



Sistema domótico para control de temperatura e iluminación de un apartamento para lesionados medulares (parapléjicos)

Andrés Vieira¹, Xiosney Blanco², Demóstenes Quijadas³
alvieirar@gmail.com, xiosblanco@gmail.com, demostenesquijada@gmail.com

¹Coordinador de Productos. Gerencia de Desarrollo de Productos e Innovación de Teleónica S.A, Caracas Venezuela

Historia del Artículo

Recibido: 22 de Octubre de 2018

Aceptado: 19 de Diciembre de 2018

Disponible online: 20 de Diciembre de 2018

Resumen: En el presente se propone un diseño de software y hardware para el control de la iluminación y la temperatura para una vivienda para lesionados medulares (parapléjicos). Este sistema de automatización está constituido principalmente por una placa de desarrollo diseñada por Arduino e Intel conocida como Arduino Intel Galileo, cuya función en este sistema es de actuar como servidor e interactuar con los dispositivos que conforman el sistema domótico (luces, cortinas, aire acondicionado) y una aplicación para dispositivos móviles con sistema operativo Android con la cual el usuario podrá monitorear y controlar el sistema.

Con el desarrollo de este trabajo se busca mejorar la calidad de vida de los lesionados medulares en sus hogares. Para conocer sobre sus necesidades se implementó una encuesta a pacientes del Centro Nacional de Rehabilitación Dr. Alejandro Rhode con la que se logró obtener dicha información para el desarrollo del trabajo.

Como parte de la implementación se ha construido un prototipo de una vivienda a escala que cuenta con cuatro habitaciones donde cada una de ellas tiene un LED para iluminación, cortina con un motor para controlar su movimiento, un sensor de temperatura y un sistema que simula un aire acondicionado central. Este prototipo se comunica a través de una red WiFi con la aplicación Android, la cual proporciona una interfaz sencilla desde la que cualquier usuario podrá gestionar y controlar los elementos mencionados en su vivienda.

Como método para la evaluación del impacto del sistema se aplicó una encuesta a los pacientes del mismo centro de rehabilitación, para que ellos mismos interactuaran con el sistema y ofrecieran su opinión sobre el funcionamiento y expectativas que presentó el proyecto para ellos.

Palabras Clave: Domótica, Arduino, Android, Dispositivos Móviles, Lesión Medular.

Domotic system for temperature control and lighting an apartment for injured medullary (paraplegics)

Abstract: At present, a software and hardware design for the control of lighting and temperature for a house for spinal cord injured (paraplegics) is proposed. This automation system is mainly constituted by a development board designed by Arduino and Intel known as Arduino Intel Galileo, whose function in this system is to act as a server and interact with the devices that make up the home automation system (lights, curtains, air conditioning) and an application for mobile devices with Android operating system with which the user can monitor and

control the system.

With the development of this work we seek to improve the quality of life of spinal cord injured in their homes. In order to know about their needs, a survey was applied to patients of the Dr. Alejandro Rhode National Rehabilitation Center, with which this information was obtained for the development of the work.

As part of the implementation, a prototype of a house has been built to scale that has four rooms where each of them has an LED for lighting, a curtain with a motor to control its movement, a temperature sensor and a system that simulates a central air conditioner. This prototype communicates through a WiFi network with the Android application, which provides a simple interface from which any user can manage and control the elements mentioned in their home.

As a method for assessing the impact of the system, a survey was applied to the patients of the same rehabilitation center, so that they themselves interacted with the system and offered their opinion on the operation and expectations that the project presented to them.

Keywords: Home automation, Arduino, Android, Mobile Devices, Spinal Cord Injury.

I. INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico experimentado en los últimos años ha causado en las personas una revolución en sus estilos de vida y su forma de ver el ambiente que los rodea. Haciendo énfasis en el avance tecnológico para las viviendas aparece el término Domótica, el cual se puede definir como el conjunto de sistemas que permiten el control de una vivienda. Con estos sistemas se busca dar a los usuarios una mejora en su calidad de vida, para ello la domótica abarca varios ámbitos como los son: el confort, la seguridad, el ahorro energético, el entretenimiento, entre otros.

Las telecomunicaciones se han posicionado de forma global como el nuevo estándar de comunicación y muchas industrias previamente independientes a la tecnología se han vuelto cada vez más involucradas y vinculadas a esta ciencia.

Las formas de comunicación y los dispositivos que conforman un sistema domótico son sumamente variados, esto se debe a la gran cantidad de compañías y desarrolladores de software y hardware libre que existen en la actualidad, donde con solo acceder a internet y realizar una simple búsqueda puedes encontrar un sinfín de posibilidades que se adaptan a tus necesidades.

Los dispositivos móviles se han convertido en un elemento más dentro de los sistemas domóticos, ya que mediante distintas aplicaciones desarrolladas para dichos dispositivos en función de su sistema operativo, pueden convertir a estos en los centros de control del sistema sin necesidad de utilizar algún tipo de dispositivo adicional.

Las personas que sufren de una lesión medular tienen una calidad de vida reducida en comparación con el resto de personas que no sufren de esta afección. Uno de los principales motivos es su dependencia en la movilidad, la cual puede variar en función del nivel de su lesión, en algunos casos estas personas dependen en

su totalidad de un tercero para realizar tareas que se consideran cotidianas dentro y fuera de sus viviendas.

Una forma de ayudar a los lesionados medulares a mejorar su calidad de vida en sus hogares es implementando un sistema domótico que a pesar de sus limitaciones físicas sean capaces de controlarlo. Por tal motivo en este proyecto de investigación se realiza el diseño de un sistema domótico para el control de la iluminación y temperatura en un apartamento para lesionados medulares. Este sistema domótico será desarrollado bajo software y hardware de código abierto como lo son las plataformas Android y Arduino.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de la tecnología ha sido una pieza fundamental en la evolución del ser humano como sociedad. La utilización de herramientas, técnicas y sistemas incorporados con el conocimiento, han permitido, en conjunto, servir a propósitos más grandes, como lo son la resolución de problemas y facilitar la vida a las personas, favoreciendo así a la humanidad a adaptarse mejor a su entorno. Es por esto que el surgimiento de una nueva aplicación tecnológica llamada "Domótica" ha causado tanto impacto en la sociedad que conocemos, ya que es difícil imaginar actualmente un mundo sin comunicaciones, conectividad, automatizaciones entre otros aspectos desarrollados en el día a día, que actualmente se dan por sentado en lugares de trabajo, escuelas, universidades, centros clínicos y hogares.

El avance de la domótica facilita, mejora y aumenta el bienestar, especialmente de las personas con alguna discapacidad motora. En el país se ha mermeado considerablemente en avance de la domótica, por la poca inversión que se realiza para el desarrollo en el área tecnológica, lo cual afecta la mejora de la calidad de vida y desenvolvimiento de los venezolanos en un entorno mucho más adecuado para su forma de vida.

La lesión de médula espinal es una de estas discapacidades, y se define como una afectación en la

médula espinal, la cual es un cordón nervioso que, protegida por la columna vertebral, se extiende desde la base del cerebro hasta la región lumbar, su interrupción con una lesión medular produce parálisis de la movilidad voluntaria y ausencia de sensibilidad por debajo de la zona afectada[1], dependiendo del nivel de la lesión se genera lo que se conoce como paraplejía, la cual es una enfermedad por la cual la parte inferior del cuerpo se queda paralizada y pierde su funcionalidad[2]. Cientos de venezolanos sufren esta afección, la cual deben sobrellevar a lo largo de su vida. Gracias a los avances en la medicina, actualmente, hay una gran cantidad de tratamientos que los ayudan a disminuir los efectos de la lesión, sin embargo, son escasos los pacientes que logran recuperar la totalidad de movimiento.

A pesar de que el mayor número de lesiones de médula viene dado por accidentes de tránsito, no se subestiman todos los casos de personas que sufren de esta lesión por otros motivos tales como: una enfermedad congénita como la espina bífida, una polineuropatía, accidentes laborales, maltratos físicos, o deportes.[1]

Las personas parapléjicas ven disminuida su calidad de vida en muchos aspectos. Si la lesión medular es completa no hay funcionalidad por debajo del nivel de la lesión, por otra parte si la lesión es incompleta el lesionado puede tener algo de sensibilidad por debajo de la lesión. En ambos casos pierden la movilidad de sus extremidades inferiores pero dos personas con el mismo tipo de lesión no tienen por qué tener el mismo nivel de funcionalidad o sensibilidad por debajo de la misma, además que se pueden producir otras consecuencias como mal funcionamiento de la vejiga y los intestinos, problemas de impotencia en los hombres, dolor crónico e incontinencia, sin contar el daño psicológico que sufren estas personas a causa de esta incapacidad. [3]

Se conoce que aproximadamente el 72% de los lesionados medulares son individuos menores de 40 años[4], estas personas pueden ser afines a la manipulación de elementos tecnológicos que los ayuden a ser más independientes, es por eso que con este trabajo especial de grado se busca ayudar a que esas personas tengan un mayor nivel de confort dentro de sus hogares, ayudándolos con la realización de tareas cotidianas como lo son el encendido/apagado de las luces, controlar el aire acondicionado y mover las cortinas, ya que para ellos la movilización en sus viviendas puede ser complicada debido al espacio que necesitan para poder maniobrar, es por ello que se busca diseñar un sistema que les permita la manipulación de estos elementos nombrados previamente de manera completamente independiente.

La inclusión de este sistema domótico en los hogares de las personas con lesión medular logrará mejorar su calidad de vida e independencia y va a contribuir con el avance tecnológico que necesita nuestro país, a pesar que será un sistema enfocado a personas con esta discapacidad, podrá ser empleado por personas con otros tipos de trastornos tales como lesionados medulares con cuadriplejía que gracias a fisioterapias

llegan a recuperar movilidad parcial de sus extremidades superiores y pueden tener la capacidad de manejar un celular inteligente pudiendo así utilizar el sistema domótico con facilidad.

III. OBJETIVOS

A. *Objetivo General*

Desarrollar un sistema domótico para el control de la temperatura e iluminación de un apartamento para lesionados medulares (parapléjicos).

B. *Objetivos específicos*

- Caracterizar el comportamiento de los lesionados medulares (parapléjicos) en sus hogares.
- Seleccionar los controladores, método de comunicación y el método de interacción entre las variables para controlar los dispositivos del sistema domótico.
- Diseñar una interfaz gráfica para dispositivos móviles con sistema operativo Android que se ajuste a las necesidades de interacción de los usuarios con el sistema.
- Desarrollar el software para la placa de desarrollo Arduino necesario para que el sistema actúe.
- Evaluar el desempeño de la interfaz integrada con los demás componentes del sistema domótico, por medio de la construcción de un prototipo.
- Efectuar las pruebas de verificación de funcionamiento respectivas y evaluación final por parte de los usuarios.

IV. MARCO REFERENCIAL

A continuación se presentan los fundamentos teóricos en los cuales se apoya la realización de este trabajo de investigación.

A. *Definiciones técnicas*

1) *Viviendas inteligentes*

En la actualidad los lugares donde los seres humanos se desarrollan son del tipo inteligente, lo que quiere decir que están dotados de un gran número de funciones para su bienestar. Esta palabra, inteligente, ha llegado a las viviendas u hogares transformando su sencilla definición según la Real Academia Española (RAE): "Lugar cerrado y cubierto construido para ser habitado por personas" [4], en escenarios vivos donde el hombre es el principal actor. Estas nuevas viviendas dotadas de un sistema nervioso capaz de controlar desde los electrodomésticos más comunes como los televisores, neveras, hornos, hasta la arquitectura misma del lugar.

Una vivienda domótica o inteligente proporciona un sinfín de beneficios y ventajas comparada con una vivienda tradicional, tales como la seguridad, el ahorro energético, la comodidad y el confort. [5]

2) *Domótica*

En el transcurso de los años se han diseñado un gran número de soluciones para lograr una integración entre los sistemas electrónicos y los equipos domésticos, esta integración en el hogar se ha llamado domótica. [7]

La Asociación Española de Domótica e Inmótica (CEDOM), define a la domótica como el conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de la vivienda, que permite una gestión eficiente del uso de la energía, además de aportar seguridad, confort, y comunicación entre el usuario y el sistema. [8]

La definición por parte de la RAE de domótica es: Conjunto de sistemas que automatizan las diferentes instalaciones de una vivienda. [9]

Con este conjunto de definiciones se consolida el concepto de que la domótica comprende el uso de la tecnología en los hogares para automatizar las tareas y mejorar la calidad de vida de las personas.

3) *Características de la domótica*

Las características descritas a continuación demuestran que es un sistema pensado en satisfacer las necesidades de los usuarios de forma eficiente, que sea capaz de adaptarse a cambios en el tiempo y sea de sencillo manejo, sus características son: [6]

- Simple y fácil de utilizar: Debe poseer una interfaz fácil y sencilla de utilizar lo que garantizará un mayor confort y mejor aceptación por parte del usuario final.
- Flexible: Debe ser escalable, es decir permitir adaptaciones a futuro como modificaciones o ampliaciones en el sistema.
- Modular: El sistema debe estar compuesto por diferentes módulos, donde cada uno puede ser independiente en el caso que uno de ellos falle y así evitar que inutilicen completamente el sistema y facilitar además la escalabilidad del sistema.
- Integral: Debe ser capaz de establecer la comunicación entre diferentes tipos de sistema.

4) *Aplicaciones de la domótica*

Un sistema domótico debe ser capaz de ser aplicado en un hogar para cubrir necesidades en las siguientes áreas posibles:

- Ahorro energético: El sistema gestiona de forma inteligente la iluminación, climatización, agua sanitaria, el riego, electrodomésticos, entre otros. [8] Esto lo puede lograr con la implementación de sensores de iluminación, temperatura o movimiento para que las luces no estén encendidas si no hay presencia de personas en la habitación o si la iluminación natural es suficiente; regula el aire acondicionado y las persianas para mantener una temperatura

constante y agradable al usuario, entre otros. [10]

- Accesibilidad: Facilita el manejo de los elementos del hogar a las personas con discapacidades de la forma que más se ajuste a sus necesidades, además de brindar otros servicios como la teleasistencia para aquellos usuarios que lo ameriten. [8]
- Seguridad: El factor seguridad es uno de los más relevantes al momento de instalar un sistema domótico, ya que cualquier propietario o residente de una vivienda busca encarecidamente resguardar y proteger su inmueble y sus habitantes. Mediante vigilancia automática del sistema empleando controles de intrusión, cierre automático de todas las aberturas, simulación dinámica de presencia, fachadas dinámicas, cámaras de vigilancia, alarmas personales, y a través de alarmas técnicas que permiten detectar incendios, fugas de gas, inundaciones de agua, fallos del suministro eléctrico, etc.; el sistema es capaz de enviar algún tipo de mensaje a un dispositivo externo de la casa para notificar la existencia de uno de estos problemas, elementos que en conjunto garantizan así mejorar la seguridad de una vivienda. [8]
- Confort: El conjunto de aplicaciones de la domótica aplicadas a una vivienda en conjunto con la capacidad de abrir, cerrar, apagar, encender y regular elementos, la climatización, ventilación iluminación, puertas, ventanas, riego etc; generan en el usuario un sentimiento de confortabilidad, ya que le facilita y otorga comodidades al mismo para controlar muchas condiciones de una forma sencilla y rápida. [8]
- Comunicaciones: El sistema domótico es capaz de garantizar una comunicación directa con su usuario por medio de control y supervisión remoto a través de un teléfono, PC, tableta u otros dispositivos, siendo capaz de emplear distintos protocolos o medios de comunicación para lograr establecer una conexión y el envío y recibo final de los datos, ya sea por red celular o fija, internet, bluetooth, la línea de corriente eléctrica, etc. [8]

5) *Elementos básicos de un sistema domótico*

En la instalación de un sistema domótico se ven involucrados un conjunto de elementos eléctricos y electrónicos que permiten así la automatización de la vivienda, estos elementos son:

- Sistema (o sistemas) de control: Es aquel dispositivo cuya función es controlar todos los elementos destinados a la automatización del edificio y es capaz de comunicar al usuario de los cambios o sucesos que se generan en el

sistema por medio de una interfaz. También se conoce como nodo. [11]

- Pasarela residencial o infraestructura: Es el que se encarga de la interconexión de los distintos dispositivos encargados de la automatización entre sí, el sistema de control y la interfaz de usuario, ya sea de forma alámbrica o inalámbrica, de forma interna o externa para control local o remoto de los dispositivos. [11]
- Sensores: Se conocen como sensores a aquellos dispositivos encargados de recoger la información de los parámetros que controla el sistema domótico, tales como: iluminación, temperatura, humedad, movimiento, presencia, gases, etc.; y enviar la información por medio de la pasarela residencial al sistema para que procese los datos, también son conocidos como transductores. [11]
- Actuadores: Son aquellos elementos o dispositivos que utiliza el sistema de control para modificar el estado de los equipos e instalaciones, como por ejemplo el encendido o apagado de las luces, regulación de la temperatura del aire acondicionado, corte del suministro de gas o agua, entre otros. Existen distintos tipos de actuadores como los contactores de carril DIN, electroválvulas, sirenas, etc.; y se encuentran distribuidos al igual que los sensores a lo largo de toda la estructura. [11]

6) Tipos de redes en un sistema domótico

En un mismo sistema domótico puede haber distintos tipos de redes independientes o interconectadas entre sí, donde cada una de ellas cumple con funciones específicas según sus características, estas redes se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Red de control: Es la red interna que permite la comunicación a los elementos del sistema descritos anteriormente y electrodomésticos inteligentes tales como frigoríficos, lavadoras, sistemas de aire acondicionado, entre otros. Para ello todos estos deben emplear un mismo protocolo de comunicación. Dependiendo de las dimensiones del proyecto se puede recomendar un medio cableado o inalámbrico, dependiendo de las distancias, presupuesto, nivel de seguridad y robustez de la red en cuestión. Actualmente no existe ninguna normativa que regule la disposición del cableado en el interior de los muros de la vivienda y los puntos de acceso al mismo, aunque se espera que sea incorporada en la normativa sobre Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones. [11]
- Red de acceso a internet: Es aquella red cuya función es permitir el control remoto del sistema,

siendo aconsejable que esta sea una red de banda ancha que permita el disfrute de todas las aplicaciones domóticas que ofrece el sistema en cuestión. [11]

- Red de datos: Son el tipo de redes presentes en oficinas para comunicar los ordenadores y sus periféricos unos con otros, este tipo de red también está siendo introducida en los hogares y es completamente independiente a la red de control y emplea protocolos de mayor capacidad de transmisión de datos. Solo las edificaciones más modernas disponen de un sistema de cableado estructurado de categoría 5 o 6, con tomas Ethernet en cada habitación. [11]
- Red multimedia: Esta red posee una alta capacidad que utilizan los aparatos electrónicos de consumo inteligentes como videoconsolas, cámaras, televisores digitales, i-radios, etc.; para compartir grandes volúmenes de información. [11]

7) Topologías de red de un sistema domótico

Una vez ya conocidos los tipos de redes que se pueden encontrar presentes en un sistema domótico es momento de caracterizarlas según su topología, es decir, la organización física y lógica de los elementos de la red, las topologías físicas más comunes en un sistema domótico son:

- Topología en estrella: En este tipo de topología los dispositivos de entradas y de salida (sensores y actuadores respectivamente) van conectados hasta el sistema de control central donde se efectúa el tratamiento de los datos de todo el sistema. [11]
- Topología en anillo: Los nodos se conectan entre sí en un bucle cerrado, generando que los datos circulen de un nodo a otro continuamente y en el mismo sentido. [11]
- Topología en bus: Cada elemento que compone al sistema desde dispositivos de entrada, salida y controladores están conectados sobre una única línea que describe el conjunto o una parte de la red. [11]
- Mesh Network o red en malla: En este tipo de topología cada nodo del sistema posee más de un camino para comunicarse con otro nodo, donde cada uno es capaz de recibir, enviar y reenviar mensajes a nodos vecinos. [11]
- Topología en árbol: Esta topología es el resultado de mezclar las topologías anteriores cargando con sus ventajas y desventajas que ellas acarrearán, además esta topología permite establecer un sistema de jerarquía entre los elementos del sistema. [6]

Por otra parte, desde el punto de vista lógico la topología de la red se puede dividir en dos:

- Comunicación “Maestro-esclavo”: En este tipo de comunicación existe un dispositivo maestro el cual se encarga de interrogar al resto de elementos del sistema (esclavos) para conocer su estado. Esta función de equipo maestro lo puede realizar un computador o controlador principal y los esclavos los actuadores y sensores que componen el sistema. Es el sistema más simple de implementar, pero su escalabilidad es poca y además, si un equipo maestro deja de funcionar el funcionamiento de todo el sistema de automatización puede verse comprometido. [7]
- Comunicación “peer to peer”: En el sistema peer to peer cualquier elemento es capaz de interrogar a otro y comunicarse con el directamente. A pesar que no exista un punto de control centralizado donde se canalice el tráfico, suele ser normal que exista una prioridad en la comunicación desde sensores hacia actuadores. [7]

8) *Tipos de arquitecturas de red de un sistema domótico*

La distribución y conexión de los elementos que componen el sistema se conoce como arquitectura de la red y se clasifica en función de la ubicación de la “inteligencia” del sistema: [11]

- Arquitectura centralizada: Está compuesto por un elemento controlador central se encarga de recibir, procesar y distribuir los datos desde las entradas (sensores e interfaz) a las salidas (actuadores e interfaz de usuario).

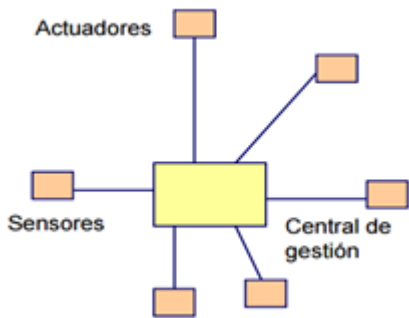


Figura 1: Arquitectura Centralizada [11]

- Arquitectura descentralizada: En una arquitectura descentralizada los elementos controladores están interconectados entre sí e interactúan de forma independiente unos con otros. Requieren el uso de un protocolo de comunicaciones para que cada elemento produzca una acción coordinada.

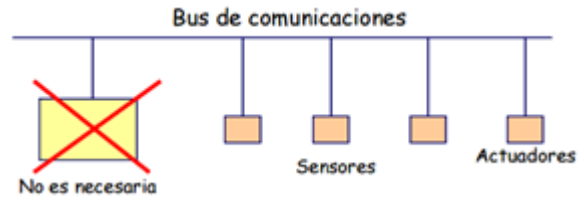


Figura 2: Arquitectura descentralizada [11]

- Arquitectura distribuida: Esta arquitectura combina tanto la arquitectura centralizada como la descentralizada, la inteligencia se encuentra localizada en cada nodo de control, donde cada uno de ellos tiene acceso físico directo a un número limitado de elementos en la red. Al igual que en la arquitectura descentralizada, este requiere un protocolo de comunicaciones para que cada módulo (nodo) genere acciones coordinadas.

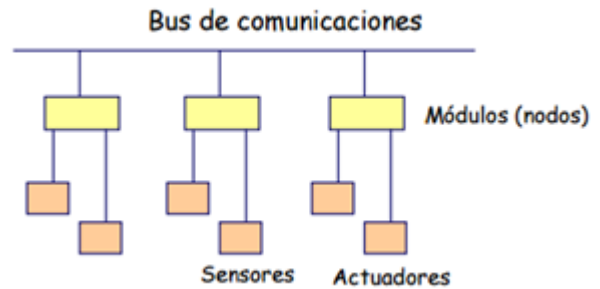


Figura 3: Arquitectura distribuida [11]

9) *Medios de transmisión*

Para que se pueda establecer cualquier tipo de intercambio de información y comunicación entre los elementos que componen el sistema domótico, debe existir algún medio, y los hay de distintas naturalezas:

- Sistemas de corrientes portadoras: Son sistemas que se encargan de transmitir la información a través de la instalación de cableado eléctrico, telefónico u otro ya instalado en la vivienda por medio de la modulación de las ondas. Posee una baja velocidad y fiabilidad en la transmisión de los datos, pero no requiere la instalación de nuevo cableado para el sistema. [6]
- Sistema de soporte metálico: este sistema emplea cables metálicos de cobre como vía de transmisión de las señales eléctricas del sistema, los tipos más importantes son:
 - Par metálico: Son todos aquellos cables conformados por uno o más hilos de cobre, con un aislamiento y trenzado específico. Puede transmitir voz, datos y voltaje para la alimentación. [6]
 - Coaxial: Está conformado por dos conductores concéntricos, uno central que

se encarga de transmitir la información y uno exterior de aspecto tubular. Se utiliza para transmisión a alta velocidad, puede transportar video y datos a 100Mbps/seg. [6]

- Fibra óptica: Es un cable construido con material aislante y conductor de luz, donde la información es transmitida en forma de pulsos luminosos. Esta tecnología permite transmitir información a una velocidad superior que los sistemas anteriores y permite alcanzar distancias más largas. [6]
- Sistema de conexión sin hilos: Es el sistema que se encarga de la transmisión de datos de forma inalámbrica, donde los principales tipos son:
 - Radiofrecuencia: Se emplea para la transmisión de la información modulada en forma de ondas electromagnéticas, en la actualidad existen varias tecnologías que explotan este sistema tales como WIFI, Bluetooth, telefonía celular, etc. [6]
 - Infrarrojos: Es un sistema en el cual un emisor envía la información en forma de luz en la banda de infrarrojos siendo una señal modulada previamente donde se encuentra toda la información, y un receptor que recibe la señal transmitida y la demodula. [6]

10) Protocolos de comunicaciones

Los protocolos de comunicaciones son los idiomas establecidos para los mensajes que emplean los distintos elementos del sistema para comunicarse e intercambiar información unos con otros de manera coherente. [6] Estos protocolos se pueden clasificar según su estandarización en: [12]

- Protocolos estándar: Los protocolos estándar están abiertos a terceras personas, pueden ser utilizados por diferentes empresas que fabrican productos que son compatibles entre sí.
- Protocolos propietarios: Son todos aquellos protocolos privados, es decir, que son creados por empresas para comunicar dispositivos de dicha empresa.
- Otros sistemas: Estos sistemas surgen de la integración de estándares basados en la informática, las telecomunicaciones y/o el entretenimiento. Siguen siendo aplicables para la automatización de edificios o viviendas. Como pueden ser los sistemas a continuación:
 - Bluetooth: Es un radioenlace de corto alcance, que se extiende hasta una

distancia de 10m. La red Bluetooth constituyen un sistema de bajo costo que permite interconectar equipos tales como: ordenadores, impresoras, ratones, auriculares, PDA, teléfonos móviles y otros dispositivos electrónicos adaptados a esta tecnología. Gracias a su característica de radioenlace permite movilidad y alta velocidad de transferencia dentro de su área de operación. [12]

- IEEE 802.11: 802.11 es un estándar que forma parte de la familia IEEE 802.x en donde se definen las normas y las tecnologías de redes de área local (LAN). El estándar IEEE 802.11 define un conjunto de características y especificaciones para redes de área local inalámbrica (WLAN), mejor conocido como WIFI (Wireless Fidelity), cuya frecuencia de operación es de 2,4Ghz específicamente relacionadas con la capa de Acceso al Medio del Modelo TCP/IP. Posee un alcance de 25m a 500m, esta variación de alcance depende de las características de la antena, potencia de transmisión y el entorno. En las redes WLAN se utiliza la interfaz aire como medio de transmisión para la transmisión y recepción de la información desde un origen a un destino. [12]

11) Arduino

Arduino fue inventado en el año 2005 por el entonces estudiante del instituto IVRAE Massimo Banzi, quien, en un principio, pensaba en hacer Arduino por una necesidad de aprendizaje para los estudiantes de computación y electrónica del mismo instituto, ya que en ese entonces, adquirir una placa de microcontroladores eran bastante costosos y no ofrecían el soporte adecuado; no obstante, nunca se imaginó que esta herramienta se llegaría a convertir, años más adelante, en el líder mundial de tecnologías DIY (Do It Yourself). Inicialmente fue un proyecto creado no solo para economizar la creación de proyectos escolares dentro del instituto, sino que además, Banzi tenía la intención de ayudar a su escuela a evitar la quiebra con las ganancias que produciría vendiendo sus placas dentro del campus a un precio accesible (1 euro por unidad). Su nombre proviene del nombre del bar di Re Arduino donde Massimo Banzi pasaba algunas horas, el cual a su vez viene del nombre de un antiguo rey europeo por el año 1002.

Hoy en día con Arduino se pueden fabricar infinidad de prototipos y cada vez su uso se viene expandiendo más. Desde cubos de leds, sistemas de automatización en casa (domótica), integración con el Internet, displays Twitter, kit analizadores de ADN. [13]

La placa Arduino es una plataforma electrónica de código abierto, es decir, el usuario es libre de adaptarlas a sus necesidades con un lenguaje de programación fácil de usar para principiantes, cuentan con software y hardware fácil de usar, recibe entradas desde sensores y puede realizar modificaciones en el entorno. El microcontrolador de la placa se programa usando el Arduino Programming Language (basado en Wiring) y el Arduino Development Environment (basado en Processing) primordialmente en el lenguaje de programación C/C++. El software de desarrollo para Arduino es conocido como Entorno de Desarrollo Integrado (IDE).

El hardware del Arduino está basado en microcontroladores ATMEGA8 y ATMEGA18 de Atmel, pero se puede hacer su propia versión del módulo, extendiéndolo y mejorándolo. [13]

12) Arduino Intel Galileo

La placa Intel Galileo es la primera de una gama de placas de desarrollo compatibles con Arduino basadas en arquitecturas Intel. Esta placa de desarrollo ejecuta un sistema operativo Linux libre que contiene las librerías de software de Arduino, lo que le permite ofrecer una mayor escalabilidad y reutilizar el software ya existente, llamados "bocetos". Es una herramienta muy interesante de cara a domótica y para proyectos que necesiten un PC pero de bajo consumo y coste.

Galileo es una placa basada en el microcontrolador de Intel® Quark SoC X1000 Application Processor, un sistema Intel Pentium de 32-bits en un chip. A pesar que es la primera placa basada en arquitectura Intel® está diseñada para soportar y ser compatible con todos los accesorios (shields) diseñados para el Arduino UNO R3 y el software de desarrollo (IDE) de Arduino. Posee 14 pines digitales, 6 pines analógicos, cabecera ICSP, y están todos en las mismas posiciones del Arduino UNO, mini-PCI Express slot, puerto Ethernet de 100Mb, Micro-SD slot, puerto serial RS-232, puerto USB Host, puerto USB Cliente y 8MByte NOR flash estándar en la placa. [14]

- Características técnicas

En la tabla a continuación se muestra las características técnicas que posee esta placa de desarrollo:

Tabla I: Características técnicas Arduino Intel Galileo [14]

Microcontrolador	Intel® Quark SoC X1000 Application Processor
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	3,3-5V
Voltaje de entrada (límite)	5V
Pines Digitales I/O	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada Analógicos	6
Corriente DC por I/O Pin	80 mA
Corriente DC por 3.3V Pin	800 mA
Caché	16 KB
SRAM	512 KB
Memoria RAM	256 MB DDR3
Puertos	Mini-PCI Express
Puertos	Ethernet 100Mb
	Serial RS-232
	USB 2.0 Host
	USB 2.0 Cliente
	UART asociado a los pines 0 y 1 digitales
Longitud	10 cm
Ancho	7 cm

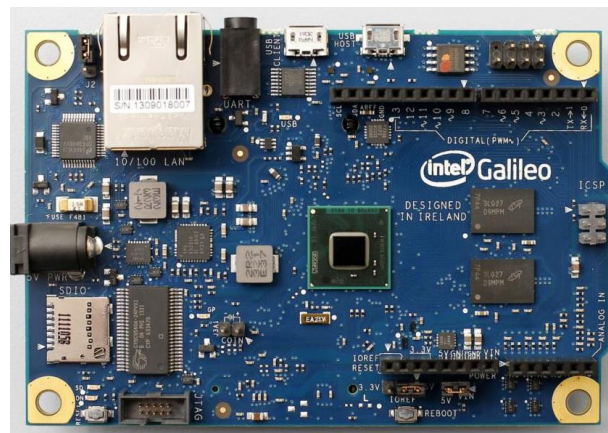


Figura 4: Arduino Intel Galileo [14]

13) Interfaz de Usuario

La interfaz gráfica del usuario puede ser una GUI, una aplicación web o móvil, el objetivo debe ser presentar la información al usuario final de forma eficiente. Existen muchos lenguajes de programación como HTML5,

Javascript, Java, C#, Python, entre otros que le ayudarán en esta tarea.

En la actualidad el campo de desarrollo de aplicaciones web y móviles ha ganado mucha popularidad porque a través de las aplicaciones, los desarrolladores resuelven problemas de la vida cotidiana, simplifican procesos y mejoran la calidad de vida de los usuarios finales.

14) Android

Es un sistema operativo diseñado para múltiples dispositivos, teléfonos móviles, ordenadores, tabletas, GPS, mini ordenadores, cámaras de fotos, etc. Está basado en Linux, que es sistema operativo libre, gratuito y multiplataforma.

Este sistema operativo permite programar aplicaciones empleando una variación de Java llamada Dalvik, y proporciona todas las interfaces necesarias para desarrollar aplicaciones. Las herramientas de programación para aplicaciones en este sistema operativo son gratuitas lo que ha provocado un gran crecimiento de su popularidad está cobrando especial importancia, ya que por parte de los programadores, pueden desarrollar aplicaciones sin necesidad de licencias y por parte de los usuarios demandan cada vez aplicaciones más sencillas e intuitivas en su uso. [15]

15) Android Studio

Android Studio proporciona las herramientas más rápidas para crear Apps en todas las clases de dispositivos Android. La edición de códigos de primer nivel, la depuración, las herramientas de rendimiento, un sistema de compilación flexible y un sistema instantáneo de compilación e implementación te permiten concentrarte en la creación de aplicaciones únicas y de alta calidad. [16]

B. Definiciones patológicas

1) Lesión medular

La Lesión Medular se conoce como un proceso patológico de etiología variable que resulta de la alteración temporal o permanente de la función motora, sensitiva y/o autonómica, es decir, es aquel daño que llega a sufrir la médula espinal que conlleva déficit neurológico con efectos a largo plazo que persisten a lo largo de la vida. Las consecuencias de esta lesión habitualmente se presentan por debajo del nivel donde se ocasionó la perturbación. [18]

2) Causas de las Lesiones Medulares

Las causas de una lesión medular pueden ser muy amplias pero pueden clasificarse principalmente en dos tipos, congénita o adquirida. El primer caso está considerado más como una anomalía del desarrollo de la médula espinal que una lesión, este caso es conocido como "disrafismos espinales" y suele acompañarse de otras alteraciones a nivel del sistema nervioso central tales como, hidrocefalia con hipertensión intracraneal, que pueden generar déficits cognitivos, epilepsia y alteraciones visuales entre otros.

Ahora bien, la lesión medular adquirida puede presentarse debido a tres mecanismos, los más comunes son: destrucción, compresión e isquemia. La mayor parte de los casos la LM ocurre debido a una combinación de 2 o 3 mecanismos con el consecuente edema medular que, a su vez, condicionará un mayor daño en el tejido. La relación por género de afectados por lesión medular adquirida es de 3:1 hombres por mujeres, donde la principal causa traumática son los accidentes de tráfico.

Las lesiones medulares se pueden de clasificar de varias formas: Según su causa se puede clasificar en traumática y no traumática; de acuerdo con el mecanismo de lesión, en lesión por hiperflexión, por flexión con rotación, por hiperextensión y por compresión; según su nivel de lesión en cervical, dorsal y lumbosacra; y, de acuerdo con la extensión, en completa e incompleta.

3) Clasificación de las capacidades funcionales de los lesionados medulares

A continuación, se presentará una clasificación de las capacidades funcionales de los lesionados medulares según el nivel de la lesión. A pesar que se conoce abiertamente que no existen dos lesiones medulares iguales, de forma general se pueden establecer las capacidades funcionales de las personas de acuerdo a su nivel de lesión. Estas expectativas funcionales se realizan tomando en cuenta las lesiones completas, por lo cual, solo son orientativas.

Algunos autores dividen las tetraplejas en dos grupos, las altas de C1-C5 y las bajas de C6-C8, la mayoría de personas con tetraplejía dependen de una tercera persona para poder realizar sus actividades de la vida cotidiana.

- Tetraplejía C1-C5: Siendo los niveles C1-C3 los más críticos tienen afectación de la musculatura de las cuatro extremidades y del tronco y requieren de asistencia durante 24 horas al día. Los niveles C4-C5 poseen cierto movimiento de los músculos de cabeza y de cuello, teniendo la posibilidad de elevar los hombros. Este grupo (C1-C5) son dependientes para todas las actividades de la vida cotidiana, pueden ingerir líquidos con asistencia y utilizando pajitas pero son capaces de desplazarse en silla de ruedas eléctrica con adaptaciones especiales.
- Tetraplejía C6-C8: En el nivel más bajo (C6) además de las capacidades de los niveles anteriores poseen la función de los extensores de muñeca, lo que les permite recoger y soltar ciertos objetos, y a pesar que pueden desplazarse por cortas distancias con un silla de rueda autopropulsable el nivel de gasto de energía que esto implica es muy elevado por lo que no es una alternativa funcional y dependen de la silla de rueda eléctrica. Para los niveles C7-C8, las personas presentan mayor movilidad y

mayores habilidades de autocuidado, la función de los flexores en los dedos es superior lo que mejora su habilidad de presión.

- Paraplejía T1-L1: Para estos niveles de lesión se dice que las personas ya tienen independencia en las actividades de la vida diaria, donde son capaces de realizar bipedestación independiente y marcha terapéutica asistida, aunque todas estas actividades generen un gasto energético excesivo y el desgaste articular de los miembros superiores es importante. Estos pacientes siguen siendo dependientes de silla de ruedas autopropulsables para su desplazamiento.
- Paraplejía L2-S5: En este nivel las personas tienen independencia funcional en todas las actividades de autocuidado, movilidad e incluso para las actividades domésticas. Según el nivel de la lesión, pueden lograr marcha funcional con o sin productos de apoyo. Los pacientes con nivel L2 podrán realizar marcha con dispositivos aunque precisarán silla de ruedas autopropulsable para todos sus desplazamientos. Pacientes con niveles de L3 a S1 podrán realizar marcha funcional, aunque dependiendo de sus características personales podrán depender de silla de ruedas autopropulsable para desplazamientos.

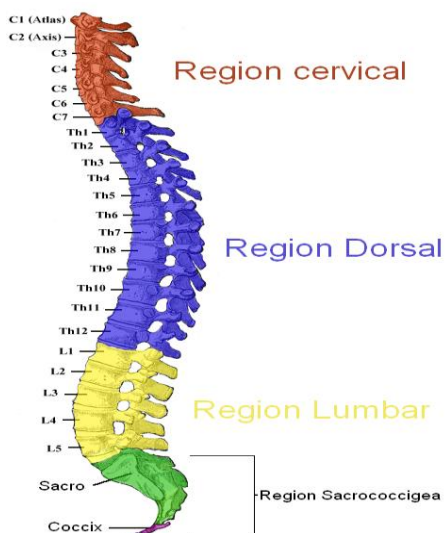


Figura 5: Diferentes regiones y curvaturas de la columna vertebral [18]

4) Consecuencias

Los efectos de una lesión medular en el cuerpo dependerán del grado de afectación de la sensibilidad motora y de la capacidad del sistema nervioso autónomo. Las funciones que afecta este tipo de lesión son: las funciones motoras, sensitivas y autónomas. [18]

- Funciones motoras: Son la consecuencia más obvia de una lesión medular y es conocida como

plejía o parálisis de la musculatura voluntaria, dificultando así el desplazamiento en el espacio y afectando su capacidad de manipular el entorno.

- Funciones Sensitivas: La pérdida de las funciones sensitivas es otra de las consecuencias más notorias de una lesión medular, esta pérdida de sensibilidad se da generalmente por debajo del nivel de la lesión, y puede presentar: Alteración o pérdida de la sensación al tacto, alteración o pérdida de la sensibilidad al dolor, alteración o pérdida de la sensibilidad termoalgésica (incapacidad para distinguir cambios de temperatura), alteración o pérdida de la propiocepción (capacidad para identificar en qué posición se encuentra alguna parte del cuerpo).
- Funciones autónomas: estas son otras de las consecuencias de una lesión medular, y afectan directamente al sistema autónomo del cuerpo humano. Las funciones afectadas serían: Alteración de la Función Vesical e Intestinal, alteración de la Función Sexual, alteraciones de la Termorregulación, alteración de la Función Respiratoria y del Reflejo de la Tos, alteraciones Cardiovasculares.

LESIÓN MEDULAR Nivel de afectación

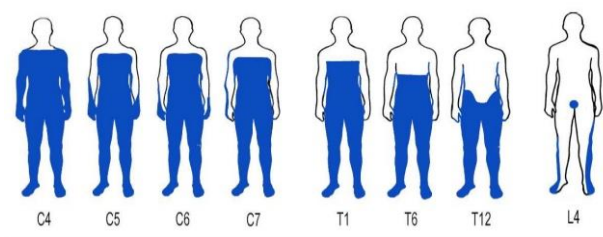


Figura 6: Lesión medular, nivel de afectación [17]

5) Valoración de la discapacidad física: El Índice de Barthel

El Índice de Barthel es uno de los primeros intentos de cuantificar la discapacidad en el campo de la rehabilitación física, aportando un fundamento científico a los resultados que obtenían los profesionales de rehabilitación en los programas de mejora de los niveles de dependencia de los pacientes. Es una medida simple en cuanto a su obtención e interpretación, fundamentada sobre bases empíricas. Se trata de asignar a cada paciente una puntuación en función de su grado de dependencia para realizar una serie de actividades básicas. [19]

La interpretación sugerida sobre la puntuación del Índice de Barthel es:

- 0-20: Dependencia total
- 21-60: Dependencia severa
- 61-90: Dependencia moderada
- 91-99: Dependencia escasa
- 100: Independencia

La elección de las actividades que componen el Índice de Barthel fue empírica, a partir de las opiniones de fisioterapeutas, enfermeras y médicos. El Índice de Barthel, por tanto, no está basado en un modelo conceptual concreto, es decir, no existe un modelo teórico previo que justifique la elección de determinadas actividades de la vida diaria o la exclusión de otras.

C. Definiciones estadísticas

1) Encuesta

Una encuesta es un conjunto de preguntas normalizadas dirigidas a una muestra representativa de la población o instituciones, con el fin de conocer estados de opinión o hechos específicos. La intención de la encuesta no es describir los individuos particulares quienes, por azar, son parte de la muestra sino obtener un perfil compuesto de la población. [20]

2) Muestreo cualitativo

Es propositivo y que las primeras acciones para elegir la muestra ocurren desde el planteamiento mismo y desde la selección del contexto en el cual se espera encontrar los casos que de interés para el estudio.

V. METODOLOGÍA

En este capítulo se definen las estrategias metodológicas.

A. Tipos y diseño de la investigación

Esta investigación, se ubica en la modalidad de Proyecto Factible, el cual consiste en elaborar una propuesta viable que atiende a las necesidades en una institución, organización o grupo social que se ha evidenciado a través de una investigación documental o de campo.

El diseño utilizado para obtener la información es documental y de Campo; la investigación documental se basa en la recolección profunda y análisis sobre el tema principal mientras que, la investigación de campo se basa en la recopilación de datos en la realidad sin manipular y controlar las variables, una de los instrumentos recomendados en la investigación de campo es la encuesta.

B. Fases del proyecto

Para el desarrollo de este proyecto, es necesario seleccionar y describir una serie de pasos o fases con las que se podrán cumplir los objetivos planteados, a continuación se describen las fases planteadas:

1) FASE I: INVESTIGACIÓN

Etapas de recolección de antecedentes y de información que permita caracterizar el comportamiento y las necesidades de lesionados medulares (paraplégicos) por medio de encuestas aplicadas a las poblaciones y muestras a determinar, seleccionar los métodos (protocolos de comunicación y métodos de control), seleccionar los componentes de hardware a ser usados como los sensores, actuadores y procesador.

2) FASE II: DISEÑO DE SOFTWARE

Para el diseño de la interfaz de usuario para dispositivos Android se evaluaron algunos softwares OpenSource tales como Android Studio, Eclipse, NetBeans y basándose en sus características se seleccionará para el desarrollo del software para el proyecto, además de desarrollar el planteamiento lógico de funcionamiento para la placa de desarrollo Arduino y el código que permita que la misma realice las acciones requeridas por los usuarios.

3) FASE III: COMPROBAR LA INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

Se desarrolló una maqueta de una vivienda tipo y se evaluará el estado de los componentes a ser instalados en el prototipo final, para así poder comprobar el correcto funcionamiento e interacción entre estos y la interfaz de usuario diseñada previamente.

4) FASE IV: EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL SISTEMA

Siendo esta la última etapa de la metodología a emplear, se mostró el prototipo final en funcionamiento a personas con lesiones medulares (paraplégicos) para que comprueben el funcionamiento del sistema, para así poder recolectar información por medio de encuestas sobre el resultado de su interacción con el mismo, y determinar si cubre con sus expectativas y además si el sistema tiene un impacto positivo sobre ellos. En esta etapa final, se propondrán modificaciones necesarias para mejorar el sistema en función de lo esperado y lo obtenido.

En el siguiente esquema se señalan las etapas y estructura del trabajo correspondientes a las fases nombradas anteriormente.

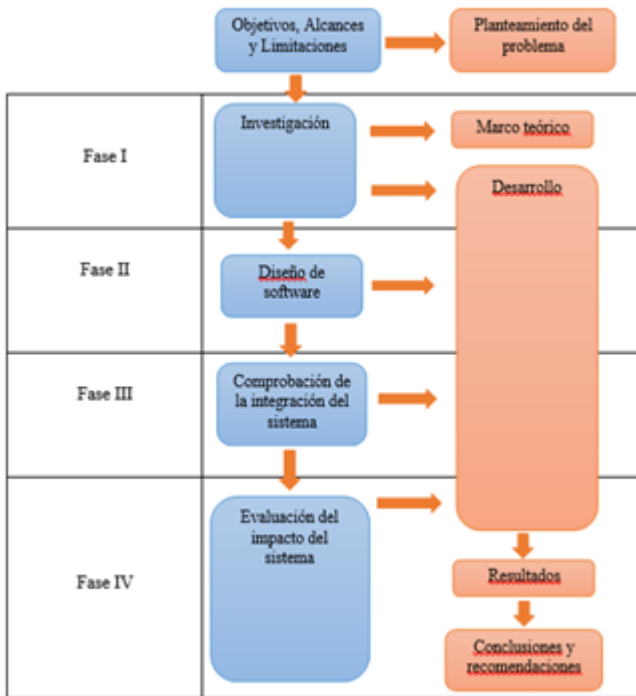


Figura 7: Gráfico metodológico general. Fuente: Elaboración propia.

En función de los objetivos específicos planteados en la introducción, se elaboró una tabla con los productos obtenidos para cada uno de estos objetivos específicos, como se muestra a continuación:

Tabla II: Relación de objetivos y productos. Fuente: Elaboración propia.

Objetivo Específico	Producto
Caracterizar el comportamiento de los lesionados medulares (paraplégicos) en sus hogares.	Resultados de las encuestas realizadas a pacientes.
Seleccionar los controladores, método de comunicación y el método de interacción entre las variables para controlar los dispositivos del sistema domótico.	Todos los elementos de hardware y la forma de interacción para con el sistema.
Diseñar una interfaz gráfica para dispositivos móviles con sistema operativo Android que se ajuste a las necesidades de interacción de los usuarios con el sistema.	Interfaz gráfica para dispositivos móviles, con sistema operativo Android.
Desarrollar el software para la placa de desarrollo Arduino necesario para que el sistema actúe.	Código funcional para la placa de Arduino.
Evaluar el desempeño de la interfaz integrada con los demás componentes del sistema domótico, por medio de la construcción de un prototipo.	Conexión preliminar de los elementos e interfaz en la maqueta de apartamento a escala.
Efectuar las pruebas de verificación de funcionamiento respectivas y evaluación final por parte de los usuarios.	Resultados y recomendaciones sobre el funcionamiento, haciendo las pruebas respectivas y obtener mediante encuestas, la evaluación final de los usuarios.

VI. RESULTADOS

Los resultados obtenidos con la realización de este trabajo se presentan a continuación de acuerdo a cada una de las fases planteadas en la metodología de este trabajo de investigación.

A. Referente a la FASE I: INVESTIGACIÓN

Para el cumplimiento de esta fase fue necesaria la investigación realizada en el marco referencial, donde son desarrollados los conceptos de domótica, Lesión Medular y todo lo que este tipo de lesión acarrea.

Un sistema domótico está conformado básicamente por tres elementos básicos: la unidad de procesamiento, actuadores y dispositivos de entrada (como lo son los sensores), y en nuestro caso el dispositivo con SO Android para el control del sistema. En función de esto se definirán los tipos de elementos a utilizar:

- Recolección de datos (Sensores)
 - Sensores de temperatura: Permitirán recoger el valor de la temperatura actual de la vivienda para ofrecer una lectura de la misma al usuario. El sensor de temperatura seleccionado es el LM335, cuya tensión de salida es linealmente proporcional a temperatura en °K (grados Kelvin), por lo que para mostrar la temperatura en grado Celsius se debe realizar una sencilla conversión en la unidad de procesamiento.
- Actuadores
 - Motor eléctrico: Pequeños motores eléctricos que se encargan de convertir en movimiento la energía eléctrica que se le suministra, serán empujados para el control de las cortinas, estos requieren un voltaje de entrada entre 3,5v a 6v.
 - Led: Un Led corresponde a un tipo especial diodo el cual transforma la energía eléctrica en luz, su principio de funcionamiento se basa en la emisión de fotones (luz) cuando los electrones portadores de la electricidad atraviesan el diodo.
- Unidad de procesamiento
 - Placa de desarrollo Arduino Intel Galileo: Es el elemento central de procesamiento seleccionado para la recepción de los valores aportados por los dispositivos de entrada y control de los actuadores.

Para caracterizar el comportamiento de los lesionados medulares se realizó una encuesta, la cual, fue aplicada en el mes septiembre a 74 personas. La información obtenida de estas encuestas son de gran relevancia para el desarrollo del trabajo, a continuación se muestran los gráficos obtenidos de la información extraída del instrumento de medición:



Gráfico 1: Género

Como se mencionó anteriormente la población encuestada en el Centro Nacional de Rehabilitación Dr. Alejandro Rhode en el mes de septiembre fue de 74 personas en el rango de edades entre 18 y 64 años, donde el 62% fueron hombres y el 38% mujeres.



Gráfico 3: Índice de Barthel

Gracias a la ayuda brindada por los fisioterapeutas del CNR, se utilizó la herramienta del índice de Barthel para conocer el nivel de independencia de los lesionados medulares, en la encuesta se iba marcando la puntuación en las diferentes actividades según lo capaz que eran de realizarlas, finalmente se sumó la puntuación de cada encuestado para conocer el nivel de independencia, dando como resultado un 45% con dependencia moderada, un 49% con dependencia severa, un 5% con dependencia total y 1% de independencia. Datos que nos ayuda a confirmar que estas personas necesitan apoyo en su mayoría de un tercero para realizar tareas cotidianas del hogar, por lo que la implementación de este sistema ayudaría a mejorar su calidad de vida.

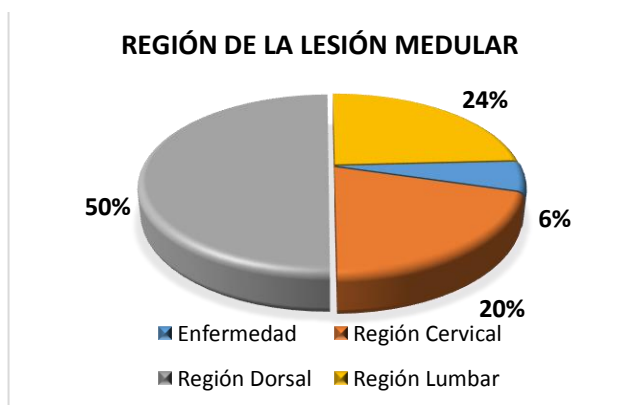


Gráfico 2: Región de la lesión medular

Claramente podemos observar que los lesionados medulares encuestados se distribuyen de la siguiente manera: un 50% poseen afectación en la región dorsal, un 24% en la región lumbar, un 20% en la región cervical y un 6% indicó que su lesión medular es por enfermedad. Mostrando así que un 74% son parapléjicos pudiendo utilizar el sistema domótico perfectamente ya que su lesión afecta la motricidad de sus extremidades inferiores, un 20% son cuadripléjicos los cuales teóricamente tienen afectación tanto en las extremidades inferiores como en la superiores, pero gracias a la rehabilitación continua sus extremidades superiores se han recuperado casi en su totalidad, permitiéndoles así la manipulación de un dispositivo móvil para el control del sistema domótico, el 4% que tiene la lesión por enfermedad aseguro que su limitación es solo en las extremidades inferiores. A pesar de los distintos niveles de lesión de los encuestados observamos que son capaces de utilizar dicho sistema.



Gráfico 4: ¿Conoce el término de domótica?

En el gráfico anterior observamos que la mayoría de los lesionados encuestados desconocen el término de domótica, por lo que estas personas no poseen información sobre las nuevas tecnologías que les servirían de ayuda para mejorar su autonomía e independencia en sus hogares.



Gráfico 5: ¿Ayuda para encender/apagar las luces de la casa?

En el gráfico anterior comprobamos que el 59% de los encuestados presenta dificultad en su hogar al encender/apagar la luz, la dificultad que poseen al realizar esta actividad es por el alcance de los interruptores y/o por la movilidad dentro del hogar por lo que necesita ayuda de terceros, actividad que se quiere que realicen por si solos mediante el sistema domótico, mientras que el 41% afirma poder realizar esta actividad sin ayuda de terceros.



Gráfico 6: ¿Ayuda para abrir/cerrar las cortinas de la casa?

En el gráfico anterior comprobamos que el 73% de los encuestados presenta dificultad en su hogar abrir/cerrar las cortinas, la dificultad que poseen al realizar esta actividad es por el esfuerzo físico que conlleva y/o por la movilidad dentro del hogar por lo que necesita ayuda de terceros, actividad que se quiere que realicen por si solos mediante el sistema domótico, mientras que el 27% afirma poder realizar esta actividad sin ayuda de terceros.



Gráfico 7: ¿Ayuda para controlar el aire acondicionado?

En el gráfico anterior observamos que el 68% de los encuestados no presentan dificultad en su hogar para controlar el aire acondicionado, ya sea porque tiene control remoto, porque tienen movilidad accesible a donde está ubicado o porque no tienen pero consideran que pueden controlarlo, mientras que un 27% considera que necesitarían ayuda de un tercero para controlar el aire acondicionado, por lo que con el sistema domótico podrán encender/apagar y mantener a una temperatura estable el hogar.



Gráfico 8: ¿Dificultad para desplazarse en la vivienda?

En el gráfico anterior observamos que un 59% de los encuestados poseen dificultad para desplazarse en su vivienda, algo que ayuda a comprobar la dificultad que poseen al realizar las actividades mencionadas anteriormente.



Gráfico 9: Lugar de mayor permanencia en la casa

Con el gráfico anterior se concluye que los lesionados medulares permanecen más en la sala y en el dormitorio, por lo que deberían automatizarse gran cantidad de artefactos en estas dos habitaciones por sobre las demás.



Gráfico 10: ¿Luzes del hogar encendidas innecesariamente?

En el gráfico observamos que el 45% de los encuestados mantienen las luces del hogar encendidas innecesariamente, una de las utilidades del sistema domótico es evitar dicha acción, por lo que con dicho sistema se podrá visualizar el estado de iluminación de cada habitación para mantenerlas apagadas mientras no sean necesarias.



Gráfico 11: ¿Qué sistema prefiere?

En el gráfico anterior se observa que un 95% de los encuestados prefieren un sistema domótico, ya que con este sistema obtendrás mayor autonomía, aunque un 5% indicó que preferían el sistema manual porque piensan que este sistema los hará "flojos" por eso prefieren encender/apagar las luces, abrir/cerrar las cortinas y controlar el aire acondicionado ellos mismos.

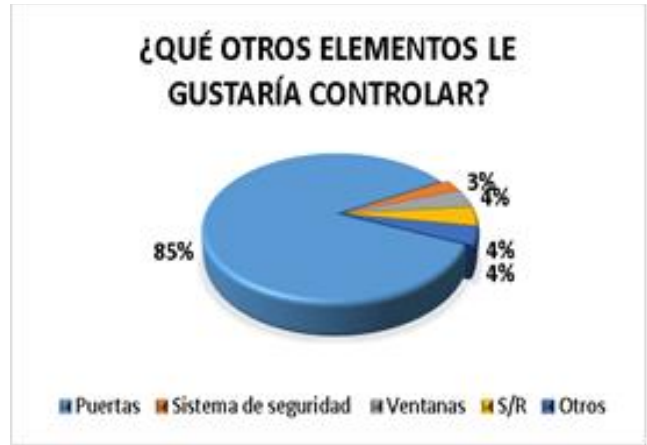


Gráfico 12: ¿Qué otros elementos le gustaría controlar?

La mayoría de los encuestados les gustaría controlar las puertas de la vivienda, siendo esta una de las necesidades para satisfacer, ya que con un sistema de control de apertura no tienen que dirigirse hacia la puerta en vista de una emergencia o al llegar una visita al hogar, si no que con el sistema domótico podrían abrir las mismas.



Gráfico 13: ¿Por qué un sistema manual?

En el Gráfico 11 observamos que un 5% de los encuestados prefirió un sistema manual, en el gráfico anterior se observan las razones que indicaron en las encuestas de porque prefieren un sistema manual por sobre el sistema domótico.



Gráfico 14: ¿Posee un dispositivo móvil con Sistema Operativo Android?

En el gráfico N° 14 observamos que un 80% de los encuestados posee un dispositivo móvil con sistema operativo Android, por lo que estas personas podrían utilizar el sistema domótico sin necesidad de adquirir un dispositivo móvil con sistema operativo Android.

Con todos estos resultados obtenidos de las encuestas aplicadas se puede observar que el sistema por el cual se inició el desarrollo de este trabajo si tiene una población activa que tiene una necesidad latente por mejorar su calidad de vida. En grandes rasgos se aprecia que a pesar que la mayoría de los encuestados en principio no conocen el término “Domótica” una vez realizada la encuesta y prestarles una breve charla sobre lo que es este trabajo y sus objetivos, se observa que en el gráfico N° 11 apenas un 5% afirma que mantendría un sistema no automatizado en sus hogares. A demás, se puede asegurar que la totalidad de la población encuestada estaría en la capacidad física de emplear un dispositivo móvil para el control del sistema domótico, a pesar que no todos tengan en su poder dispositivos móviles con sistema operativo Android.

B. Referente a la FASE II: DISEÑO DE SOFTWARE

Con la culminación de esta fase se obtuvieron como resultados la aplicación Android para el cliente como el código del Arduino Intel Galileo para control del sistema.

1) Con respecto al código desarrollado para Arduino Intel Galileo

Con el desarrollo del código para la placa de desarrollo Arduino se obtuvo como resultado un código desarrollado en C/C++ de 320 líneas y 77615 bytes de almacenamiento en el dispositivo. El código final cuenta con 8 funciones principales que permiten al equipo recibir, actualizar y modificar el estado de sus salidas digitales y además enviar dicho estado al cliente dependiendo de la petición específica que este haya solicitado.

En la tabla a continuación se muestran cada una de las peticiones que puede recibir el Arduino por parte del cliente y que acciones toma este en función de ello.

Tabla III: Peticiones y acciones del Arduino

Petición	Acción
"temp"	Almacena en una variable global el valor de la temperatura suministrado por el usuario
"?D=1"	Envía al cliente el estado de las variables de la habitación "Dormitorio"
"?S=1"	Envía al cliente el estado de las variables de la habitación "Sala"
"?B=1"	Envía al cliente el estado de las variables de la habitación "Baño"
"?C=1"	Envía al cliente el estado de las variables de la habitación "Cocina"
"L=1"	Cambiar la el estado de la iluminación y enviar dicho estado junto con la posición de la cortina de la habitación "Dormitorio"
"Q=1"	Cambiar la el estado de la iluminación y enviar a cliente dicho estado junto con la posición de la cortina de la habitación "Baño"
"X=1"	Cambiar la el estado de la iluminación y enviar a cliente dicho estado junto con la posición de la cortina de la habitación "Sala"
"Z=1"	Cambiar la el estado de la iluminación y enviar a cliente dicho estado junto con la posición de la cortina de la habitación "Cocina"
"M=1"	Cambiar la posición de las cortinas de la habitación "Dormitorio" y envía dicha posición y el estado de la iluminación de la habitación al cliente.
"Y=1"	Cambiar la posición de las cortinas1 de la habitación "Sala" y envía dicha posición y el estado de la iluminación de la habitación al cliente.
"K=1"	Cambiar la posición de las cortinas2 de la habitación "Sala" y envía dicha posición y el estado de la iluminación de la habitación al cliente.
"W=1"	Cambiar la posición de las cortinas de la habitación "Cocina" y envía dicha posición y el estado de la iluminación de la habitación al cliente.

Las 8 funciones nombradas anteriormente cumplen distintas funciones a continuación se nombrarán y describirá brevemente su aplicación en el código.

- recibirDatos: Función que se ejecuta cuando el Arduino detecta un cliente conectado, esta almacena en una variable temporal los datos enviados por el cliente y compara esos datos con algunas de las peticiones descritas anteriormente para realizar la acción correspondiente.
- guardarTemperatura(): Función que almacena en una variable global el valor de temperatura enviado por el cliente desde la aplicación Android.

- medirTemperatura(): Esta función permite la medición de la temperatura por medio del puerto A4 donde se encuentra conectado el sensor LM355, además compara el valor medido con el recibido por la petición "temp" para poder regular el aire acondicionado.
- actualizar(): Función que actualiza las variables correspondientes a la iluminación y la posición de las cortinas de la habitación seleccionada por el usuario y el valor de temperatura medido por el sensor, para ello esta recibe las variables "por valor" de la iluminación, las cortinas y las envía al cliente.
- iluminación(): Permite cambiar el estado de la iluminación de la habitación seleccionada por el usuario y envía al cliente el nuevo estado de esta y posición de las cortinas, para ello recibe "por referencia" la variable de iluminación y "por valor" las de la posición de las cortinas.
- cortinas(): Función que permite al usuario subir o bajar las cortinas de la habitación seleccionada, además envía al mismo el estado de la iluminación y la nueva posición de estas.
- obtenerDecimal(): función que permite obtener la parte decimal de un número, esta se utiliza para convertir el valor float proveniente de la medición del sensor de temperatura a String para que pueda ser enviado al cliente manteniendo el estándar establecido.
- removerCabecera(): Permite eliminar la cabecera de las peticiones enviadas por el usuario, particularmente se usa al recibir el valor de temperatura enviado por el cliente y almacenar únicamente el valor de la temperatura sin la cabecera que lo antecede.

2) Con respecto al código desarrollado para la aplicación Android

Se presenta el diseño gráfico de la interfaz de usuario con la que interactuara el lesionado medular, se tomó en cuenta la sencillez y sofisticación de la interfaz, basándonos en los requerimientos funcionales que debe satisfacer el sistema para cumplir con las necesidades de los usuarios.

Esta aplicación cuenta con un total de 7 activitys, donde cada uno cuenta con su respectivo layout. A continuación se hará una breve descripción de cada uno de estos activitys, y se mostrará el layout respectivo para cada una.

- MainActivity(): tal como su nombre lo indica este es el activity principal de la aplicación. En él se encuentran los botones que permiten navegar entre las distintas habitaciones, el FloatingActionButton que permite acceder a un cuadro de dialogo en el cual se puede

seleccionar la opción llamar o enviar un mensaje de texto al número configurado al inicio de la aplicación, en su método onCreate() se crea la instancia a cada uno de los botones a usar, y se verifica si es la primera vez que se abre la aplicación para abrir la ventana de configuración si es el caso.



Figura 8: Pantalla principal de la aplicación

- Baño(), Cocina(), Sala(), Dormitorio(): tal como el activity anterior, cuenta con todos los botones que permiten ir de un activity a otro además de los botones que permiten cambiar el estado de la iluminación y las cortinas así como un textView que muestra la temperatura medida por el sensor.



Figura 9: Activity de Sala



Figura 10: Activity de Dormitorio



Figura 12: Activity de Baño



Figura 11: Activity de Cocina

- CuadroConfig(): Este activity se ejecuta automáticamente cuando la aplicación es abierta por primera vez en el dispositivo móvil, o cuando se presione en el toolbar el botón de configuración. En este activity se debe ingresar el número telefónico para emergencia y el valor de la temperatura a la que se desea mantener la vivienda, la única forma de dirigirse a otro activity es presionando el botón “guardar” ya que estos datos son indispensables para otras funciones del sistema domótico. Además se hacen varias validaciones como comprobar que el número introducido tiene por lo menos 11 dígitos y que el valor de la temperatura se encuentre entre 17 y 26 grados centígrados.



Figura 13: Cuadro de configuración

- Splash(): Este activity se muestra al entrar a la aplicación, es una simple pantalla de bienvenida, donde se muestra el nombre de la misma y tiene una duración de 3 segundos antes de llevar a MainActivity().



DOMO-LM



Figura 14: Pantalla de inicio

C. Referente a la FASE III: COMPROBAR LA INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

Haciendo referencia a esta fase, se obtuvo como resultado la maqueta de la vivienda tipo así como el circuito final del sistema integrado con la misma. Para la elaboración de la vivienda tipo se usó un tipo de cartón ligero y resistente conocido como cartón piedra. En la siguiente figura se muestra dicho material:



Figura 15: Material para la maqueta

Toda la estructura de la vivienda fue realizada con este material, en la siguiente figura se muestran cada una de las partes que conforman la estructura de la misma y como quedaría su ensamblaje.



Figura 16: Modelo inicial de la maqueta

Luego de recortadas cada una de las paredes y base de la maqueta fueron forradas con papel, el cual tiene impreso distintos diseños para el suelo de las distintas habitaciones así como sus paredes.



Figura 17: Paredes y base de la maqueta forrada

Una vez forradas todas las paredes y el suelo de las distintas habitaciones se prosiguió a pegarlas usando silicón caliente dándole una buena rigidez a la estructura.



Figura 18: Maqueta ensamblada

En la figura anterior se muestra una vista preliminar de lo que es la vivienda tipo ensamblada sin ningún elemento eléctrico aun y con detalles estéticos que corregir. Finalizado este ensamblaje se procedió a hacer el montaje en protoboard de todo el circuito que controlara los elementos de la vivienda.

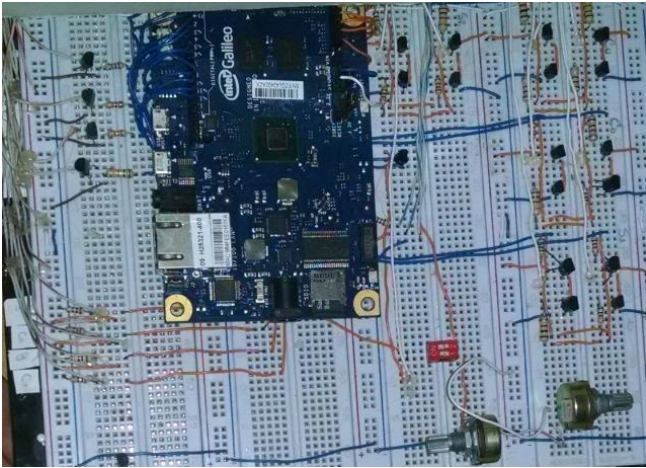


Figura 19: Montaje del circuito en el protoboard

Finalizado el montaje del circuito con el cual se realizaron las pruebas de integración nombradas y mostradas en el capítulo anterior se realizó todo el cableado y la instalación de los LEDs, botones y motores que conformarían el sistema domótico. Dando como resultado las figuras a continuación:



Figura 20: Ensamblaje del circuito con la maqueta

Para almacenar toda la parte circuital del sistema se creó un compartimiento bajo la vivienda el en el cual se encuentra el protoboard y permite deslizar el mismo hacia uno de los laterales de la maqueta para poder observar el circuito y volverlo a colocar bajo la vivienda ocultando todo el cableado de la misma.

En las siguientes figuras se muestran distintas vistas de la maqueta con el circuito integrado finalizado. En cada una de ellas se pueden apreciar los distintos elementos que conforman el sistema domótico.



Figura 21: Vista superior de la maqueta

La figura anterior muestra la vista superior de la vivienda tipo ya con todos los elementos colocados e instalados, en el se puede apreciar una habitación negra la cual es utilizada para almacenar el sistema de aire acondicionado que regulará la temperatura de la vivienda. Las otras habitaciones que se observan son la sala, el dormitorio, la cocina y el baño donde cada una cuenta con los elementos nombrados en capitulos anteriores de este trabajo.



Figura 22: Vista frontal y lateral derecha de la maqueta

En las figuras anteriores se muestra una vista frontal y lateral derecha de la maqueta, con estas vistas se puede apreciar el compartimiento inferior de la vivienda donde se encuentran todos los elementos circuital de la misma.



Figura 23: Vista lateral derecha de la maqueta y el circuito

En la figura 25 se aprecia la misma vista de la lateral derecha de la vivienda, pero con circuito deslizado hacia afuera para poder observar los componentes del circuito, además permitiendo hacer cualquier modificación o revisión de los elementos de manera sencilla y práctica.

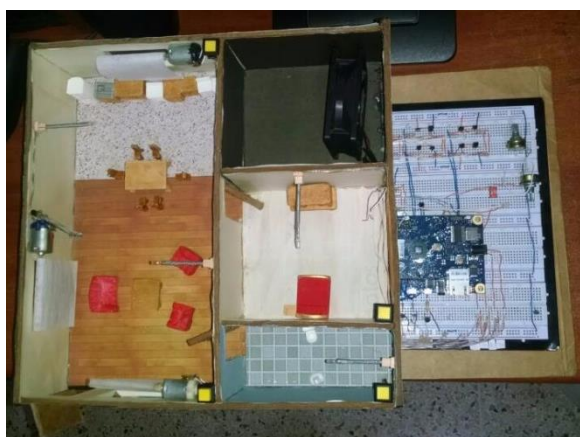


Figura 24: Vista superior de la maqueta y el circuito

Con la figura 26 se puede observar nuevamente una vista superior de la maqueta pero con la gaveta que permite deslizar el circuito afuera. Con este montaje en conjunto con las pruebas de integración se procedió a avanzar a la siguiente fase, la cual permite dar fin al trabajo, permitiendo a los pacientes del Centro de Rehabilitación Dr. Alejandro Rhode una vez más participar y ayudar en el cierre de este proyecto.

D. Referente a la FASE IV: EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL SISTEMA

Para el cumplimiento de esta fase fue necesario lograr todas las fases anteriores de forma exitosa ya que es

completamente dependiente del buen funcionamiento y desempeño del sistema para que el mismo pueda ser evaluado por los pacientes encuestados. Los resultados obtenidos en esta fase son de vital importancia para las recomendaciones y futuras consideraciones para próximos TEG dedicados a esta área.

A continuación se muestran los gráficos obtenidos de la información extraída de las encuestas aplicadas luego de que se permitiera a distintos pacientes interactuar con el sistema de forma directa:



Gráfico 15: Diseño adecuado y comodidad de uso

En el gráfico N° 15 observamos que el 100% de los encuestados indicó que la aplicación móvil posee un diseño adecuado y es cómodo para su uso, esto afirma que los lesionados de la región cervical que podrían utilizar el sistema domótico por sí mismos, a pesar de su alto nivel de lesión.



Gráfico 16: ¿Conforme con las funcionalidades?

Un 93% de los encuestados está conforme con las funcionalidades del sistema domótico, mientras que un 7% no. Indicaron que faltan características como el sistema de apertura de puertas y el sistema de seguridad.



Gráfico 17: ¿Aumenta el grado de autonomía e independencia?

Con el gráfico anterior se comprobó que el 95% de los encuestados opinan que un sistema domótico aumenta el grado de autonomía e independencia ya que no necesitarían ayuda de terceros para realizar actividades cotidianas en el hogar, mientras que un 5% considera que su grado de autonomía e independencia no influye por un sistema domótico, por lo que prefieren realizar las actividades por sí mismos.

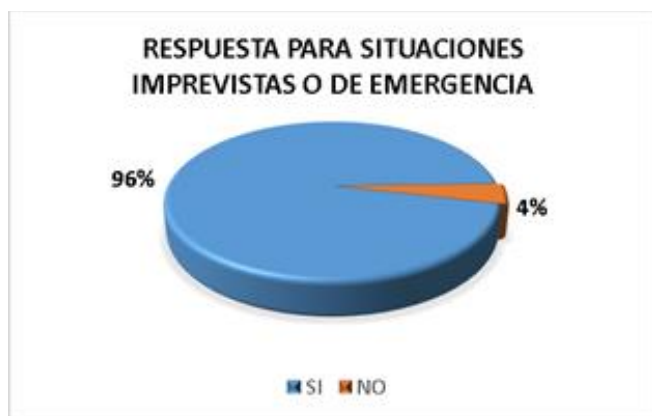


Gráfico 18: Respuesta para situaciones imprevistas o de emergencia

Un 96% considera que el sistema domótico tiene una respuesta positiva para situaciones imprevistas o de emergencia, estas podrían ser: salir del baño y dejar la luz encendida o en cualquier habitación, también la aplicación cuenta con un botón de emergencia el cual puede llamar o enviar un mensaje de texto a un número predeterminado.



Gráfico 19: ¿Contribuye al ahorro energético del hogar?

A pesar de que un 5% de los encuestados prefieren un sistema manual, un 100% indica que un sistema domótico contribuye al ahorro energético del hogar.



Gráfico 20: ¿Se debe desarrollar esta tecnología en el país?

Considerando los altos costos que puede incluir una instalación de un sistema domótico en una vivienda, no pensaron en eso como una limitante, más bien indicó el 100% el interés por el desarrollo de esta tecnología en el país.

Estos resultados obtenidos ofrecen una valoración del sistema propia de aquellas personas a las que va dirigida la realización de este trabajo. Se obtuvieron resultados positivos que ayudan a confirmar el buen funcionamiento del sistema en general.

Como se puede apreciar al principio de este proyecto las personas encuestadas desconocían en su mayoría el término de domótica, ahora finalizado el proyecto el 100% de los encuestados afirma que es una tecnología que debe ser desarrollada con más ímpetu en el territorio nacional. Además, ofrecieron sus opiniones valiosas

sobre su conformidad con los elementos controlados y la importancia de añadir adicionalmente el sistema de apertura de puertas y otros elementos de seguridad.

VII. CONCLUSIONES

Los sistemas domótico les permiten a los usuarios gestionar dispositivos cotidianos del hogar mediante la integración de diferentes tecnologías que les permitan mejorar su calidad de vida. Estos sistemas pueden ser adaptados a cualquier tipo de vivienda, para satisfacer las necesidades específicas que son requeridas en la instalación considerando siempre la escalabilidad del sistema hacia nuevas funciones. La domótica toma especial valor cuando es aplicada para resolver problemas y ayudar a personas que tienen alguna deficiencia física, como es en el caso de este trabajo donde se dirigió el estudio y desarrollo del proyecto para personas con Lesión Medular.

La plataforma Arduino es una tecnología usada para innovar y desarrollar en el proceso de automatización de hogares y otras áreas, otorgando un sinfín de posibilidades para la programación mediante un lenguaje sencillo y la fácil integración con otros sistemas electrónicos como es el caso de los dispositivos móviles con sistema operativo Android. Los elementos elegidos para gestionar en este trabajo los cuales fueron iluminación y temperatura, fueron seleccionados ya que son características básicas que cualquier persona con discapacidad física pueda controlar y monitorear en su hogar, además dando la posibilidad que este sistema pueda ser adaptado a distintos tipos de viviendas.

Cada componente del sistema fue seleccionado tomando como criterios su disponibilidad en el mercado venezolano, el coste y sus características técnicas. El método de comunicación empujado entre el servidor (Intel Galileo) y el cliente (Dispositivo móvil) es el protocolo WiFi. Luego del diseño del software tanto para la aplicación móvil como para el Arduino se realizó la integración de todos los elementos en una maqueta a escala de la vivienda tipo planteada, en esta se llevaron a cabo las pruebas de integración del sistema y se evaluó el desempeño del mismo.

REFERENCIAS

[1] Lesión medular. (2016). Consultado el: 30/04/17 Disponible en: <http://www.guttmann.com/es/treatment/lesion-medular>

[2] ¿Qué es la paraplejia? (s.f). Consultado el: 30/04/17. Disponible en: <http://www.paraplejas.es/>

[3] O. García, Flores, G, C. Acosta, R. Fernández, A. Mora, A. Vázquez y H. Salas, Tratamiento quirúrgico de las luxofracturas de la columna cervical inferior, Mex Neuroci, vol. 2, nº 5, pp. 104-111, 2004.

[4] Real Academia Española. Vivienda. Consultado el: 30-04-17. Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=byF4Mc7>

[5] Quintero Luis F. Viviendas inteligentes (Domótica). Revista Ingeniería e Investigación. (25): 47-53. Agosto 2005.

[6] Romero, Cristóbal, Vázquez, Francisco y de Castro, Caros. (2006). Domótica e Inmótica. Viviendas y Edificios Inteligentes. Madrid: RA Ma, 2006. ISBN: 84-7897-729-5.

[7] Stefan Junestrand, Xavier Passaret, Daniel Vázquez. 2004. Domótica y hogar digital. Editorial Paraninfo, 2004. ISBN: 84-2832-891-9

[8] Asociación española de domótica. (s.f). ¿Qué es domótica? Consultado el: 30-04-17. Disponible en: <http://www.cedom.es/que-es-domotica.php>

[9] Real Academia Española. Domótico. Consultado el: 30-04-17. Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=E7W0v9b>

[10] C. Altaír y L. Carla. (2016). Estudio y diseño de un sistema domótico utilizando las plataformas de desarrollo de proyectos Arduino y LittleBits, Universidad Católica Andrés Bello. Venezuela

[11] Huidobro, J.M. (2007). La Domótica como solución de futuro. Libro en línea. Consultado el 01/05/2017. Disponible en: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/la-domotica-como-solucion-de-futuro-fenercom.pdf>

[12] Huidobro, José y Millán, Ramón. 2006. Domótica. Edificios Inteligentes. Limusa, México, 2006. ISBN: 968-18-6851-X.)

[13] Kushner, D. (2011). La fabricación de Arduino. Consultado el 01/05/2017. Artículo en línea. Disponible en: <http://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino/0>

[14] Arduino, Arduino Intel Galileo (s.f). Consultado el 01/05/2017. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/ArduinoCertified/IntelGalileo>

[15] Robledo, D. "Desarrollo de Aplicaciones para Android II". España: Colección Aula Mentor, 2014

[16] Android Studio (s.f). Consultado el 20/05/2017. Disponible en: <https://developer.Android.com/studio/index.html>

[17] Strassburguer, Hernández, Barquín. 2004. Lesión Modular: Guía para el manejo integral del paciente con LM crónica. Guía en línea. Disponible en: http://www.isfie.org/documentos/guia_practica_lm.pdf

[18] García, S. Lesión cráneo encefálica y medular. Disponible en: <https://es.slideshare.net/Saleky/lesin-crneo-enceflica-y-medular>

[19] Cid, J & Damián, J. (1997). Valoración de la discapacidad física: El Índice de Barthel. Artículo en línea. Consultado el 03/08/2017. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v71n2/barthel.pdf>

[20] Técnicas de recolección de datos. (s.f). Consultado en 03/08/2018. Disponible en: <https://gabriellebet.files.wordpress.com/2013/01/tecnicas-de-recoleccion3b3n4.pdf>