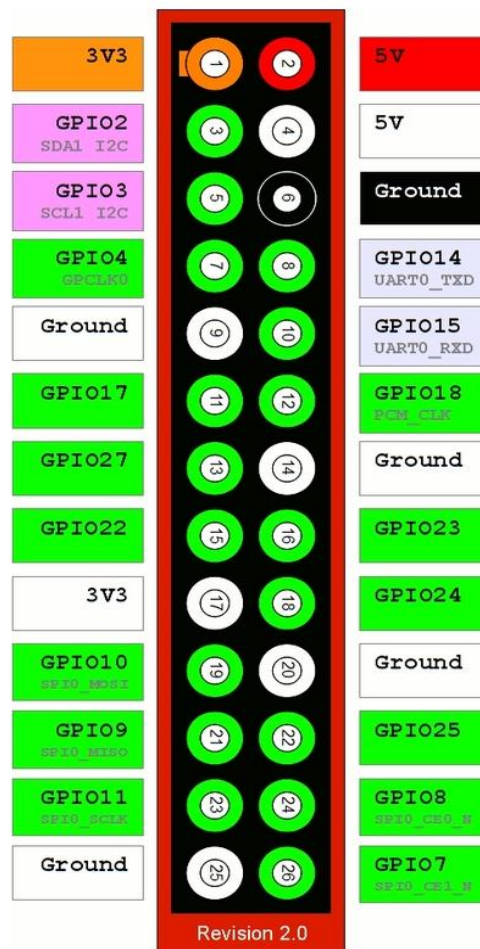
ANEXOS

ANEXO 1

Modelos de Raspberry.



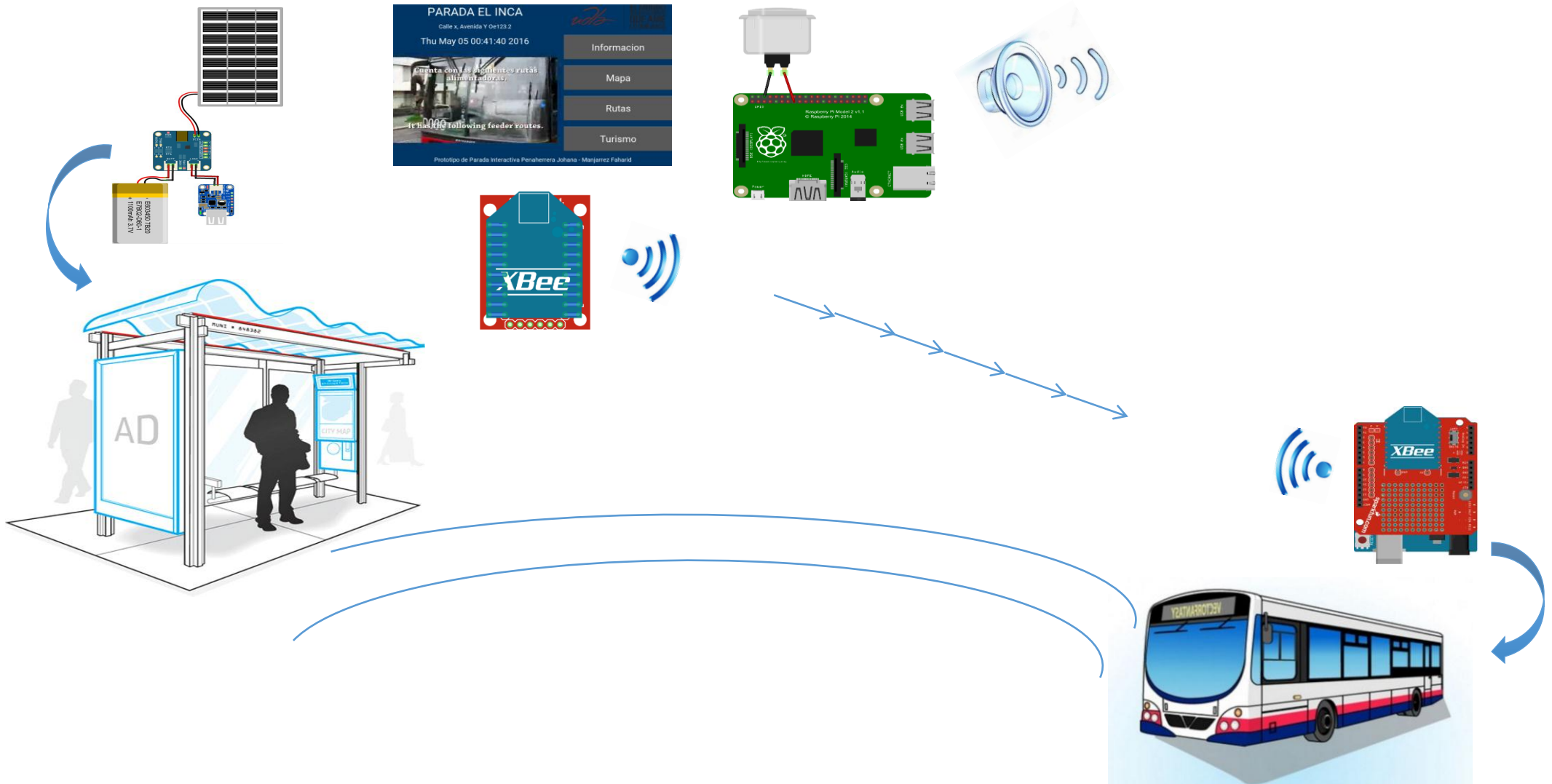
Model A/B (Rev 2.0)



Model A+, B+, y 2

ANEXO 2

Diagrama general del sistema



ANEXO 3

Datasheet Raspberry Raspberry Pi 2 Model B



Raspberry Pi 2, Model B

Product Name Raspberry Pi 2, Model B

Product Description The Raspberry Pi 2 delivers 6 times the processing capacity of previous models. This second generation Raspberry Pi has an upgraded Broadcom BCM2836 processor, which is a powerful ARM Cortex-A7 based quad-core processor that runs at 900MHz. The board also features an increase in memory capacity to 1Gbyte.

Specifications

Chip	Broadcom BCM2836 SoC
Core architecture	Quad-core ARM Cortex-A7
CPU	900 MHz
GPU	Dual Core VideoCore IV@ Multimedia Co-Processor Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24GFLOPs with texture filtering and DMA infrastructure
Memory	1GB LPDDR2
Operating System	Boots from Micro SD card, running a version of the Linux operating system
Dimensions	85 x 56 x 17mm
Power	Micro USB socket 5V, 2A
Connectors:	
Ethernet	10/100 BaseT Ethernet socket
Video Output	HDMI (rev 1.3 & 1.4)
Audio Output	3.5mm Jack, HDMI
USB	4 x USB 2.0 Connector
GPIO Connector	40-pin 2.54 mm (100 mil) expansion header: 2x20 strip Providing 27 GPIO pins as well as +3.3 V, +5 V and GND supply lines
Camera Connector	15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)
JTAG	Not populated
Display Connector	Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and a clock lane
Memory Card Slot	Micro SDIO

ANEXO 4

Módulos XBee

Product	Frequency	Protocol	Description	RF Line of Sight Range	Form Factor	MSRP	RF Data Rate	Current Draw Tx/Rx	Hardware Reference # / Chipset(s)
XBEE® WI-FI	2.4 GHz	IEEE 802.11 	Wi-Fi 802.11b/g/n with easy provisioning, native Device Cloud features with point-to-multipoint device connectivity	N/A	 Through-Hole  Surface Mount	\$35.00	1 to 72 Mbps	309 mA / 100 mA	S6B SiLabs EFM32LG230 ARM M3 Processor, Atheros AR4100 Transceiver
XBEE® 802.15.4	2.4 GHz	IEEE 802.15.4 	Best way to get started with point-to-multipoint device connectivity	300 ft / 90 m	 Through-Hole	\$19.00	250 Kbps	45 mA / 50 mA	S1 Freescale MC13212 SoC
XBEE-PRO® 802.15.4	2.4 GHz		Point-to-multipoint extended range version	1 mile / 1.6 km		\$32.00	250 Kbps	215 mA / 55 mA	
	2.4 GHz		International/"J" variant	2500 ft / 1 km		\$32.00	250 Kbps		
XBEE-PRO® XSC	900 MHz	Multipoint Proprietary 	Long-range proprietary multipoint connectivity	9 miles / 14.5 km	 Through-Hole	\$39.00	10 Kbps or 20 Kbps	215 mA / 26 mA	S3B SiLabs EFM32G230F128 ARM M3 Processor, Analog Devices ADF7023 Transceiver

ANEXO 5

Datasheet XBee

Specifications

Table 1-01. Specifications of the XBee®/XBee-PRO® RF Modules

Specification	XBee	XBee-PRO
Performance		
Indoor/Urban Range	Up to 100 ft (30 m)	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) International variant
Outdoor RF line-of-sight Range	Up to 300 ft (90 m)	Up to 1 mile (1600 m), up to 2500 ft (750 m) international variant
Transmit Power Output (software selectable)	1mW (0 dBm)	63mW (18dBm)* 10mW (10 dBm) for International variant
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements		
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45mA (@ 3.3 V)	250mA (@3.3 V) (150mA for international variant) RPSMA module only: 340mA (@3.3 V) (180mA for international variant)
Idle / Receive Current (typical)	50mA (@ 3.3 V)	55mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 µA	< 10 µA
General		
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector
Networking & Security		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint & Peer-to-peer	
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels	12 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID, Channel and Addresses	PAN ID, Channel and Addresses
Agency Approvals		
United States (FCC Part 15.247)	OUR-XBEE	OUR-XBEEPRO
Industry Canada (IC)	4214A XBEE	4214A XBEEPRO
Europe (CE)	ETSI	ETSI (Max. 10 dBm transmit power output)*
Japan	R201WW07215214	R201WW08215111 (Max. 10 dBm transmit power output)*
Australia	C-Tick	C-Tick

Electrical Characteristics

Table 1-03. DC Characteristics (VCC = 2.8 - 3.4 VDC)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
V _{IL}	Input Low Voltage	All Digital Inputs	-	-	0.35 * VCC	V
V _{IH}	Input High Voltage	All Digital Inputs	0.7 * VCC	-	-	V
V _{OL}	Output Low Voltage	I _{OL} = 2 mA, VCC >= 2.7 V	-	-	0.5	V
V _{OH}	Output High Voltage	I _{OH} = -2 mA, VCC >= 2.7 V	VCC - 0.5	-	-	V
I _{IN}	Input Leakage Current	V _{IN} = VCC or GND, all inputs, per pin	-	0.025	1	µA
I _{OZ}	High Impedance Leakage Current	V _{IN} = VCC or GND, all I/O High-Z, per pin	-	0.025	1	µA
TX	Transmit Current	VCC = 3.3 V	-	45 (XBee) 215, 140 (PRO, Int)	-	mA
RX	Receive Current	VCC = 3.3 V	-	50 (XBee) 55 (PRO)	-	mA
PWR-DWN	Power-down Current	SM parameter = 1	-	< 10	-	µA

Table 1-04. ADC Characteristics (Operating)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
V _{REFH}	VREF - Analog-to-Digital converter reference range		2.08	-	V _{DDAD} *	V
I _{REF}	VREF - Reference Supply Current	Enabled	-	200	-	µA
		Disabled or Sleep Mode	-	< 0.01	0.02	µA
V _{INDC}	Analog Input Voltage ¹		V _{SSAD} - 0.3	-	V _{DDAD} + 0.3	V

1. Maximum electrical operating range, not valid conversion range.

* V_{DDAD} is connected to VCC.

Pin Signals

Figure 1-03. XBee®/XBee-PRO® RF Module Pin Numbers

(top sides shown - shields on bottom)

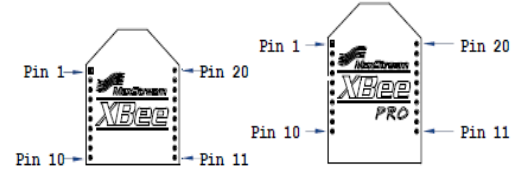


Table 1-02. Pin Assignments for the XBee and XBee-PRO Modules

(Low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name.)

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / <u>CONFIG</u>	Input	UART Data In
4	<u>DO8*</u>	Output	Digital Output 8
5	<u>RESET</u>	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	<u>DTR</u> / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	<u>AD4</u> / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	<u>CTS</u> / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	<u>ON</u> / <u>SLEEP</u>	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	<u>Associate</u> / AD5 / DIO5	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	<u>RTS</u> / AD6 / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	<u>AD3</u> / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	<u>AD2</u> / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	<u>AD1</u> / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	<u>AD0</u> / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

* Function is not supported at the time of this release

Design Notes:

- Minimum connections: VCC, GND, DOUT & DIN
- Minimum connections for updating firmware: VCC, GND, DIN, DOUT, RTS & DTR
- Signal Direction is specified with respect to the module
- Module includes a 50k Ω pull-up resistor attached to RESET
- Several of the input pull-ups can be configured using the PR command
- Unused pins should be left disconnected

ANEXO 6

Los datos para las coordenadas de la parada obtenidas de la nasa.

	Unit	Climate data location	
Latitude	°N	-0.155	
Longitude	°E	-78.477	
Elevation	m	1686	
Heating design temperature	°C	12.61	
Cooling design temperature	°C	23.09	
Earth temperature amplitude	°C	10.87	
Frost days at site	day	0	

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	17.5	80.2%	4.14	83.3	1.7	19.2	21	232
February	17.6	80.3%	4.35	83.3	1.5	19.2	16	217
March	18.0	78.7%	4.55	83.3	1.4	19.8	10	250
April	17.9	76.6%	4.33	83.3	1.5	19.8	12	239
May	17.8	70.9%	4.12	83.4	1.7	19.8	14	243
June	17.3	66.8%	4.02	83.5	2.1	19.2	26	218
July	17.5	57.8%	4.27	83.5	2.3	19.9	24	233
August	18.6	51.4%	4.46	83.5	2.3	21.8	8	264
September	19.3	53.8%	4.27	83.4	2.1	22.9	4	276
October	19.3	60.3%	4.24	83.3	1.9	23.1	4	288
November	18.3	71.2%	4.30	83.3	1.9	21.3	10	251
December	17.6	79.8%	3.98	83.3	1.8	19.6	17	237
Annual	18.0	69.0%	4.25	83.4	1.9	20.5	166	2948

ANEXO 7

Coeficiente A

A	$\rho = 0.2$	$\rho = 0.3$	$\rho = 0.4$	$\rho = 0.5$	$\rho = 0.6$
$\beta = 0^\circ$	1	1	1	1	1
$\beta = \pm 5^\circ$	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999
$\beta = \pm 10^\circ$	0.994	0.995	0.995	0.996	0.997
$\beta = \pm 15^\circ$	0.986	0.988	0.99	0.991	0.993
$\beta = \pm 20^\circ$	0.976	0.979	0.982	0.985	0.988
$\beta = \pm 25^\circ$	0.963	0.967	0.972	0.977	0.981
$\beta = \pm 30^\circ$	0.946	0.953	0.96	0.967	0.973
$\beta = \pm 35^\circ$	0.928	0.937	0.946	0.955	0.964
$\beta = \pm 40^\circ$	0.906	0.918	0.93	0.942	0.953
$\beta = \pm 45^\circ$	0.883	0.897	0.912	0.927	0.941
$\beta = \pm 50^\circ$	0.857	0.875	0.893	0.911	0.929
$\beta = \pm 55^\circ$	0.829	0.851	0.872	0.893	0.915
$\beta = \pm 60^\circ$	0.8	0.825	0.85	0.875	0.9
$\beta = \pm 65^\circ$	0.769	0.798	0.827	0.856	0.885
$\beta = \pm 70^\circ$	0.737	0.77	0.803	0.836	0.868
$\beta = \pm 75^\circ$	0.704	0.741	0.778	0.815	0.852
$\beta = \pm 80^\circ$	0.669	0.711	0.752	0.793	0.835
$\beta = \pm 85^\circ$	0.635	0.681	0.726	0.772	0.817

ANEXO 8

Tabla del Factor B

B ($\theta = -0^\circ$)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
$\beta = +25^\circ$	0.0231	0.0119	-0.002	-0.0171	-0.0306	-0.0378	-0.0345	-0.0226	-0.0076	0.0074	0.0204	0.0269
$\beta = -20^\circ$	0.0196	0.0104	-0.0008	-0.0131	-0.0241	-0.03	-0.0273	-0.0175	-0.0053	0.0039	0.0174	0.0227
$\beta = +15^\circ$	0.0155	0.0085	0	-0.0093	-0.0177	-0.0223	-0.0202	-0.0127	-0.0034	0.0058	0.0138	0.0178
$\beta = -10^\circ$	0.0108	0.0061	0.0004	-0.0058	-0.0115	-0.0147	-0.0132	-0.0081	-0.0019	0.0043	0.0097	0.0124
$\beta = +5^\circ$	0.0056	0.0033	0.0004	-0.0027	-0.0056	-0.0072	-0.0065	-0.0039	-0.0007	0.0024	0.0051	0.0064
$\beta = 0^\circ$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\beta = -5^\circ$	-0.006	-0.0037	-0.0008	0.0023	0.0052	0.0068	0.0061	0.0035	0.0003	-0.0028	-0.0054	-0.0068
$\beta = -10^\circ$	-0.0123	-0.0077	-0.002	0.0042	0.01	0.0132	0.0117	0.0065	0.0002	-0.0059	-0.012	-0.0138
$\beta = -15^\circ$	-0.0187	-0.012	-0.0037	0.0056	0.0142	0.0189	0.0168	0.009	-0.0003	-0.0094	-0.0171	-0.021
$\beta = -20^\circ$	-0.0253	-0.0166	-0.0057	0.0066	0.0178	0.0241	0.0212	0.011	-0.0013	-0.0132	-0.0233	-0.0283
$\beta = -25^\circ$	-0.032	-0.0215	-0.008	0.0071	0.0209	0.0286	0.0251	0.0125	-0.0026	-0.0173	-0.0295	-0.0356

ANEXO 9

Datasheet MCP73871 Chip controlador de carga



MCP73871

Stand-Alone System Load Sharing and Li-Ion/Li-Polymer Battery Charge Management Controller

Features

- Integrated System Load Sharing and Battery Charge Management
 - Simultaneously Power the System and Charge the Li-Ion Battery
 - Voltage Proportional Current Control (VPCC) ensures system load has priority over Li-Ion battery charge current
 - Low-Loss Power-Path Management with Ideal Diode Operation
- Complete Linear Charge Management Controller
 - Integrated Pass Transistors
 - Integrated Current Sense
 - Integrated Reverse Discharge Protection
 - Selectable Input Power Sources: USB Port or AC-DC Wall Adapter
- Preset High Accuracy Charge Voltage Options:
 - 4.10V, 4.20V, 4.35V or 4.40V
 - $\pm 0.5\%$ Regulation Tolerance
- Constant Current/Constant Voltage (CC/CV) Operation with Thermal Regulation
- Maximum 1.8A Total Input Current Control
- Resistor Programmable Fast Charge Current Control: 50 mA to 1A
- Resistor Programmable Termination Set Point
- Selectable USB Input Current Control
 - Absolute Maximum: 100 mA (L)/500 mA (H)
- Automatic Recharge
- Automatic End-of-Charge Control
- Safety Timer With Timer Enable/Disable Control
- 0.1C Preconditioning for Deeply Depleted Cells
- Battery Cell Temperature Monitor
- Undervoltage Lockout (UVLO)
- Low Battery Status Indicator ($\overline{\text{LBO}}$)
- Power-Good Status Indicator ($\overline{\text{PG}}$)
- Charge Status and Fault Condition Indicators
- Numerous Selectable Options Available for a Variety of Applications:
 - Refer to **Section 1.0 "Electrical Characteristics"** for Selectable Options
 - Refer to the **Product Identification System** for Standard Options
- Temperature Range: -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
- Packaging: 20-Lead QFN (4 mm x 4 mm)

Applications

- GPSs/Navigators
- PDAs and Smart Phones
- Portable Media Players and MP3 Players
- Digital Cameras
- Bluetooth Headsets
- Portable Medical Devices
- Charge Cradles/Docking Stations
- Toys

Description

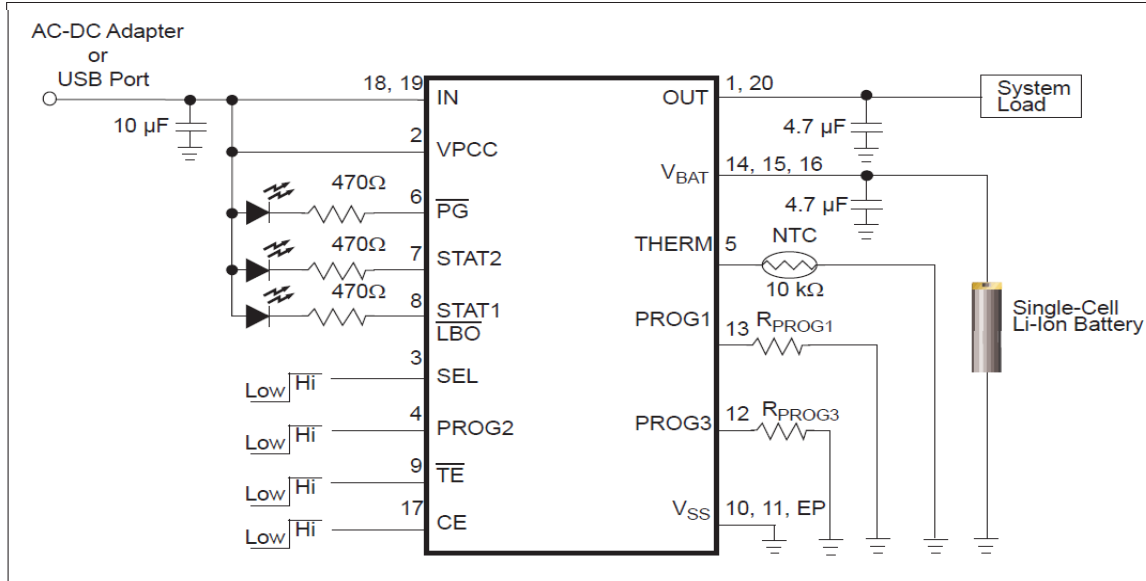
The MCP73871 device is a fully integrated linear solution for system load sharing and Li-Ion/Li-Polymer battery charge management with AC-DC wall adapter and USB port power sources selection. It is also capable of autonomous power source selection between input and battery. Along with its small physical size, the low number of required external components makes the device ideally suited for portable applications.

The MCP73871 device automatically obtains power for the system load from a single-cell Li-Ion battery or an input power source (AC-DC wall adapter or USB port). The MCP73871 device specifically adheres to the current drawn limits governed by the USB specification. With an AC-DC wall adapter providing power to the system, an external resistor sets the magnitude of 1A maximum charge current while supporting up to 1.8A total current for system load and battery charge current.

The MCP73871 device employs a constant-current/constant-voltage (CC/CV) charge algorithm with selectable charge termination point. To accommodate new and emerging battery charging requirements, the constant voltage regulation is fixed with four available options: 4.10V, 4.20V, 4.35V or 4.40V. The MCP73871 device also limits the charge current based on the die temperature during high power or high ambient conditions. This thermal regulation optimizes the charge cycle time while maintaining device reliability.

The MCP73871 device includes a low battery indicator, a power-good indicator and two charge status indicators that allow for outputs with LEDs or communication with host microcontrollers. The MCP73871 device is fully specified over the ambient temperature range of -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$.

Typical Application Circuit



1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings†

V_{IN}	7.0V
All Inputs and Outputs w.r.t.	$V_{SS}-0.3V$ to $V_{DD}+0.3V$
($V_{DD} = V_{IN}$ or V_{BAT})	
Maximum Junction Temperature, T_J	Internally Limited
Storage temperature	-65°C to +150°C
ESD protection on all pins	
Human Body Model (1.5 kΩ in Series with 100 pF).....	≥ 4 kV
Machine Model (200 pF, No Series Resistance).....	300V

† Notice: Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{IN} = V_{REG} + 0.3V$ to 6V, $T_A = -40°C$ to +85°C. Typical values are at +25°C, $V_{IN} = [V_{REG}(\text{typical}) + 1.0V]$

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Supply Input						
Supply Voltage	V_{IN}	$V_{REG} + 0.3V$	—	6	V	
Supply Current	I_{SS}	—	2500	3750	µA	Charging
		—	260	350	µA	Charge Complete
		—	180	300	µA	Standby
		—	28	50	µA	Shutdown ($V_{DD} \leq V_{BAT} - 100$ mV or $V_{DD} < V_{STOP}$)
UVLO Start Threshold	V_{START}	$V_{REG} + 0.05V$	$V_{REG} + 0.15V$	$V_{REG} + 0.25V$	V	$V_{DD} = \text{Low-to-High}$
UVLO Stop Threshold	V_{STOP}	$V_{REG} - 0.07V$	$V_{REG} + 0.07V$	$V_{REG} + 0.17V$	V	$V_{DD} = \text{High-to-Low}$
UVLO Hysteresis	V_{HYS}	—	90	—	mV	
Voltage Regulation (Constant Voltage Mode)						
Regulated Charge Voltage	V_{REG}	4.080	4.10	4.121	V	$V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 1V]$ $I_{OUT} = 10$ mA $T_A = -5°C$ to +55°C
		4.179	4.20	4.221	V	
		4.328	4.35	4.372	V	
		4.378	4.40	4.422	V	
Regulated Charge Voltage Tolerance	V_{RTOL}	-0.5	—	+0.5	%	$T_A = +25°C$
		-0.75	—	+0.75	%	$T_A = -5°C$ to +55°C
Line Regulation	$\frac{ \Delta V_{BAT}/V_{BAT} }{\Delta V_{DD}}$	—	0.08	0.20	%/V	$V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 1V]$ to 6V $I_{OUT} = 10$ mA
Load Regulation	$ \Delta V_{BAT}/V_{BAT} $	—	0.08	0.18	%	$I_{OUT} = 10$ mA to 150 mA $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 1V]$
Supply Ripple Attenuation	PSRR	—	-47	—	dB	$I_{OUT} = 10$ mA, 1 kHz
		—	-40	—	dB	$I_{OUT} = 10$ mA, 10 kHz

Note 1: The value is ensured by design and not production tested.

Note 2: The maximum available charge current is also limited by the value set at PROG1 input.

2.0 TYPICAL PERFORMANCE CURVES

Note: The graphs and tables provided following this note are a statistical summary based on a limited number of samples and are provided for informational purposes only. The performance characteristics listed herein are not tested or guaranteed. In some graphs or tables, the data presented may be outside the specified operating range (e.g., outside specified power supply range) and therefore outside the warranted range.

Note: Unless otherwise indicated, $V_{IN} = [V_{REG}(\text{typical}) + 1V]$, $I_{OUT} = 10 \text{ mA}$ and $T_A = +25^\circ\text{C}$, Constant Voltage mode.

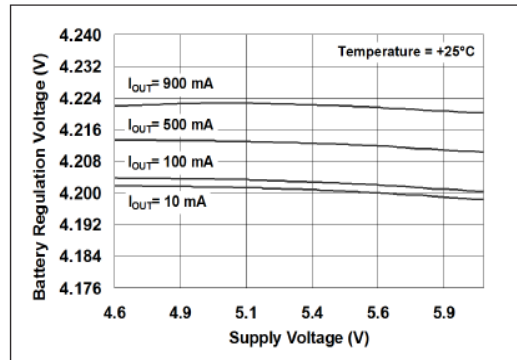


FIGURE 2-1: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

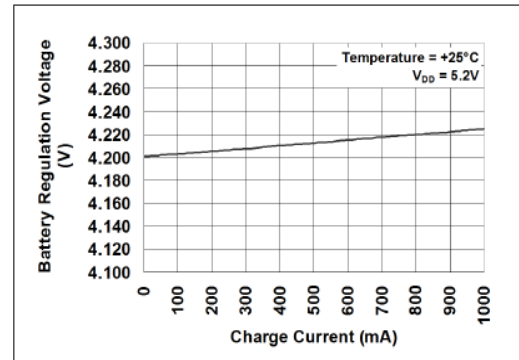


FIGURE 2-4: Charge Current (I_{OUT}) vs. Battery Regulation Voltage (V_{BAT}).

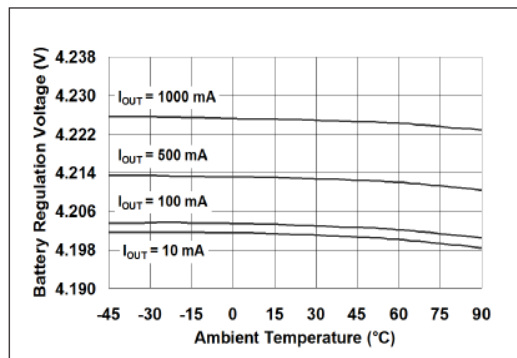


FIGURE 2-2: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Ambient Temperature (T_A).

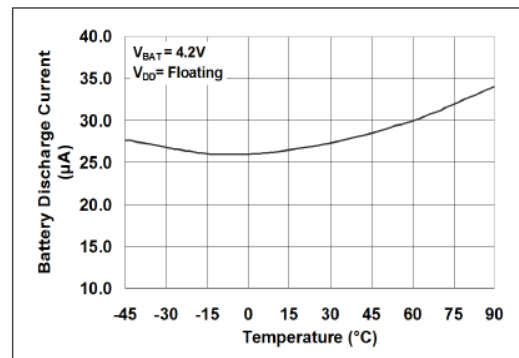


FIGURE 2-5: Output Leakage Current ($I_{DISCHARGE}$) vs. Ambient Temperature (T_A).

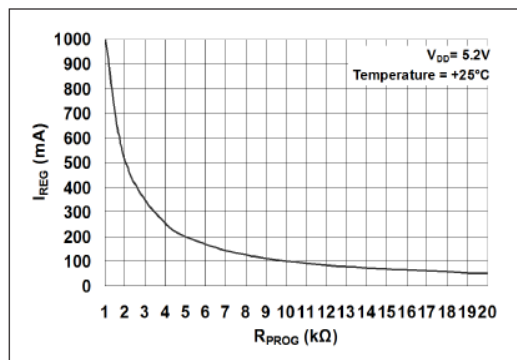


FIGURE 2-3: Charge Current (I_{OUT}) vs. Programming Resistor (R_{PROG}).

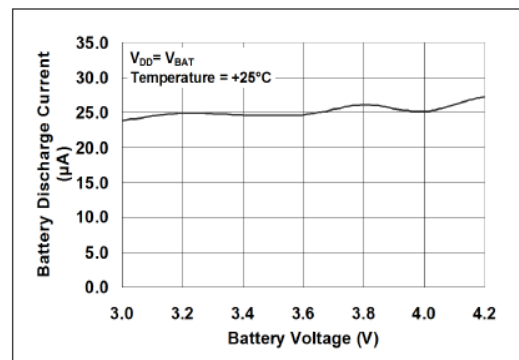


FIGURE 2-6: Output Leakage Current ($I_{DISCHARGE}$) vs. Battery Regulation Voltage (V_{BAT}).

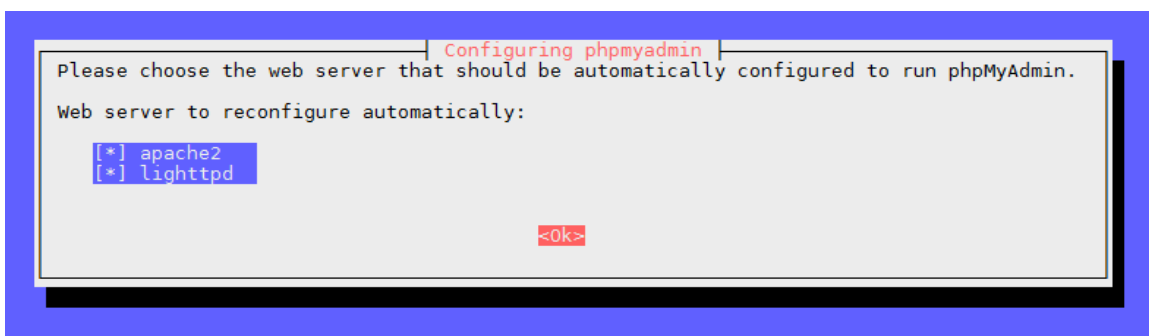
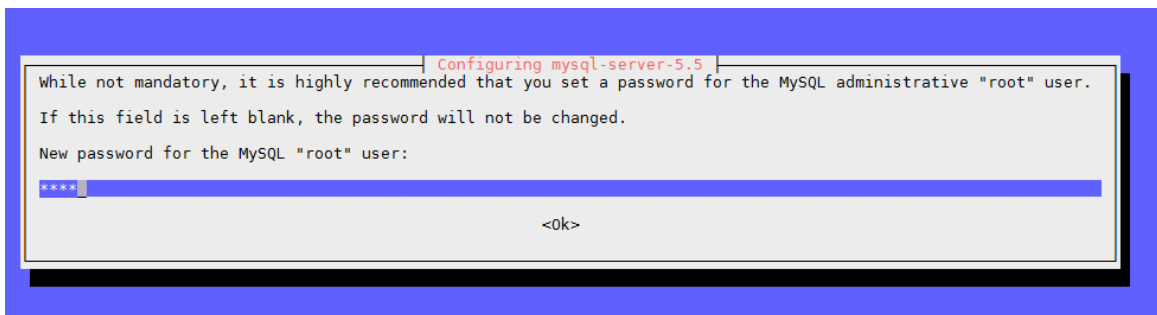
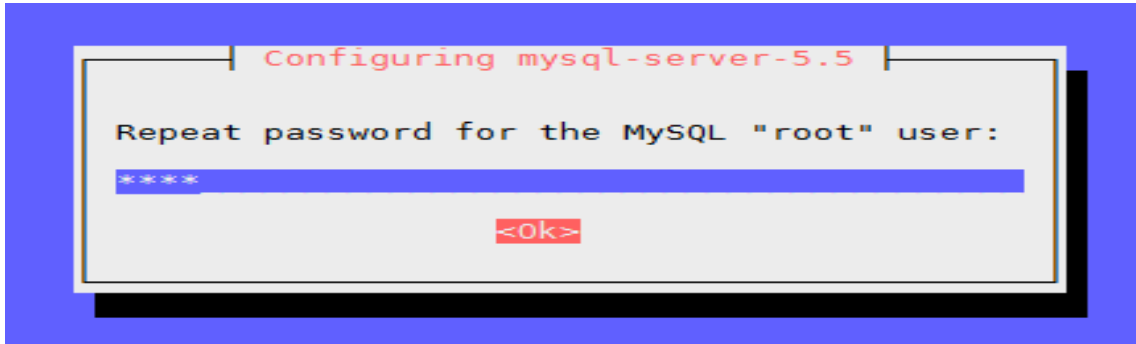
Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{IN} = V_{REG} + 0.3V$ to $6V$, $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$. Typical values are at $+25^\circ C$, $V_{IN} = [V_{REG} \text{ (typical)} + 1.0V]$						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Current Regulation (Fast Charge Constant Current Mode)						
AC-Adapter Fast Charge Current	I_{REG}	90	100	110	mA	PROG1 = 10 k Ω , $T_A = -5^\circ C$ to $+55^\circ C$, SEL = Hi
		900	1000	1100	mA	PROG1 = 1 k Ω , $T_A = -5^\circ C$ to $+55^\circ C$, SEL = Hi
USB Fast Charge Current	I_{REG}	80	90	100	mA	PROG2 = Low, SEL = Low, (Note 2) $T_A = -5^\circ C$ to $+55^\circ C$
		400	450	500	mA	PROG2 = High, SEL = Low, (Note 2) $T_A = -5^\circ C$ to $+55^\circ C$
Input Current Limit Control (ICLC)						
USB-Port Supply Current Limit	I_{LIMIT_USB}	80	90	100	mA	PROG2 = Low, SEL = Low $T_A = -5^\circ C$ to $+55^\circ C$
		400	450	500	mA	PROG2 = High, SEL = Low $T_A = -5^\circ C$ to $+55^\circ C$
AC-DC Adapter Current Limit	I_{LIMIT_AC}	1500	1650	1800	mA	SEL = High, $T_A = -5^\circ C$ to $+55^\circ C$
Voltage Proportional Charge Control (VPCC - Input Voltage Regulation)						
VPCC Input Threshold	V_{VPCC}	—	1.23	—	V	$I_{OUT} = 10 \text{ mA}$ $T_A = -5^\circ C$ to $+55^\circ C$
VPCC Input Threshold Tolerance	V_{RTOL}	-3	—	+3	%	
Input Leakage Current	I_{LK}	—	0.01	1	μA	$V_{VPCC} = V_{DD}$
Precondition Current Regulation (Trickle Charge Constant Current Mode)						
Precondition Current Ratio	I_{PREG}/I_{REG}	7.5	10	12.5	%	PROG1 = 1.0 k Ω to 10 k Ω $T_A = -5^\circ C$ to $+55^\circ C$
Precondition Current Threshold Ratio	V_{PTH}/V_{REG}	69	72	75	%	V_{BAT} Low-to-High
Precondition Hysteresis	V_{PHYS}	—	105	—	mV	V_{BAT} High-to-Low
Automatic Charge Termination Set Point						
Charge Termination Current Ratio	I_{TERM}	75	100	125	mA	PROG3 = 10 k Ω $T_A = -5^\circ C$ to $+55^\circ C$
		7.5	10	12.5	mA	PROG3 = 100 k Ω $T_A = -5^\circ C$ to $+55^\circ C$
Automatic Recharge						
Recharge Voltage Threshold Ratio	V_{RTH}	$V_{REG} - 0.21V$	$V_{REG} - 0.15V$	$V_{REG} - 0.09V$	V	V_{BAT} High-to-Low
IN-to-OUT Pass Transistor ON-Resistance						
ON-Resistance	R_{DS_ON}	—	200	—	m Ω	$V_{DD} = 4.5V$, $T_J = 105^\circ C$

Note 1: The value is ensured by design and not production tested.

2: The maximum available charge current is also limited by the value set at PROG1 input.

ANEXO 10

Configuración de MySQL



ANEXO 11

Asistente de configuración PHPMyAdmin

Configuring phpmyadmin

The phpmyadmin package must have a database installed and configured before it can be used. This can be optionally handled with dbconfig-common.

If you are an advanced database administrator and know that you want to perform this configuration manually, or if your database has already been installed and configured, you should refuse this option. Details on what needs to be done should most likely be provided in /usr/share/doc/phpmyadmin.

Otherwise, you should probably choose this option.

Configure database for phpmyadmin with dbconfig-common?

<Yes> <No>

Configuring phpmyadmin

Please provide the password for the administrative account with which this package should create its MySQL database and user.

Password of the database's administrative user:

<Ok> <Cancel>

Configuring phpmyadmin

Please provide a password for phpmyadmin to register with the database server. If left blank, a random password will be generated.

MySQL application password for phpmyadmin:

<Ok> <Cancel>

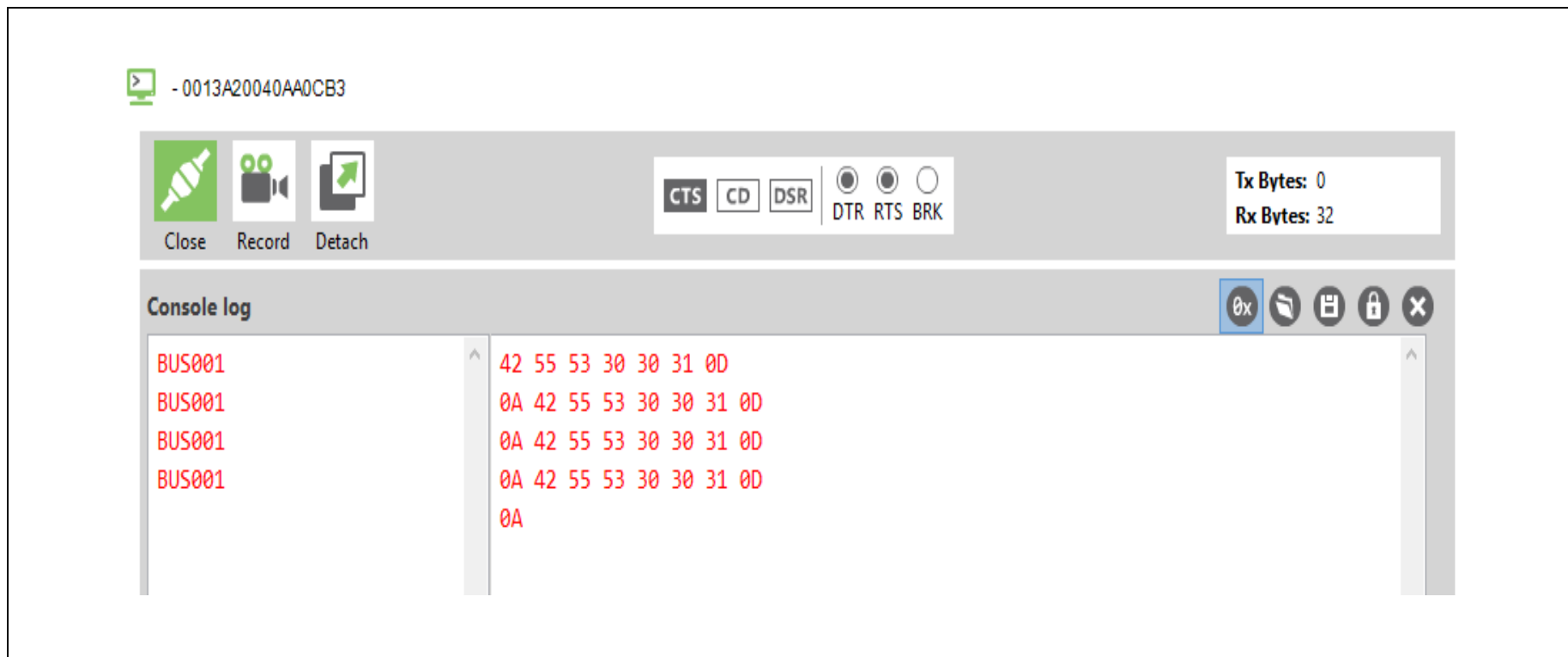
Configuring phpmyadmin

Password confirmation:

<Ok> <Cancel>

ANEXO 12

Pruebas de conectividad nodo coordinador



The screenshot shows a serial terminal window with the following components:

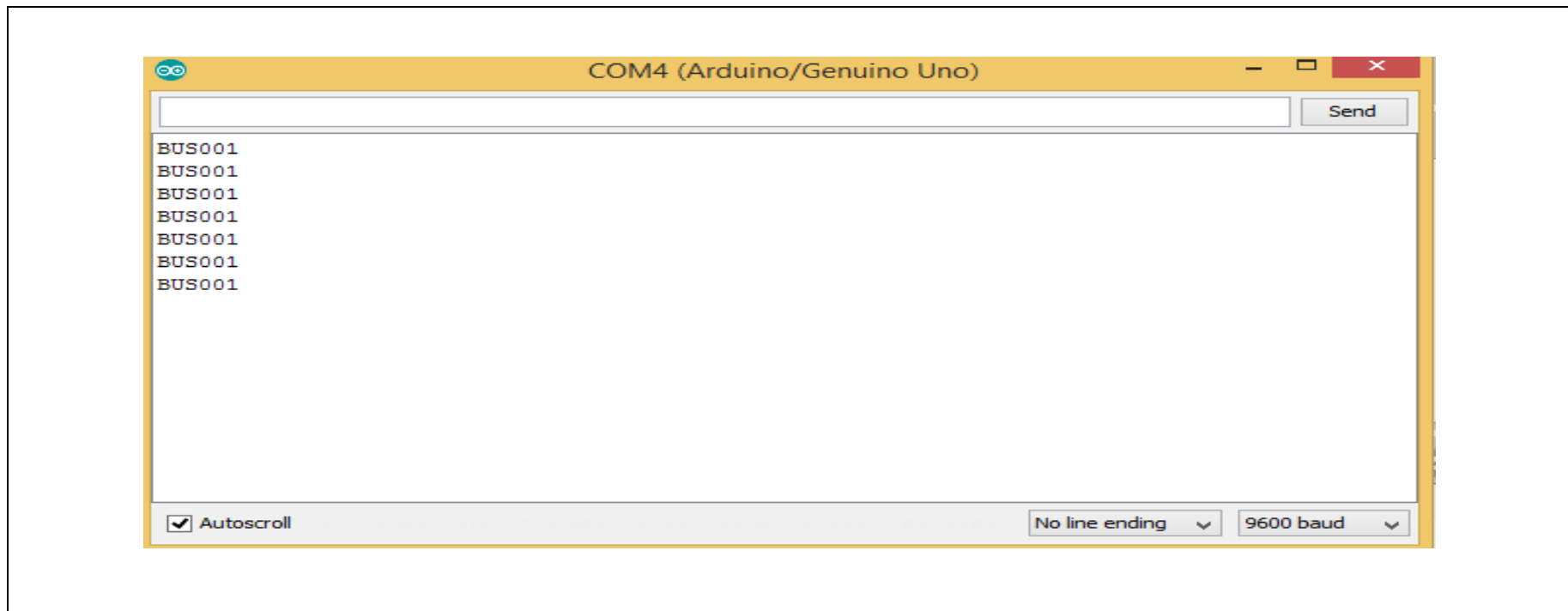
- Title Bar:** - 0013A20040AA0CB3
- Toolbar:** Close (green plug icon), Record (video camera icon), Detach (document with arrow icon).
- Flow Control:** CTS, CD, DSR (checkboxes); DTR, RTS, BRK (radio buttons).
- Statistics:** Tx Bytes: 0, Rx Bytes: 32.
- Console log:** A scrollable area with a header "Console log" and a toolbar containing 0x, copy, save, lock, and close icons.




The console log contains the following data:

```
BUS001 42 55 53 30 30 31 0D
BUS001 0A 42 55 53 30 30 31 0D
BUS001 0A 42 55 53 30 30 31 0D
BUS001 0A 42 55 53 30 30 31 0D
0A
```

ANEXO 13

Pruebas de conectividad nodo final










Close Record Detach

CTS CD DSR
 DTR
 RTS
 BRK

Tx Bytes: 4
Rx Bytes: 1240




Console log

```


BUS001 0A 42 55 53 30 30 31 0D
BUS001 0A 42 55 53 30 30 31 0D
BUS001 0A 42 55 53 30 30 31 0D
BUS001 0A 42 55 53 30 30 31 0D
BUS001 0A 42 55 53 30 30 31 0D
BUS001 0A 42 55 53 30 30 31 0D
BUS001 0A 42 55 53 30 30 31 0D
BUS001 0A 42 55 53 30 30 31 0D
stop    0A 73 74 6F 70
  
```

Send packets

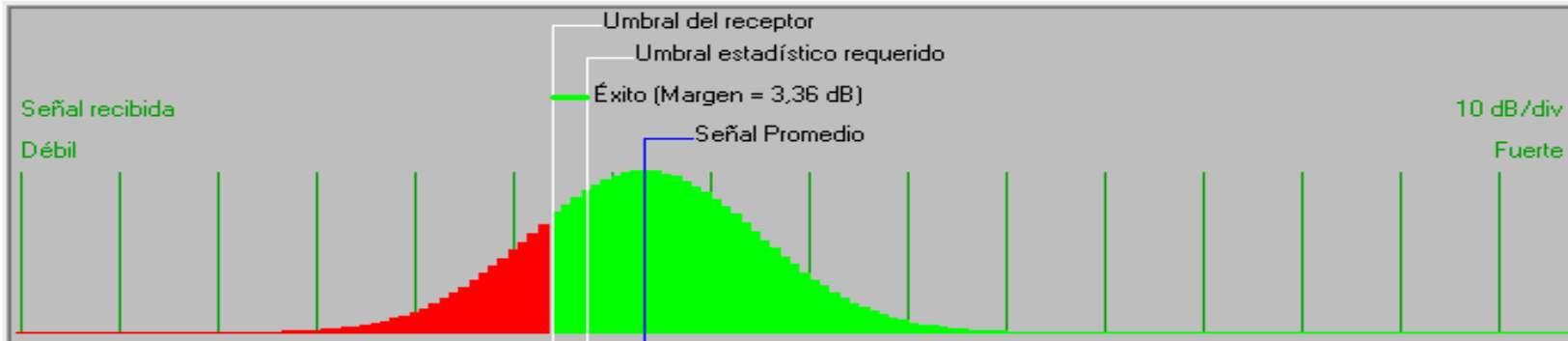
Name	Data
packet_0	stop

Send a single packet

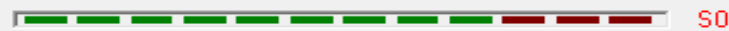
 Send selected packet

ANEXO 14

Editar Ver Invertir



Transmisor



Xbee coordinador

Rol Control

Nombre del sistema Tx Sistema 1

Potencia Tx 0,001W 0 dBm

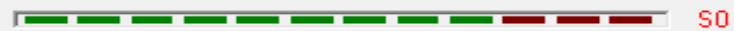
Pérdida de línea 0 dB

Ganancia de antena 0 dBi -2.2 dBd +

Potencia radiada PIRE=0W PRE=0W

Altura de antena (m) 2 - + Deshacer

Receptor



Xbee Ruta 1

Rol Control

Nombre del sistema Rx Sistema 1

Campo E requerido 52,97 dBμV/m

Ganancia de antena 0 dBi -2.2 dBd +

Pérdida de línea 0 dB

Sensibilidad Rx 5,6234μV -92 dBm

Altura de antena (m) 3.2 - + Deshacer

Red

Red Xbee

Frecuencia (MHz)

Mínimo 2405

Máximo 2480

