



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE
COMUNICACIÓN**

**SISTEMA DOMÓTICO INCLUYENDO PLATAFORMAS DE
HARDWARE Y SOFTWARE LIBRE PARA LA RESIDENCIA DE UNA
PERSONA CON PARAPLEJIA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

AUTOR: LUIS DIEGO ACOSTA HERRERÍA

DIRECTOR: ING. JAIME MICHILENA

Ibarra, Diciembre 2016

“SISTEMA DOMÓTICO INCLUYENDO PLATAFORMAS DE HARDWARE Y SOFTWARE LIBRE PARA LA RESIDENCIA DE UNA PERSONA CON PARAPLEJIA”

Diego Acosta H.

1. Introducción

Resumen.- El presente sistema implementado permite el control de focos, puertas, ventanas, cortinas y una manta eléctrica en el domicilio de una persona con paraplejia.

Con el fin de obtener un sistema multiplataforma se orienta esta aplicación a la web, permitiendo acceder a la interfaz desde cualquier dispositivo a través de un navegador, tanto desde la WLAN como desde Internet.

El producto final obtenido es un sistema que reduce el tiempo de incomodidad en la interacción con los dispositivos intervenidos, mejorando el desenvolvimiento de la persona, en su hogar.

En el presente trabajo como punto principal se estudian las herramientas que se utilizan en el diseño y la construcción de un sistema domótico, que permite el mejor desenvolvimiento de una persona con paraplejia en su vivienda.

Dicho sistema se compone tanto de hardware como de software, que permite el control de actuadores en la residencia por medio de una interfaz orientada a la web. Funciona gracias a la unión de diferentes subsistemas que cumplen con funciones reducidas, las cuales son controladas desde un dispositivo central. Por lo cual es necesario el estudio de las partes que forman al sistema por separado, para una mejor comprensión del mismo.

2. Análisis de herramientas libres y los estándares IEEE 802.15.4 y 802.11b/g.

2.1. Herramientas libres.

El software es un “conjunto de programas, instrucciones, y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora” (RAE 2013).

Básicamente todas estas instrucciones se llevan a cabo por medio de circuitos electrónicos o hardware. Según la Organización (GNU 2013) cuando el código fuente de un software contempla libertades como: libre estudio, modificación, distribución y

¹documento recibido en febrero del 2017. J. Michilena, Docente de la Universidad Técnica del Norte, D. Acosta Egresado de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación.

redistribución de los cambios; y esta liberado con una licencia GPL se lo considera software libre.

Por otra parte cuando se habla de hardware libre, es notable hablar de ello con una comparación directa con el software libre en lo que se refiere a: estudio, modificación, distribución y redistribución del hardware.

Pero compartir diseños de un dispositivo es más complicado que compartir software. Al final, cabe destacar que no hay una definición exacta para “hardware libre”, solo está presente la ideología de desarrollar algo y compartir el conocimiento con la sociedad para contribuir con ella.

2.2. Placas de desarrollo ARM.

Actualmente las placas de desarrollo libres están en auge, con el avance de tecnologías como ARM es posible tener sistemas embebidos corriendo un sistema operativo en áreas no mayores a diez centímetros cuadrados. Estas herramientas permiten montar sistemas permanentemente conectados sin generar un gran consumo energético, sin ruidos y con un grado de procesamiento respetable.

2.3. Raspberry Pi

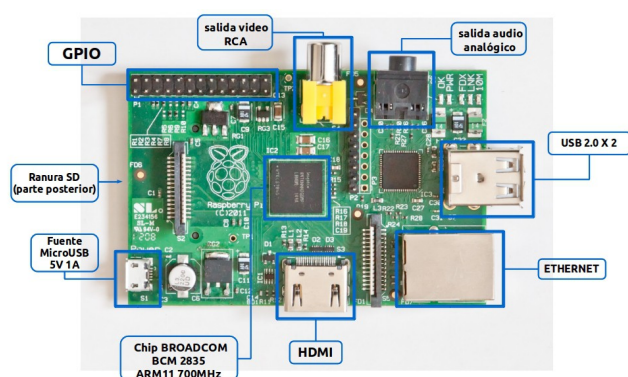


Figura 1. Placa Raspberry Pi.

Raspberry pi es una plataforma considerada un icono en el desarrollo del hardware y software libre; creado con el objetivo de incentivar la creatividad de los estudiantes en áreas como la electrónica, programación e informática. Raspberry pi es un SBC

de reducido tamaño con características propias de un computador y tiene la capacidad de ejecutar un sistema operativo GNU/Linux. Entre sus características más importantes destacan un procesador de 700Mhz con arquitectura ARM, una memoria RAM de 512MB, comunicación Ethernet y USB; además de puertos de propósito general (GPIO) que permiten la interconexión con diferentes placas electrónica de expansión (Upton 2013).

2.4. Raspbian

El sistema operativo que se utiliza en la Raspberry Pi es Raspbian, el cual está basado en Debian y por ende hereda sus cualidades robustas y estables. Según la Raspbian ORG (Raspbian, 2013), el S.O fue creado específicamente por la comunidad para el hardware de la Raspberry y cuenta con alrededor de 35 mil paquetes pre compilados listos para ser usados. Además, cuenta con un repositorio actualizado y un gestor de paquetes que se encarga de la instalación y configuración de los mismos.

2.5. Herramientas para el desarrollo de aplicaciones web.

Para el desarrollo de páginas web se debe disponer de diferentes herramientas que trabajan juntas para crear contenido web, a esto se le conoce como un marco de trabajo que a su vez permite desarrollar interfaces web con un estilo predefinido (Fernandez, 2013).

2.6. Servidor web apache.

Según la Apache ORG, el proyecto APACHE es un software de código abierto, de libre disposición y mantenido por una comunidad de desarrolladores dispersada por todo el mundo. El objetivo principal de este servidor web es ser seguro, eficiente y extensible; proporcionando servicios sobre el Protocolo de Transferencia de Hipertexto (HTTP) y respetando sus estándares (Apache, 2013).

2.7. Framework JQuery Mobile

En el diagrama de la figura 2 se puede observar el entorno de trabajo de manera contenida que se utiliza para el desarrollo de la aplicación web, lo más destacable de este diagrama es la equivalencia entre los lenguajes HTML, Javascript, CSS y AJAX con JQuery Mobile.

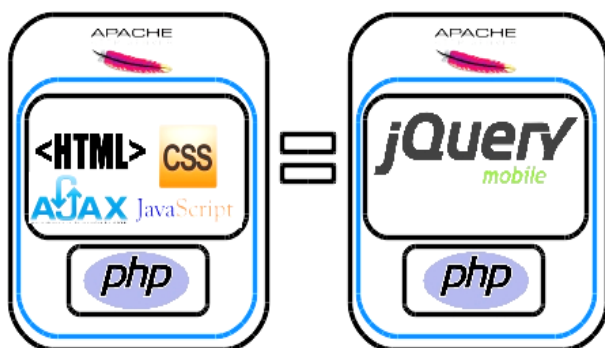


Figura 2. Entorno de herramientas de trabajo web.

2.8. Arduino

Arduino es una placa de desarrollo electrónico dirigida a todo tipo de personas que estén interesadas en el desarrollo de aplicaciones electrónicas compuestas por software y hardware. (Banzi, 2010).

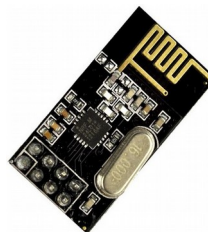
2.9. Módulos de radiofrecuencia XBEE.



Los módulos XBEE son dispositivos desarrollados por la empresa Digi, están basados en el estándar IEEE 802.15.4 y funcionan en 2,4GHz. En su fabricación se graba un conjunto de funciones descritas por el estándar además de una dirección única de 64 bits.

Estos módulos fueron diseñados principalmente para el envío y recepción de datos en redes de bajo tráfico, específicamente para redes de sensores. La utilización de estos módulos presentan varias ventajas en el desarrollo de proyectos que involucren una red de sensores con bajo tráfico, la amplia experiencia de la empresa que está detrás de estos módulos permite tener la garantía de un producto maduro, robusto y estable

2.10. Módulos de radio frecuencia NRF24L01.



Como se ha podido evidenciar los módulos XBEE son una solución para la implementación de redes de sensores con bajo tráfico, con el desarrollo de la IEEE y la empresa Digi se pueden obtener productos de gran calidad a disposición. El punto débil de estos dispositivos, es tal vez su elevado costo y la consecuencia que esto tiene en redes con varios dispositivos, se tiene una solución excelente pero a la vez muy costosa; además hay que tomar en cuenta que no todas las aplicaciones se pueden permitir esto. Por este motivo se recurre a los módulos NRF24L01 que complementan el sistema y lo hace más accesible económicamente. Estos módulos poseen características muy similares en funcionamiento a los XBEE pero no están basados en el estándar, mas bien funcionan mediante librerías en conjunto con las placas arduino.

3. Situación actual y parámetros del diseño

Es necesario establecer un panorama general referente a la situación de la persona beneficiada con el sistema a través de un estudio, para determinar cuál es la mejor forma de ayudar a que pueda tener un mejor desenvolvimiento y por ende una mejor calidad de vida.

El principal objetivo del sistema es facilitar la interacción con las cosas comunes dentro del hogar, sin llegar a tener un sistema intrusivo; es decir los dispositivos a controlar no deben alterar mayormente su funcionamiento o causar incomodidades para otras personas.

3.1. Características y situación de la persona con paraplejia.

El Sr. Jaime Cadena tiene 46 años de edad y sufre de paraplejia por un accidente a los 19 años, motivo por el cual no tiene sensibilidad ni movimiento en sus extremidades inferiores. Su hermano el Sr. Luis

Cadena quien tiene una familia propia, comparte su vivienda con su hermano y de esta manera él y su familia le ayudan en lo que pueden, permitiendo que pueda llevar una vida cómoda, en lo posible.

La vivienda construida con hormigón y acero cuenta con los servicios básicos, agua, energía eléctrica, teléfono e Internet. Las instalaciones de la vivienda constan de sala, cuartos, comedor, cocina, garaje, dos baños normales y uno adecuado especialmente para satisfacer las necesidades de la persona con paraplejia; además se cuenta con accesos y rampas para que la movilidad no sea un problema.

La opinión verbal del Sr. Jaime Cadena ha sido que se siente cómodo en su hogar y que las dificultades o necesidades que se le presentan las trata de solucionar él mismo, cuando sus limitaciones físicas no lo permiten acude a algún miembro de la familia.

El Sr. Jaime Cadena es una persona joven que tiene una profesión y un trabajo estable, su deseo de superación ha hecho que pueda lograr gran independencia y su autoestima es muy sana y contagiante.

3.2. Características de la vivienda y áreas más frecuentes.

La vivienda tiene un área total de 260m² los cuales se dividen en dos locales comerciales, un garaje, un patio pequeño, sala, cocina, tres baños y tres dormitorios.

Posee espacios diversos de uso común por todos los miembros de la familia; pero el sistema se centra en los espacios más utilizados por la persona a quien se dedica el sistema. Así se llega a determinar que las áreas más frecuentemente utilizadas por la persona con paraplejia, y son estas áreas a donde se enfocan los esfuerzos para eliminar las posibles incomodidades y dificultades que se le pudieran presentar.

En la figura 3 se muestra un plano con las áreas a tomar en cuenta en incluyendo el garaje con su patio, la sala, cocina, el dormitorio número dos y el baño número dos.

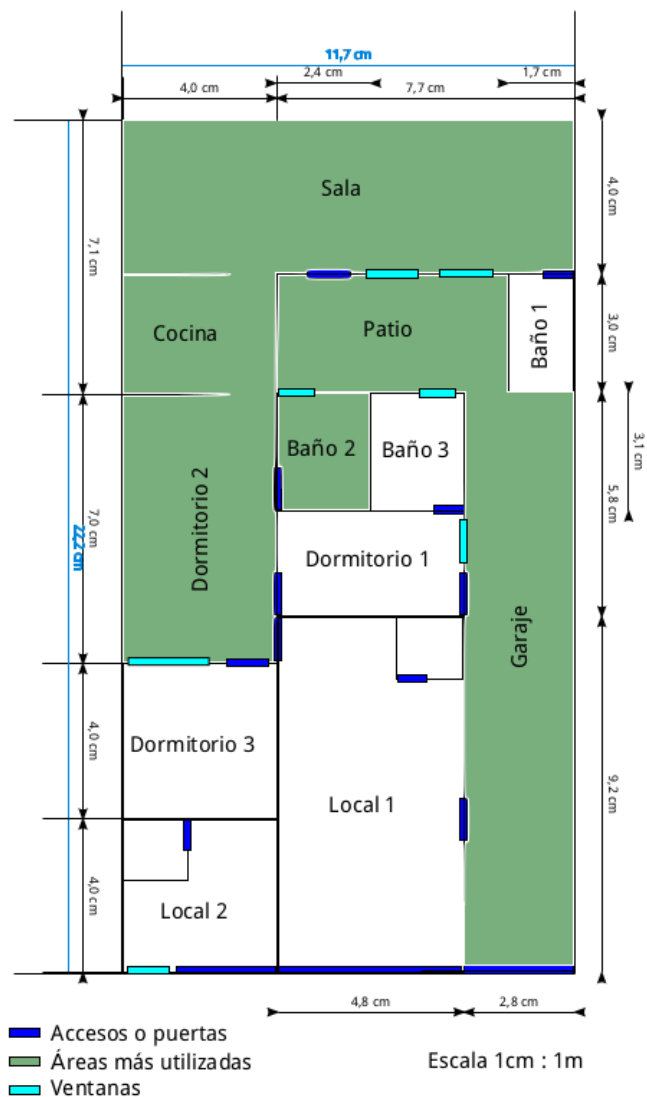


Figura 3. Plano de áreas más utilizadas.

Estas áreas son las tomadas en cuenta para el estudio, diseño e instalación del sistema.

4. Diseño del sistema domótico.

El diseño del sistema se basa en la instalación de dos tipos de redes en la vivienda, la primera conteniendo a todos los dispositivos que se van a controlar y la segunda que permite la comunicación desde un dispositivo final hacia un nodo central

basada en IEEE 802.11b/n; para que puedan relacionarse estas tecnologías, se utiliza un dispositivo que puede comunicarse con ambas, siendo la puerta de enlace entre ambos tipos de comunicaciones. Los dispositivos se configuran en frecuencias y canales que no se interfieran entre sí de tal manera que no haya conflictos en el tráfico de información.

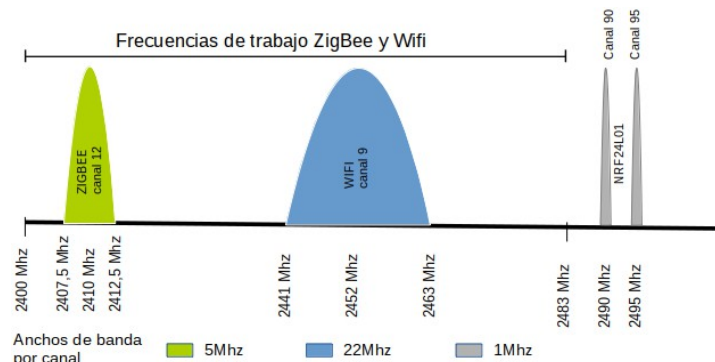


Figura 4. Separación de frecuencias.

En la siguiente figura 5 se observan las características generales del sistema propuesto, cada una de ellas abarcan aspectos y funciones que son importantes y necesarias; la unión de estas características apuntan hacia el único objetivo de obtener un sistema funcional.

En accesibilidad se incluye la posibilidad de acceder al sistema desde cualquier dispositivo final, tanto de manera local como remota a través de Internet, esto elimina la dependencia de un solo dispositivo para su uso, obteniendo un sistema multiplataforma.

La organización de los elementos del sistema permite una interacción y comunicación apropiada entre el usuario y el sistema; así también entre los diferentes elementos que lo conforman. La interfaz está dividida en sub-menús que están relacionados con las áreas a controlar y permiten que el usuario pueda acceder sin problemas a cada una de ellas.

De manera similar los dispositivos instalados se organizan de tal forma que la información pueda fluir de manera adecuada y los resultados de las interacciones puedan reflejarse rápidamente en la interfaz.

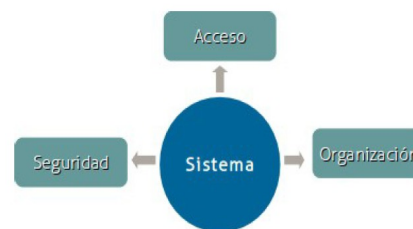


Figura 5. Diseño del sistema doméstico

4.1. Topología de dispositivos.

Para la construcción de los dispositivos primero se debe establecer una topología real a instalarse, y ya que toda topología de red consta de un diagrama de comunicación lógico y físico, se presenta a continuación la topología lógica de la red a implementarse

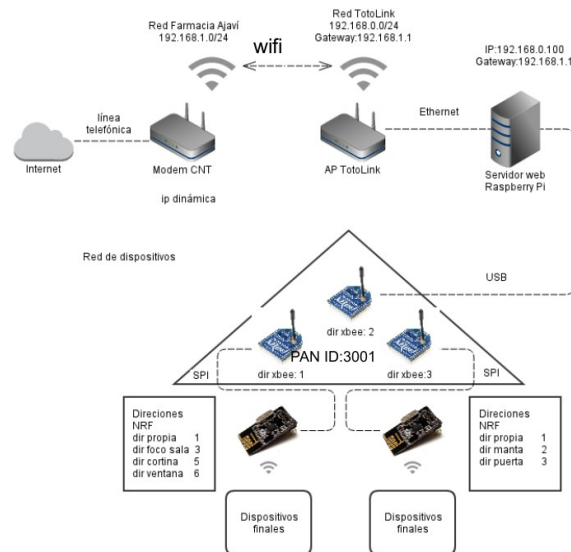


Figura 6. Topología lógica de la red.

La figura muestra la relación lógica que tienen los dispositivos y se detallan las direcciones de cada uno de ellos. Como se puede apreciar cada dispositivo se interconecta utilizando su propia tecnología de

comunicación, por lo cual existen tres tipos de direccionamiento.

4.2. Topología real a implementarse.

La topología a implementarse es la mostrada en la figura, como se explicó anteriormente las peticiones y cambios de estado siempre se originan en la Raspberry, entonces para realizar las pruebas pertinentes de comunicación la información siempre inicia y termina en la Raspberry, es decir se considerará que la prueba es un éxito cuando el dato pueda llegar a su destino y la respuesta del nodo regrese a la Raspberry.

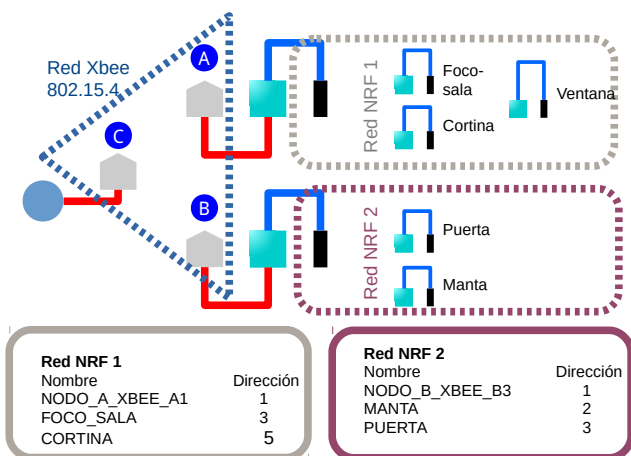


Figura 7. Topología implementada.

4.3. Nodo foco

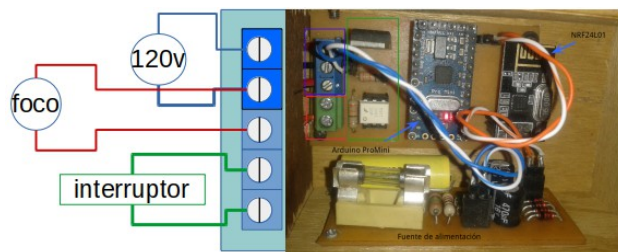


Figura 8. Conexión nodo foco.

La conexión del nodo foco se muestra en figura 8, esta conexión se la hace junto al cajetín de una lámpara que cuenta con un voltaje de alimentación de 120V, dos conductores para el interruptor (en la figura de color verde) y los contactos donde conecta

la lámpara misma representados en la figura de color rojo.

4.4. Nodos cortina y ventana

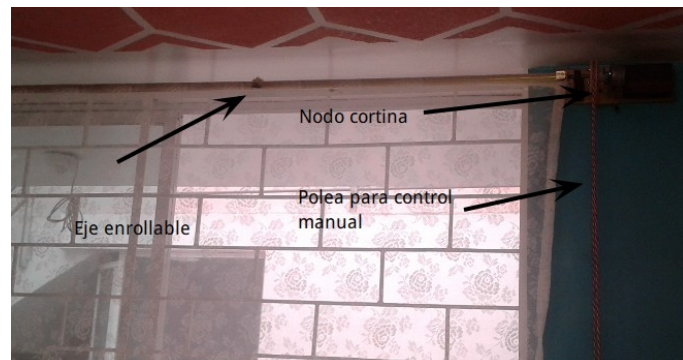


Figura 9. Nodo cortina.

El nodo cortina consta de un motor de pasos con su eje unido a un soporte que permite que la cortina se enrolle. Este nodo se alimenta por dos voltajes 5V para la parte lógica y 12V para el motor de pasos, motivo por el cual se ha utilizado una fuente de PC ATX.

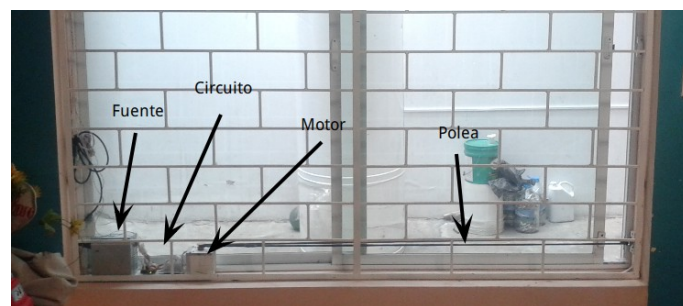


Figura 9. Nodo Ventana.

4.5. Nodo puerta.

Este dispositivo se empotra en la puerta misma, entonces los componentes se están moviendo contante mente, pero esta condición no impide tener una muy buena comunicación con el nodo, la parte más complicada en la instalación de este nodo fue la ubicación y sujeción del motor de pasos.

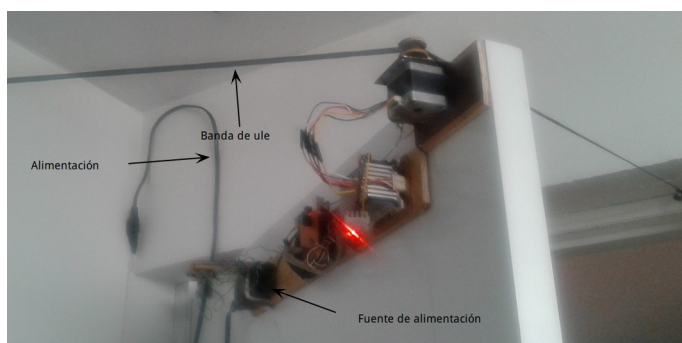


Figura 10. Nodo puerta.

4.6. Nodo manta.

El nodo manta es un dispositivo pequeño, cuenta con un enchufe para conectarlo a la red eléctrica y se lo puede mover al antojo del usuario. Si se observa la figura 11 en la parte frontal existen dos botones que permiten el uso manual del nodo, mientras que un led funciona como indicador.

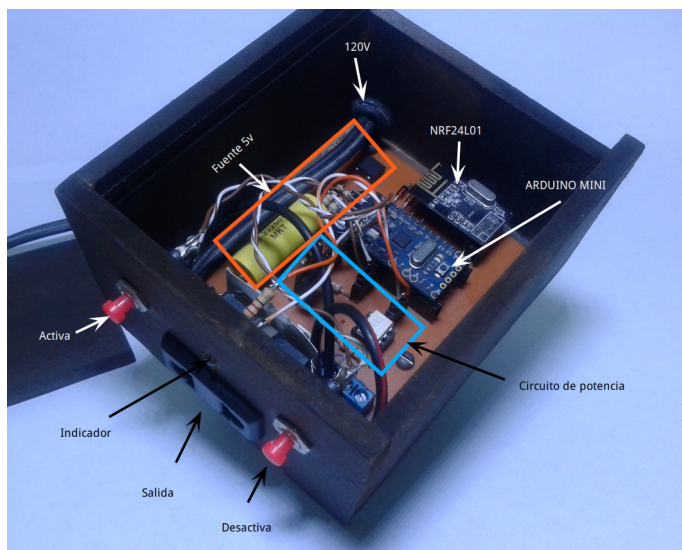


Figura 11. Nodo Manta.

Finalmente en la implementación de todos los dispositivos se tuvieron que realizar las adecuaciones pertinentes para que todos los dispositivos estén en el rango de cobertura. También se tuvieron que aumentar los puntos eléctricos de conexión. En la figura 12 se puede observar en que posiciones según el plano quedaron ubicados todos los nodos.

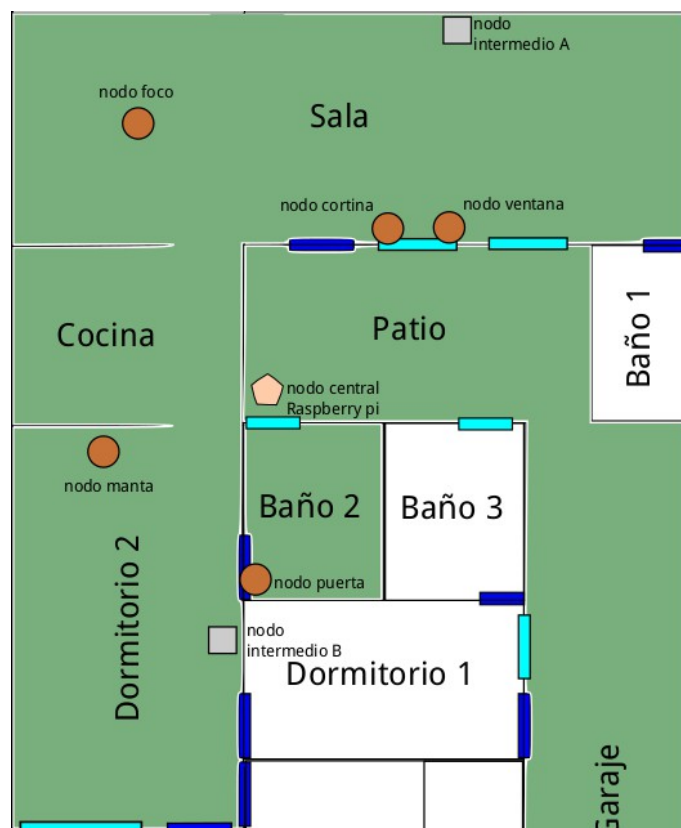


Figura 11. Nodo Manta.

5. Análisis costo beneficio

Este proyecto de titulación tiene como objetivo principal mejorar la calidad de una persona con paraplejía, por lo que es un proyecto social si una tasa de retorno económica, es decir existe una inversión económica pero el beneficio no es económico. El beneficio que se obtiene se puede enfocar en las actividades independientes, que el usuario puede realizar después de la instalación del sistema domótico.

Los beneficios primordiales de la domótica es que ofrece un entorno más favorable y óptimo para una vida lo más autónoma posible. El hecho de que los sistemas de la vivienda se pueden programar ya sea para que realicen ciertas funciones con sólo tocar un botón o que las lleven a cabo en función de otras condiciones del entorno, produce un aumento del confort y un ahorro de tiempo.

Nadie mejor que el usuario directamente beneficiado para dar una opinión del verdadero

beneficio, he aquí algunas preguntas que se le realizaron a modo de entrevista:

-¿Cual es su opinión sobre el proyecto en conjunto?

“Brinda mucha comodidad, imagínese que se pueden controlar las cosas sin tener que levantarse y también desde Internet ”

-¿Qué expectativas tenía sobre el proyecto y cuales se cumplieron?

“La cobija o la manta me parecía una excelente idea, había pensado antes si existía alguna forma de automatizarla. El caso de los otros dispositivos pienso que cada uno tiene un aporte sustancial para la comodidad en el hogar, yo personalmente me encuentro muy satisfecho.”

-¿Qué opina sobre la interfaz?

“Se ve como una aplicación nativa de Android, no parece una página web. Me parece una muy buena idea que los dispositivos se hayan dividido por áreas, para evitar confusiones. Otra cosa que me parece excelente es que cuando se abren las áreas correspondientes a los dispositivos se pueda reflejar en que estado están, entonces también puedo utilizar los controles manuales”

-¿Qué opina sobre el dispositivo que controla la manta?

“Me parece excelente este dispositivo, por mi trabajo yo salgo al rededor de las dos de la mañana y cuando llego a mi casa tengo que conectar la manta manualmente, el proceso hasta que la manta caliente la cama y yo puedo dormir es de al rededor de 45 minutos, este tiempo yo lo podría utilizar para descansar. Gracias a este aparato ahora ya puedo activarlo desde el trabajo antes de salir y cuando llego yo puedo dormir directamente. Cuida mi salud y me permite tener un mejor desempeño al siguiente día de trabajo”

-¿Cual es su opinión sobre las puertas y las ventanas?

“Es genial el beneficio que me brinda, ya que para mi es un poco complicado mover ventanas,

dependiendo de donde me halle a veces pido ayuda. En le caso de las puertas pienso que lo que aporta es la posibilidad de ver y limitar las áreas por ejemplo para que no entren las mascotas o evitar que mis sobrinos pequeños salgan”

-¿Usted cree que el sistema le ahorra tiempo en sus actividades?

“Justamente, el caso de la manta es un ejemplo muy claro de ello, imagínese la gran ventaja de ahorrarme 45 minutos y aprovecharlos descansando en vez de estar esperando, hablando de los otros dispositivos me ahorran movimientos incómodos dentro de mi casa, y además ya no tengo que molestar a nadie para que me ayude”

-¿Tiene algún comentario final?

“Por su puesto, me imagino las cosas que se podrían hacer con esta tecnología, hoy en un principio estos dispositivos parecen algo rústicos, pero con las experiencias y las pruebas que se vayan haciendo, es como una retroalimentación que va ha permitir que estos dispositivos se mejoren, me imagino que en unos años ya existirán maravillas con respecto a este tema. De mi parte una felicitación a usted y a la universidad por apoyar y sacar adelante este tipo de proyectos. Muchas gracias.”

5.1. Costo total del sistema instalado.

Para finalizar con el análisis costo beneficio del sistema, se toma en cuenta el precio total del sistema instalado el cual asciende a los 687,99\$ dólares, frente a todas las ventajas descritas anteriormente, más el confort, la comodidad y el tiempo que el usuario se ahorra con la instalación del sistema en su casa.

Cabe destacar que el sistema domótico mas halla de beneficiar a la persona con paraplejia también beneficia a su familia.

Como se observa, la cifra indicada a la que asciende el sistema, se eleva un poco más que la de dos mensuales básicos en el Ecuador que se podrían amortizar para ayudar a más personas en la misma condición, por tal motivo se considera una buena inversión para una persona con este tipo de discapacidad. Inversión que no retorna ningún capital pero que si ayuda de manera importante a este tipo de personas.

Lo más importante al finalizar la instalación del sistema es que se mejoró notablemente el autoestima del usuario beneficiado.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones.

El sistema instalado mejora notablemente la calidad de vida del usuario, reduciendo el nivel de dependencia, el tiempo y la incomodidad en la realización de actividades cotidianas en su hogar.

Las herramientas de hardware estudiadas conjuntamente con el trabajo en las bandas ISM, permitieron obtener una red básica de bajo trafico para el control y recolección de información, que se puede expandir a otros campos similares a la domótica.

Mediante algunas modificaciones en los dispositivos intervenidos, se logró un funcionamiento transparente para el usuario beneficiado y los demás miembros de la familia, demostrando que no son necesarios dispositivos especializados para la implementación del sistema.

El proyecto se beneficia favorablemente de los módulos NRF24L01 que ha pesar de no estar basados en un estándar y gracias a los esfuerzos de la comunidad de software libre, han llegado ha ser parte fundamental del proyecto haciendo al sistema más accesible económicamente.

Una manera gratuita y factible de publicar contenido a Internet es utilizar VPNs, de esta manera se añade encriptación punto a punto y se restringe el acceso a solo un grupo de usuarios.

Por medio de la activación de los dispositivos a través de Internet, el usuario ahorra hasta cuarenta y cinco minutos al activar la manta eléctrica de forma remota. Permitiendo que pueda utilizar este tiempo para descansar cuando llega a su hogar.

6.2. Recomendaciones.

Para un mejor desarrollo de proyectos con la placa Raspberry pi y Raspbian, se recomienda mantener actualizado el sistema para corregir errores y si es necesario actualizar todo el sistema operativo por una versión mas nueva, de esta manera se obtiene un mejor rendimiento con el mismo hardware.

Cuando se trabaja con arduino se recomienda investigar exhaustivamente sobre librerías que puedan agilizar el desarrollo de la aplicación final, esto ahorra mucho tiempo y permite enfocar los esfuerzos en la aplicación final.

El diseño e implementación del sistema se puede mejorar notablemente con la inclusión de nuevos protocolos orientados a domótica como MQTT, que permitiría la reducción del hardware y la orientación ha Internet desde otro enfoque, abriendo la posibilidad de añadir otras tecnologías como BDD ó algún sistema de LOGS para el seguimiento de eventos y seguridad, permitiendo construir un sistema más robusto. Se recomienda estudiar estos temas para tener una visión mas amplia y actual del llamado Internet de las cosas.

Al trabajar con comunicaciones inalámbricas es necesario contar con el mayor número de herramientas posibles, ya que las bandas ISM son de libre uso en Ecuador, en muchos lugares se presenta saturación en el espectro electromagnético, siendo

en algunos casos indispensable de la ayuda de alguno de estos instrumentos de medida y detección para evitar inconvenientes.

Referencias

Andrews, J. (2004). Co-verification of Hardware and Software for ARM SoC Design.

Apache, O. (2013). Apache. Retrieved from <https://www.apache.org/>

Banzi, M. (2010). Arduino The Documentary (2010) Spanish HD. Retrieved from <https://vimeo.com/18390711>

Caprile, S. R. (2009). Equisbí (2009th ed.).

Espejo, M. (2013). Misión Solidaria Manuela Espejo. Retrieved from <http://www.vicepresidencia.gob.ec/>

Fernandez, E. (2013). Entorno de desarrollo para aplicaciones web dinámicas. Retrieved from <http://www.neoteo.com/entorno-de-desarrollo-para-aplicaciones-web-dinamicas>

Forouzan, B. (2007). Libro Transmisión de datos y redes de comunicaciones (4ta ed.). INTERAMERICANA DE ESPAÑA.

Gallego, J. (2013). JQueryMobile: Introducción al desarrollo web para móviles. Retrieved from <https://www.genbetadev.com/frameworks/jquerymobile-introduccion-al-desarrollo-web-para-moviles>

Gidoni, T., Eran, S., & Emanuel, C. (2014). Digital predistortion using piecewise memory polynomial for 802.11 WiFi applications. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/document/7806082/authors>

GNU. (2013). El sistema operativo GNU. Retrieved from <https://www.gnu.org/>

NORDIC, S. (2014). nRF24L01Pluss_Preliminary_Product_Specificatio_n_v1_0. Retrieved from https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss_Preliminary_Product_Specificatio_n_v1_0.pdf

RAE. (2013). Diccionario de la real academia de la lengua. España. Retrieved from <http://dle.rae.es/?w=diccionario>

Raspbian, O. (2013). Raspbian. Retrieved from <https://www.raspbian.org/>

Upton, E. (2013). Que es Raspberry Pi. Retrieved from <https://www.raspberrypi.org/>

Luis D. Acosta H.



Nació en Quito-Ecuador el 8 de octubre de 1987. Hijo de Fabián Acosta y Bélgica Herrería. Realizó sus estudios primarios en la Escuela Fiscal “General Rafael Arellano”. En el año 2005 obtuvo su título de Bachiller en la especialización Técnico Industrial en el Colegio Técnico Industrial "Ciudad de Ibarra". Actualmente, egresado de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra.