



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

APLICACIÓN DEL DISPOSITIVO MINDWARE® PARA LA ASISTENCIA REMOTA A PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICAS DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR STANFORD

ROBERTO CARLOS OÑATE LÓPEZ

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGISTER EN SISTEMAS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL**

RIOBAMBA – ECUADOR

Enero 2018

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: “APLICACIÓN DEL DISPOSITIVO MINDWARE® PARA LA ASISTENCIA REMOTA A PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICAS DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR STANFORD”, de responsabilidad del señor Roberto Calos Oñate López, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

ING. OSWALDO GEOVANNY MARTÍNEZ GUASHIMA M. Sc.

PRESIDENTE

ING. DANIEL ALEJANDRO ÁLVAREZ ROBALINO M. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

ING. FRANCISCO ROBERTO NARANJO COBO M. Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

ING. MILTON FABRICIO PÉREZ GUTIÉRREZ M. Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Riobamba, Enero 2018

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Roberto Carlos Oñate López soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

ROBERTO CARLOS OÑATE LÓPEZ

Nº Cédula: 060338953-7

DERECHOS DE AUTENTICIDAD

Yo, Roberto Carlos Oñate López, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

ROBERTO CARLOS OÑATE LÓPEZ

N° Cédula: 060338953-7

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado para mis hijas y esposa que han sido para mí la principal fuente de fortaleza y animo de superación, para mis adorados padres quienes son mi ejemplo y mi apoyo incondicional, gracias a ellos he podido salir adelante alcanzando mis los objetivos y culminar esta Maestría.

A mis padres Enrique Oñate, Ana López por su inmenso amor y por haber sembrado en mí la semilla con la que crecen los hombres de bien, brindándome siempre su mano amiga, buenos consejos a parte del sustento económico para lograr alcanzar la culminación de esta Maestría

Roberto

AGRADECIMIENTO

Gracias Dios, por regalarme la oportunidad de vivir, concluir esta meta de mi vida, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas especiales que han sido mi soporte, apoyo y compañía durante este periodo de estudios.

Agradecer sinceramente a aquellas personas que compartieron sus conocimientos conmigo para hacer posible la conclusión de esta tesis. Especialmente agradecer a mis tutores Ing. Daniel Álvarez Robalino. M. Sc. Ing. Francisco Roberto Naranjo Cobo. M. Sc. Ing. Milton Fabricio Pérez Gutiérrez. M. Sc. Por su esfuerzo y dedicación, quienes con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación guiaron el desarrollo de esta investigación.

Al Instituto Tecnológico Superior STANFORD por la apertura y facilidades brindadas para el desarrollo y feliz término de mi tesis

Todo esto nunca hubiera sido posible sin el amparo y apoyo incondicional que me otorgaron mis amados padres, el amor y comprensión de mi esposa e hija, quienes por ellos soy lo que soy.

A todos ustedes, mi mayor reconocimiento y gratitud.

Roberto

CONTENIDO

RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I	15
1. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Planteamiento del problema.....	15
1.1.1. Situación Problemática	15
1.1.2. Formulación del Problema	16
1.1.3. Preguntas Directrices	16
1.2. Justificación	16
1.3. Objetivo General.....	17
1.4. Objetivos específicos	17
1.5. Hipótesis	18
CAPÍTULO II	19
2. MARCO DE REFERENCIA.....	19
2.1. Antecedentes del problema	19
2.2. NeuroSky	20
2.3. El Cerebro.....	21
2.4. Ondas Cerebrales	22
2.4.1. El misterio de la conciencia humana	23
2.4.2. Tipos de ondas cerebrales	24
2.4.2.1. Ondas BETA.....	24
2.4.2.2. Ondas ALFA.....	24
2.4.2.3. Ondas THETA	25
2.4.2.4. Ondas DELTA	25
2.4.3. Variación de ondas cerebrales en el ser humano	26
2.5. Electroencefalograma (EEG)	27
2.5.1. Historia del EEG.....	27
2.5.2. Electroodos EEG.....	28
2.5.3. Tipos de electrodos EEG.....	28
2.5.4. Sistema Internacional 10-20.....	30

2.5.5.	Limitaciones de EEG	31
2.6.	Arduino	32
2.6.1.	Ventajas que brinda Arduino	33
2.7.	Módulo Bluetooth HC-05	34
2.8.	Modulo Micro SD	35
2.9.	Diodo emisor de luz infrarroja	36
2.9.1.	Diodo LED.....	36
2.9.2.	LED de infrarrojos (IRLED).....	37
2.10.	Edificios inteligentes y domótica	38
CAPÍTULO III.....		40
3.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	40
3.1.	Situación Actual.....	40
3.1.1.	Laboratorio de Enfermería N° 1	41
3.1.2.	Laboratorio de Enfermería N° 2.....	41
3.1.3.	Laboratorio de Programación N° 1	42
3.1.4.	Laboratorio de Programación N° 2	43
3.1.5.	Estudio actual de dependencia personal	43
3.1.6.	Estudio actual de confort en las personas con discapacidad física del instituto	45
3.1.7.	Conclusiones sobre el estudio de la situación actual	47
3.2.	Diseño de Investigación	48
3.2.1.	Pre- estudio	48
3.2.1.1.	Selección del Dispositivo.....	48
3.2.1.2.	Necesidades a cubrir	49
3.2.2.	Implementación	50
3.2.2.1.	Conexión de la diadema MindWare con modulo bluetooth HC-05.....	51
3.2.2.1.1.	Configuración modulo bluetooth HC-05.....	51
3.2.2.1.2.	Configuración del módulo HC-05 para la conexión a la diadema MindWare”	54
3.2.2.2.	Emparejamiento del módulo bluetooth HC-06 con el celular.....	55
3.2.2.3.	Emisor infrarrojo mediante arduino	58
3.2.2.4.	Lectura y escritura en una tarjeta microSD con Arduino	61
3.2.2.5.	Programación de la aplicación Android	63
CAPÍTULO IV.....		68
4.	Resultados y Análisis	68
4.1.	Pruebas de funcionamiento y entrenamiento a los usuarios	68
4.2.	Comunicación	69

4.3.	Confort.....	70
4.4.	Disminución de la dependencia personal	71
4.5.	Prueba de la Hipótesis.....	72
4.1.1.	Planteamiento de la hipótesis	72
4.1.2.	Región o criterios de aceptación de la hipótesis	72
4.1.3.	Datos.....	73
4.1.4.	Resultado	75
4.6.	Costos de la implementación del sistema.	76
4.7.	Eficiencia de la aplicación del dispositivo	77
	CONCLUSIONES	78
	RECOMENDACIONES	79
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-3 Datos de usuarios participantes en el estudio	44
Tabla 2-3 Dependencia personal para el cumplimiento de actividades aplicadas a los participantes	44
Tabla 3-3 Datos en segundos de cuatro actividades aplicadas a los participantes	46
Tabla 4-3 Características de Dispositivos.....	48
Tabla 5-3 Códigos Hexadecimales	60
Tabla 1-4 Datos en segundos de cuatro actividades aplicadas a los participantes	70
Tabla 2-4 Dependencia personal para el cumplimiento de actividades aplicadas a los participantes	71
Tabla 3-4 Datos de campo.....	73
Tabla 4-4 Resultados finales	74
Tabla 5-4 Costo promedio.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2 Logotipo de NeuroSky.....	20
Figura 2-2 El Cerebro.....	21
Figura 3-2 Ondas Cerebrales.....	22
Figura 4-2 Tipo de Ondas Cerebrales.....	26
Figura 5-2 Tipos de Electrodo s EEG.....	30
Figura 6-2 Sistema internacional 10-20 de colocación de electrodo s	31
Figura 7-2 Logotipo de Arduino	32
Figura 8-2 Módulo Bluetooth HC-05	34
Figura 9-2 Modulo MicroSD.....	36
Figura 10-2 Diodo Led.....	37
Figura 11-2 Domótica	39
Figura 1-3 Laboratorio de enfermería N° 1	41
Figura 2-3 Laboratorio de enfermería N° 2	42
Figura 3-3 Laboratorio de Programación N° 1	42
Figura 4-3 Laboratorio de Programación N° 2	43
Figura 5-3 Dependencia personal para el cumplimiento de actividades	45
Figura 6-3 Esquema de implementación	50
Figura 7-3 Conexión del módulo bluetooth HC-05 con el Arduino Nano	51
Figura 8-3 Librería software serial de Arduino	52
Figura 9-3 Monitor serial con comando AT	53
Figura 10-3 Secuencia de comandos AT	55
Figura 11-3 Conexión módulo HC-06 con Arduino Nano.....	55
Figura 12-3 Sketch a cargar en el Arduino	56
Figura 13-3 Monitor serial del IDE de Arduino	57
Figura 14-3 Esquema de conexión de infrarrojo con el Arduino	58
Figura 15-3 Sketch IRremote a cargar en el Arduino	59
Figura 16-3 Captura de Código	59
Figura 17-3 Diagrama del circuito led emisor infrarrojo	60
Figura 18-3 Librería IRremote	61
Figura 19-3 Conexiones modulo micro SD al Arduino	62
Figura 20-3 Sketch para leer y escribir en el módulo micro SD	62
Figura 21-3 App terminada	63

Figura 22-3 Bloque en emparejamiento y conexión	64
Figura 23-3 Bloque de enceramiento de variables globales.....	64
Figura 24-3 Bloque de Calibración	65
Figura 25-3 Recolección de Datos	65
Figura 26-3 Envío de datos a memoria micro SD.....	66
Figura 27-3 When Cerrar	66
Figura 1-4 Entrenamiento a usuario N° 1	68
Figura 2-4 Prueba de funcionamiento	69
Figura 3-4 Región de rechazo de la hipótesis nula	73
Figura 4-4 Región de rechazo o aceptación de la hipótesis nula.....	75

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue la aplicación del dispositivo Mindware para la asistencia remota de encendido/apagado de aparatos y electrodomésticos a personas con discapacidad físicas del Instituto Tecnológico Superior Stanford. El sistema cerebro computador (BCI) está conformado por un arduino, el mismo que será el encargado de recibir y procesar las ondas cerebrales (alfa, beta, gamma) que se obtiene mediante el dispositivo Mindware y lo transmite a través del bluetooth, de acuerdo al procesamiento y análisis de las ondas, se enviara una señal infrarroja al aparato o electrodoméstico que se desee controlar. Se debe tener en cuenta que cada usuario tendrá diferente nivel de concentración y relajación cerebral, motivo por el cual se desarrolló una app para que el usuario pueda calibrar el sistema obteniendo un correcto funcionamiento. Luego de implementar el sistema y aplicar el dispositivo Mindware se realizó las pruebas de funcionamiento y entrenamiento a diez estudiantes con discapacidad física, para lo cual se recogió mediciones de los niveles de concentración, meditación, tiempo necesario para el cumplimiento de cuatro actividades de encendido y apagado de aparatos eléctricos y el número de personas de apoyo necesario para el cumplimiento de estas actividades. Se pudo comprobar que gracias a la aplicación del dispositivo MindWare se logró reducir la dependencia personal en usuarios con discapacidad física del Instituto Stanford, permitiendo así mejorar su estilo de vida y autonomía en sus actividades dentro del establecimiento. Se concluye que con esta aplicación se puede generar control a través de los sistemas BCI y de la actividad dieléctrica de las señales cerebrales para el control de un dispositivo eléctrico o electrónico. Se recomienda realizar un estudio previo del comportamiento de las señales cerebrales ante situaciones de estrés y de relajación con el fin de entender sus datos como parte fundamental del análisis del sistema.

Palabras Claves:

<TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <DOMÓTICA>, <MINDWARE>, <ONDAS CEREBRALES>, <ELECTROENCEFALOGRAMA>, <DISCAPACIDAD FÍSICA>, <DEPENDENCIA PERSONAL>, <ARDUINO (SOFTWARE-HARDWARE)>

ABSTRACT

The objective of the investigation was the application of the Mindware device for remote ignition/shutdown assistance of devices and electrical appliances to people with physical disabilities of the Instituto Tecnológico Superior Stanford. The brain-computer interface (BCI) is made up of an Arduino, which will be in charge of receiving and processing brain waves (alpha, beta, gamma) that are obtained and transmitted by the Mindware device through Bluetooth, according to the processing and analysis of the waves, an infrared signal will be sent to the appliance to be controlled. It must be taken into account that each user will have a different level of concentration and brain relaxation, for that reason an app was developed in order for the user to be capable of calibrating the system obtaining a correct operation. After implementing the system and applying the Mindware device, the functional and entertainment tests were carried out on ten students with physical disabilities, for which it was collected measurements of concentration levels, meditation, time required for the fulfillment of four activities of ignition and shutdown of electrical devices and the number of support people necessary for the accomplishment of these activities. It could be verified that thanks to the application of the Mindware device it was possible to reduce the personal dependence on users with physical disability of the Instituto Stanford, thus permitting to improve their lifestyle and autonomy in their activities within the establishment. It is concluded that with this application it is possible to generate control through the BCI systems and the dielectric activity of the brain signals for the control of an electrical or electronic device. It is recommended to perform a preliminary study of the behavior of brain signals in situations of stress and relaxation in order to understand its data as fundamental part of the system analysis.

Key Words:

<TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <HOME AUTOMATION>, <MINDWARE>, <BRAIN WAVES>, <ELECTROENCEPHALOGRAM>, <PHYSICAL DISABILITY>, <PERSONAL DEPENDENCE>, <ARDUINO (SOFTWARE-HARDWARE)>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. *Situación Problemática*

Hoy en día en el Ecuador existen alrededor de un total de 408.021 personas con varios tipos de discapacidades, de las cuales 193.520 de esta población son personas con discapacidad física, que dificulta su desarrollo personal y su integración social, educativa o laboral. (CONADIS, 2016)

Calidad de vida es un concepto que refleja las condiciones de vida deseada por una persona, en relación con ocho necesidades fundamentales que representan el núcleo de las dimensiones de la vida de cada uno: bienestar emocional, relaciones interpersonales, bienestar material, desarrollo personal, bienestar físico, autodeterminación, inclusión social y derechos. (Schalock RL, 1990)

Las limitaciones y dependencia de una persona con una discapacidad física eventual, parcial o total, ocasionan dificultades para realizar las actividades básicas de la vida diaria dando lugar a desarrolla sus propios medios para enfrentarse a este tipo de situaciones, medios que se traducen por una serie de reacciones más o menos útiles, las mismas que permiten una dependencia parcial.

Actualmente se están desarrollando aplicaciones orientadas hacia los sistemas de interfaz cerebro-computadora (BCI) los cuales buscan generar interactividad entre personas en condición de discapacidad y cualquier dispositivo que facilite su condición de vida, es por esto que se hace necesario generar control interpretando señales cerebrales (EEG) las cuales se convierten en un medio de comunicación que facilita a los usuarios una adaptación real con el medio exterior y su aplicabilidad a sistemas robóticos, automatizados, domóticos, de gran ayuda y asistencias.

Las personas con discapacidad física tienen una dependencia personal, es decir necesitan de ayuda para el desarrollo de actividades de la vida diaria, como abrir las persianas, encender/apagar dispositivos del hogar, control de las luminarias, climatización de la habitación e inclusive notificar a un familiar cuando necesiten ayuda o se encuentren en situaciones de peligro o auxilio.

1.1.2. *Formulación del Problema*

¿Cuál es el efecto de aplicar el dispositivo Mindware® para la asistencia remota a personas con discapacidad físicas del Instituto Tecnológico Superior Stanford?

1.1.3. *Preguntas Directrices*

- ¿El dispositivo Mindware será de fácil calibración a través de la app implementada?
- ¿El uso del sistema será eficiente en cuanto al tiempo de respuesta en comparación al mismo proceso realizado por una persona?
- ¿La aplicación del dispositivo Mindware® servirá de asistencia remota a personas con discapacidad físicas del Instituto Tecnológico Superior Stanford?
- ¿La tecnología de comunicación inalámbrica del sistema perturbará la recepción de las ondas cerebrales?
- ¿El costo de la implementación del sistema será accesible para todo estrato social?

1.2. *Justificación*

Las características del presente proyecto se insertan pertinentemente en el Plan Nacional del Buen Vivir, especialmente en su Objetivo número 2 “Auspiciar la igualdad, la cohesión, la inclusión y la equidad social y territorial, en la diversidad” y número 10 “Impulsar la transformación de la matriz productiva”, así como, en la nueva matriz productiva en el Sector de servicios: Tecnología (software, hardware y servicios informáticos).

Las enfermedades y limitaciones físicas han golpeado a la humanidad desde siempre, ya sea por males degenerativos, accidentes o causas naturales, teniendo así 13.815 de personas con discapacidad física en la provincia de Chimborazo. (CONADIS, 2016)

Los sistemas BCI traducen los reflejos de las actividades cerebrales que pueden ser estímulos sensoriales ya sean auditivos, visuales, o tareas motoras imaginarias; para analizarlos articulando hardware y software desde la acción real del usuario y de esta manera llevarlos a aplicaciones tangibles como lo son sillas de ruedas, prótesis, sistemas domóticas, mensajería celular, y en general biomecanismos con el fin de asistir de manera óptima al paciente.

Sin embargo los sistemas BCI tienen varios requisitos para su adecuado funcionamiento siendo mayores los requerimientos que hacen de estos sistemas cada vez más complejos y donde se centran las investigaciones para aportar en desarrollos más notorios; uno de ellos es garantizar que las señales describan de manera real los distintos estados cerebrales que estén disponibles en el proceso de adquisición, por otro lado que sean señales de fácil extracción y que puedan diferenciarse respectivamente

Este proyecto brinda soluciones tecnológicas a las personas con discapacidad física, cuyo objetivo es el de realizar una adquisición y monitoreo de las diferentes señales que son emitidas por el cerebro, estas señales pueden variar de acuerdo a factores que se encuentran inmersos en la persona como lo es el estado emocional, físico y anímico, logrando así un beneficio social, disminuyendo la dependencia personal en el desarrollo de actividades de la vida diaria logrando así mejorar su calidad y estilo de vida.

1.3. Objetivo General

Aplicar el dispositivo Mindware® para la asistencia remota de encendido/apagado de aparatos y electrodomésticos a personas con discapacidad físicas del Instituto Tecnológico Superior Stanford

1.4. Objetivos específicos

- Establecer el estado del arte del sistema BCI de tal forma que el análisis documental permita identificar los conceptos más importantes sobre las ondas cerebrales, su forma de adquisición y el tipo de procesamiento.
- Definir el tipo de control a utilizar y aplicarlo dependiendo al tipo de señales obtenidas por el sistema BCI de forma que se pueda conseguir un método efectivo para trabajar por rangos.
- Implementación del hardware necesario para el control de encendido/apagado de aparatos y electrodomésticos del hogar

- Desarrollar una app para dispositivos móviles Android, que permita un manejo intuitivo y de fácil interacción del dispositivo Mindware® y el usuario.

1.5. Hipótesis

El sistema BCI reduce la dependencia personal en usuarios con discapacidad física, permitiendo así mejorar su estilo de vida y autonomía en sus actividades cotidianas.

CAPÍTULO II

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del problema

Según los docentes del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Damián Lasluisa, Mauricio Cruz y Marco Singaña, en su proyecto denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SILLA DE RUEDAS AUTÓNOMA ACCIONADA MEDIANTE ONDAS CEREBRALES, PARA LA ASOCIACIÓN DE PERSONAS CON LIMITACIONES PLÉJICOS DE TUNGURAHUA (ASOPLEJICAT)”, el funcionamiento del dispositivo desarrollado se basa en tres etapas, 1. Adquisición de la señal, 2. Programación de funciones y 3. Accionamiento del dispositivo, etapas similares a sistema que se implementara en el desarrollo de esta tesis, con varias diferencias, pero una de las principales cae en la primera etapa, en la cual se utiliza el dispositivo Emotiv Eloc el mismo que cuenta de 14 electrodos activos y 2 de referencia haciendo que la adquisición de señales sea más sencillo y preciso en comparación al dispositivo Mindware que tan solo cuenta de 1 electrodo activo y 1 de referencia, así como su precio de 100 dólares americanos a los 900 dólares americanos del Emotiv Eloc, siendo este un gran impedimento en la adquisición del sistema impidiendo la accesibilidad para todo estrato social del Ecuador.

Podemos concluir que existen sistemas basados en ondas cerebrales que controlan en su mayoría sillas de ruedas, y hasta el momento de esta investigación no se encontró un sistema de ayuda y asistencia para personas discapacitadas físicamente que permita disminuir la dependencia y mejorar su estilo de vida.

2.2. NeuroSky



Figura 1-2 Logotipo de NeuroSky

Fuente: (NeuroSky, 2017)

Fundada en el año 2004, NeuroSky es una compañía privada, con sede en Silicon Valley con oficinas en Asia y Europa.

NeuroSky es una empresa americana donde se dedican al desarrollo de interfaces cerebro – computadora (BCI), utilizando la electroencefalografía con la ayuda de electrodos situados sobre la cabeza con la finalidad de captar impulsos eléctricos cerebrales que se generan con el pensamiento y cualquier actividad cerebral.

Esta compañía es líder a nivel mundial, lleva las capacidades BCI fuera del laboratorio y para el público en general. Gracias a los avances de NeuroSky, cualquier persona puede ser capaz de poner en funcionamiento un dispositivo electrónico con el pensamiento, solo en la comodidad e intimidad de su propia casa. Las instituciones de investigación pueden recoger previamente sin precedentes niveles de datos de campo en las funciones cerebrales, y las empresas pueden agregar capacidades de BCI a su gama de productos.

Los dispositivos NeuroSky son asequibles por su precio, portátiles y sin cables; su tecnología central detrás de dispositivos NeuroSky ha sido construido desde cero, esto ha permitido a NeuroSky producir económicamente un chip que filtra las ondas ambientales presentes en condiciones más controladas y mide efectivamente la actividad neuronal en prácticamente cualquier condición con el 96% la precisión, de configuración similar al electroencefalografía (EEG) para aplicarlo a la investigación. Algunas empresas afirman haber sido el primero en publicar un producto basado en EEG, siendo la empresa NeuroSky desarrolladora del primer dispositivo BCI a disposición del público en general a menos de mil dólares, teniendo un costo en la actualidad de cien dólares en el país de Estados Unidos. (NeuroSky, 2017)

2.3. El Cerebro

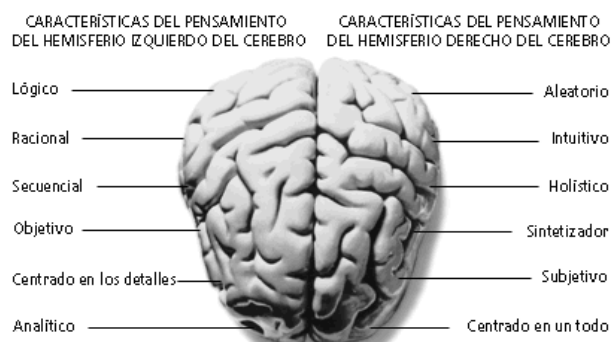


Figura 2-2 El Cerebro

Fuente: (Sonidosbinaurales, 2016)

El cerebro es la parte principal del sistema nervioso central del ser humano, el mismo que se encuentra ubicado dentro del cráneo. En la especie humana pesa en promedio 1,3 kg y es una masa de tejido gris-rosáceo que está compuesto por unos 100.000 millones de células nerviosas aproximadamente (cantidad de células en un cerebro adulto), conectadas entre sí y responsables del control de todas las funciones mentales. Otras de las funciones del cerebro, es el centro de control del movimiento, del sueño, del hambre, de la sed y de casi todas las actividades vitales necesarias para la supervivencia del individuo. Todas las emociones humanas como el amor, el odio, el miedo, la ira, la alegría y la tristeza están controladas por el cerebro. También es el encargado de recibir e interpretar las innumerables señales que se envían desde el organismo y del exterior. La gran superficie del cerebro y su complejo desarrollo justifican el nivel de superioridad de inteligencia que posee el hombre al compararlo con el de otros animales. La corteza se encuentra dividida por una fisura longitudinal, en una parte derecha y otra izquierda, llamadas hemisferios cerebrales, los mismos que son simétricos, similar a una imagen vista en un espejo. Ambos hemisferios (derecho-izquierdo), se encuentran interconectados por medio del "cuerpo calloso" que es un conglomerado de fibras nerviosas blancas que los conectan y permiten la transferencia de información de uno a otro.

El cerebro es el órgano del cuerpo que más trabaja, ya que todo aquello que se hace, se siente o se piensa, es debido al cerebro, y al realizar una comparación con un computador, la diferencia se hace muy notoria al momento de saber que el computador realiza sus operaciones por medio de procesos secuenciales y lógicos, el cerebro es multidireccional, funcionando en una forma mucho más compleja ya que al procesar la información lo hace sintetizando e integrando la misma a través de procesos paralelos y simultáneos. Al saber esto, es necesario recordar igualmente, que toda la información que puede recibir el cerebro del mundo exterior, se obtiene por medio de los

sentidos (gusto, tacto, olfato, vista y oído) cuyas sensaciones se reciben a través de los órganos respectivos (lengua, piel, nariz, ojos y oídos) que a su vez están controlados por el cerebro; estas partes sensibles se encuentran enviando constantemente "mensajes" informándonos sobre todo lo que sucede a nuestro alrededor, no obstante y a pesar de toda esta información, los estudiosos en la materia han manifestado que el ser humano utiliza solamente un diez por ciento (10 %), aproximadamente, de la capacidad de este maravilloso órgano.

De igual manera se ha podido determinar, en líneas generales, que cada hemisferio se interrelaciona íntimamente con su homólogo, aunque ejercen funciones diferentes y cada uno es responsable de un lado del cuerpo, en forma especular, es decir que las funciones realizadas por el lado izquierdo del cuerpo son dirigidas y controladas por el hemisferio derecho, sucediendo de forma semejante con el hemisferio izquierdo, permitiendo de esta manera complementar cada uno de los mensajes recibidos y ejecutar totalmente las funciones corporales competentes a este órgano. (Patrone, 2016)

2.4. Ondas Cerebrales

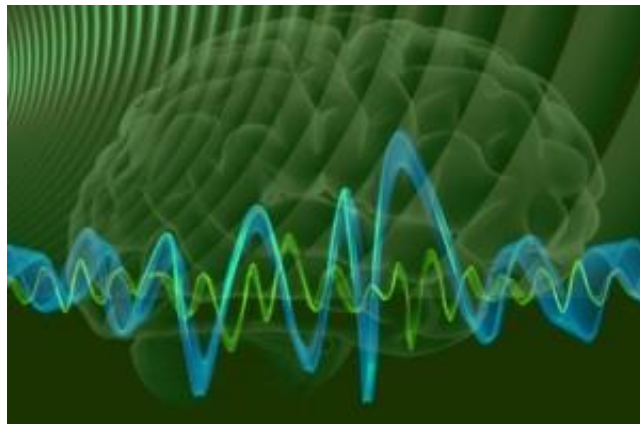


Figura 3-2 Ondas Cerebrales

Fuente: (Sonidosbinaurales, 2016)

El cerebro humano es capaz de procesar 64.000 pensamientos por minuto. El impacto que tiene la meditación sobre nuestro cerebro es algo poco conocido en la comunidad científica. Lo que sí sabemos es que el ser humano, cuando percibe y está consciente, emite un patrón de ondas cerebrales que pueden identificar su estado.

De entre todas las ondas, son las ondas gamma las que más llaman la atención del ser humano debido a que son las más rápidas y las que mayor actividad mental representan (momentos repentinos de lucidez, intuición, brillantez y concentración extrema). Las ondas gamma son un

conjunto de señales eléctricas que emiten nuestras neuronas y tienen una frecuencia aproximada de 40 Hz o pulsos. También pueden realizarse mediciones bajo las mismas condiciones y encontrar a personas situadas en los rangos de 26 Hz a 70 Hz.

Las actividades que más requieren el uso del intelecto, aquellas a las que denominamos cognitivas de alto nivel, se dan cuando se supera el límite de los 24 Hz ya que es en este punto cuando se detectan las ondas gamma. Las ondas gamma también pueden estar presentes en la fase REM del sueño, aunque son propias de la reflexión cognitiva.

De hecho, los últimos estudios realizados, sugieren que la capacidad de resolver problemas se relaciona directamente con el aumento de las frecuencias de 20 Hz a 40 Hz. (Sonidosbinaurales, 2016)

2.4.1. *El misterio de la conciencia humana*

Lo misterioso del ser humano sigue siendo que existe una conciencia plena y unitaria a pesar de que haya diferentes partes del cerebro que trabajan de forma diferente, es decir, que cada región donde se encuentra alojada, por ejemplo un sentido, emite una frecuencia de onda diferente y el cerebro recopila los datos de todo y lo simplifica como una única conciencia o información individual.

La respuesta está en la sincronía neuronal del cerebro. Las descargas neuronales de un proceso cognitivo o intelectual llegan a sincronizan entre sí formando redes transitorias que se integran a los procesos neurológicos del individuo. Estos procesos instituyen un esquema de actividades capaces de variar la etapa sináptico o producir cambios físicos de forma duradera en el tiempo.

Por tal motivo, todo acto cognitivo va a involucrar la coordinación de muchísimas regiones neuronales y está coordinación se pone de manifiesto cuando se sincronizan las neuronas, o sea, cuando sus ondas “suben y bajan” al mismo tiempo y en la misma frecuencia.

Esta sincronía se da en diferentes lugares del cerebro humano y expone la coherencia y la unidad de los procesos mentales, siendo la conciencia humana un hecho que se da entre fases. Por tal motivo en la actualidad, la neurociencia está estudiando aquellos procesos mentales que tengan que ver o estén relacionados con el entrenamiento y ejercicios mentales y las ondas cerebrales.

2.4.2. Tipos de ondas cerebrales

2.4.2.1. Ondas BETA

Se encuentran en un rango de frecuencia de los 13-40 Hz. Son las ondas más rápidas y reflejan nuestra actividad mental cuando nos encontramos con los ojos abiertos y observamos el exterior.

Se manifiestan cuando pensamos y trabajamos con normalidad, si estamos agitados o nerviosos debido a pensamientos, se dice que entramos a estado de “hiperactividad”. Este estado correspondería a lo que comúnmente se llama un beta estado negativo.

Por el contrario, cuando nuestro cerebro trabaja a gran velocidad pero con lucidez, nos encontramos entonces en un beta estado positivo, donde se caracteriza la lucidez mental y los estados de intuición. En fase beta, la mente permanece despierta, en fase de alerta y orientada hacia objetivos determinados.

Para muchas de las actividades que exigen niveles altos de concentración (analizar, organizar información, presentar un examen, juegos mentales, deportes, etc...). Conllevan a que los niveles de las ondas beta suben, ocasionando que la persona puede padecer estrés y ansiedad. (Sonidosbinaurales, 2016)

2.4.2.2. Ondas ALFA

Se encuentran en un rango de frecuencia de los 8-13 Hz. Se originan cuando cerramos los ojos y relajamos nuestra actividad mental. Son ondas más lentas que reflejan un estado de calma y de paz interior del individuo.

Cuando nos encontramos en las ondas alfa, la imaginación puede ejercitarse de forma muy favorable. Es un estado de encuentro con nuestra psiquis, gracias al mismo podemos ponernos en contacto con zonas de nuestro ser interior de las que no teníamos verdadera conciencia y también con informaciones en estado latente.

El cerebro genera este tipo de ondas cuando se encuentra en un estado verdaderamente relajado. En el estado alfa desaparecen los miedos, los temores y las preocupaciones, lo que conlleva a una sensación de paz y bienestar general del organismo.

Se impulsa el subconsciente y surge la creatividad, que ayuda a despedir y encontrar nuevas ideas para resolver problemas que se planteen y llevar al cumplimiento de cualquier proyecto o meta en la vida. (Sonidosbinaurales, 2016)

2.4.2.3. *Ondas THETA*

Se encuentran en un rango de frecuencia de los 4-8 Hz. Estas ondas son lentas asociadas a estados de extrema creatividad. Son generadas al encontrarse en un estado de relajación profunda.

Gracias a estas ondas las soluciones surgen sin esfuerzo aparente, como una iluminación espontánea. Son propias del subconsciente humano y puede trascender más allá del plano físico, ocasionando que la actividad cerebral desciende casi al punto del sueño. Este estado se utiliza para la programar la mente, para la autohipnosis y para la reducción del estrés.

Este tipo de ondas se usa en actividades para modificación de la conducta, así como en procesos de adicciones de ciertas sustancias como el alcohol u otras drogas. Y es que las ondas THETA tienen una pequeña peculiaridad: abren el pasado y nos permite ponernos en contacto con recuerdos que habíamos refutado, o bien, estaban en el fondo de nosotros mismos, recuerdos de emociones fuertes, estados de shock que habían bloqueado ciertas situaciones, etc...

Las ondas theta operan como “sistema de seguridad”, permitiendo así encontrar o no la memoria consciente de emociones y de traumas ya enterrados o que fueron rechazados. En los programas de hipnosis se trata de llegar a este estado y ofrecer la posibilidad de unificar y limpiar estos pequeños fragmentos de memoria propios pero olvidados. Por tal motivo, las ondas theta en metafísica pasan a llamarse estados de conciencia creativa. (Sonidosbinaurales, 2016)

2.4.2.4. *Ondas DELTA*

Se encuentran en un rango de frecuencia de los 0,1-4 Hz. Las ondas Delta son las más largas, lentas y sinuosas de todas. La mayor parte de la población no las llega a utilizar hasta que, una situación específica, nos pone en peligro. Generalmente, se generan durante un sueño profundo, mientras se duerme y también en la meditación avanzada.

Si las ondas Theta simbolizaban un sistema de seguridad, las ondas delta abren el pasaje hacia el subconsciente, a toda la información almacenada durante el transcurso de nuestra vida, acumulada de forma consciente como inconsciente. Si nuestro cerebro llega a sincronizar sincroniza con

ondas de tipo delta, tendríamos la capacidad de acceder a esta información y llevarla a la mente conscientemente para representar y pensar sobre ello, sobre nuestros eventos reales. (Sonidosbinaurales, 2016)

2.4.3. Variación de ondas cerebrales en el ser humano

El cerebro humano constantemente está produciendo múltiples ondas cerebrales en el mismo periodo durante las 24 horas del día. Tus sentimientos, habilidades, pensamientos y aptitudes ejecutadas están íntimamente relacionadas con esa miscelánea de ondas cerebrales que genera tu cerebro. Llegamos a la felicidad y el bienestar cuando las ondas cerebrales están alineadas a la perfección con la actividad que está realizando en un preciso momento.

Diagrama de los patrones de ondas cerebrales presentes en el ser humano:

Ondas cerebrales	Frecuencia	Estado mental
Onda delta	0,5 - 3 Hz	sueño profundo
Onda theta	4 - 7 Hz	sueño ligero
Onda alfa	8 - 13 Hz	despierto, relajado
Onda beta	14 Hz	despierto, excitado

Figura 4-2 Tipo de Ondas Cerebrales

Fuente: (Sonidosbinaurales, 2016)

Lo peores casos se hallan cuando existe una errada combinación de ondas cerebrales que ocasionan confusión, ansiedad, nerviosismo, estrés y conductas negativas que pueden conducir a la persona a un teórico fracaso.

En la sociedad actual que vivimos, el problema reside cuando empieza a predominar la mayor parte del tiempo una sola onda. En este caso, se puede concluir que estamos casi todo el tiempo bajo el patrón de las ondas beta.

La misión es comprender que podemos adquirir otros estados a través de la simultaneidad con otro tipo de ondas, y esto nos llevará a una nueva forma de ver y vivir la vida, así como de adoptar

una serie de nuevos hábitos capaces de superar los contratiempos y adversidades que encontramos.

Por el momento, la meditación constante ha confirmado ser la única solución, ya que la farmacología de hoy en día logra operar a nivel de neurotransmisores pero no permite transformar los tipos de ondas cerebrales. Por tal motivo, los sonidos binaurales y sonidos isocrónicos serían una vía segura para lograr cambiar nuestro patrón de ondas cerebrales. (Sonidosbinaurales, 2016)

2.5. Electroencefalograma (EEG)

El electroencefalograma se define como la interpretación de registros gráficos de la actividad eléctrica generada por las neuronas en el interior del cerebro, obtenidos a través del cráneo por medio de electrodos situados en varios lugares de la superficie del cuero cabelludo.

2.5.1. Historia del EEG

Gracias a la guerra, se tuvo la oportunidad de explorar el cerebro humano por vez primera. En 1870, Fritsch y Hitzig, médicos militares del ejército prusiano, se dieron cuenta que al estimular, mediante corriente galvánica, determinadas zonas laterales de cerebros descubiertos se tenía una reacción que producía movimientos en el lado opuesto del cuerpo. Cinco años después R. Caton reafirmó que el cerebro es capaz de originar corrientes eléctricas. Ferrier, siguiendo en la misma idea, realizó experimentos con la “corriente farádica”. Como consecuencia de todo ello, hacia finales de siglo se obtuvo suficientes pruebas de que el cerebro de los animales poseía propiedades eléctricas semejantes a las encontradas en el nervio y en el músculo. Prawdnicz-Neminski en 1913, registró lo que para él llamó electrocerebrograma de un animal (perro), siendo la primera persona en aspirar clasificar semejantes investigaciones. Hay que especificar, sin embargo, que todas las pruebas se hacían sobre cerebros descubiertos, ya que al ser los cambios eléctricos demasiado pequeños y sin una técnica de amplificación, era improbable registrar los impulsos que llegaran al exterior del cráneo aún después de haber tenido la sospecha de su existencia. Fue en 1928 cuando Hans Berger se ingenió un método que aseguraba una investigación de la actividad eléctrica cerebral, llegando a descubrir lo que se conoció como “ritmo de Berger”. Sin embargo debido a los escasos conocimientos técnicos, fue muy necesario algunos años después cuando se reconoció su gran importancia. Mientras, las ideas de la electroencefalografía clínica se discutían, por una primera vez, en la reunión en el Laboratorio central de Patología del Hospital

Maudsley de Londres, en 1929. A pesar de que el grupo de investigadores intento registrar el “ritmo de Berger” usando amplificadores y un galvanómetro vetusto, no se llegó a tomar en serio el estudio del cerebro ni los hallazgos de Berger. Fue en 1934 cuando gracias a una demostración pública ante un gran auditorio británico en una reunión de la Sociedad de Fisiología, en Cambridge, Adrian y Matthews comprobaron por primera vez el famoso “Ritmo de Berger”. Berger, utilizando las mejoras realizadas por Adrian, siguió por su camino hasta donde le permitía sus técnicas incompletas y defectuosas, prestar mucha atención a actividades por ejemplo que cuando el sujeto abría los ojos o daba solución a algún problema mentalmente cambiaba el ritmo amplio y regular de las ondas cerebrales. Esto fue comprobado posteriormente por Adrian y Matthews quien al haber mejorado sus conocimientos científicos y con mejores técnicas avanzó mucho más, llegando a demostrar que el ritmo 14 regular y amplio de diez ciclos por segundo brotaba de las áreas visuales de asociación y no de todo el cerebro como se creía. Años más tarde se observó la importancia de tal grande descubrimiento. Se logró mucho en este campo, generando un interés, entre los investigadores del EEG, el estudio de la epilepsia y muchas enfermedades mentales, destacando la complejidad del tema y la imposibilidad de aislamiento de funciones simples, siendo muy necesario estudiar al cerebro como un órgano total. (Martín, 2015)

2.5.2. Electrodo EEG

Pequeños discos de metal generalmente hechos de acero inoxidable, estaño, oro o plata cubiertos con una capa de cloruro de plata. Se debe colocar en el cuero cabelludo en posiciones específicas. Estas posiciones están de acuerdo al sistema internacional 10/20. Cada sitio de electrodo está etiquetado con una letra y un número. La letra se refiere al área del cerebro subyacente al electrodo, por ejemplo, F- Lóbulo frontal y T - Lóbulo temporal. Incluso los números indican el lado derecho de la cabeza y los números impares en el lado izquierdo de la cabeza.

2.5.3. Tipos de electrodo EEG

Una de las claves para registrar buenas señales de EEG es el tipo de electrodo utilizados. Electrodo que hacen el mejor contacto con el cuero cabelludo de un sujeto y contienen materiales que las señales EEG más fáciles de realizar proporcionan las mejores grabaciones de EEG. Algunos de los tipos de electrodo disponibles incluyen:

- **Discos Reutilizables.**

Estos electrodos se pueden colocar cerca del cuero cabelludo, incluso en una región con pelo porque son pequeños. Se debe usar una pequeña cantidad de gel conductor bajo cada disco. Los electrodos se mantienen en su lugar mediante una banda elástica lavable.

Discos hechos de estaño, plata y oro están disponibles. Se pueden limpiar con jabón y agua o Cidex. El costo de cada disco y cable depende del tipo de metal utilizado como conductor, el calibre de alambre utilizado como plomo, y el tipo de aislamiento en el cable de plomo. Dado que estos electrodos y cables se pueden usar para años, su gasto es bajo. Por ejemplo, un conjunto de 5 discos de plata / cloruro de plata con cables de plomo recubiertos de silicona.

- **EEG Tapas con discos.**

Diferentes estilos de tapas están disponibles con diferentes números y tipos de electrodos. Algunas tapas están disponibles para su uso con discos y cables reemplazables. Gel se inyecta debajo de cada disco a través de un agujero en la parte posterior del disco. Desde los discos en una región del cuero cabelludo cubierta de pelo no se puede colocar tan cerca del cuero cabelludo como electrodos de disco individuales, se necesita una mayor cantidad de gel conductor inyectado debajo de cada uno. Después de su uso, se necesita más tiempo para limpiar la tapa y sus electrodos, así como el cabello del sujeto. Dependiendo del estilo y la longevidad de la tapa y los electrodos, su gasto puede ser de moderado a alto.

- **Electrodos de Gel Adhesivos.**

Estos son los mismos electrodos desechables de plata / cloruro de plata utilizados para registrar ECG y EMG, y se pueden usar con los mismos conectores rápidos utilizados para grabando esas señales. Estos electrodos son una solución económica para grabando desde regiones del cuero cabelludo sin cabello. No pueden ser colocados cerca del cuero cabelludo en regiones con cabello, ya que la almohadilla adhesiva alrededor del electrodo adhiérase al cabello y no al cuero cabelludo. Cuando se compra a granel, su gasto es muy bajo.

- **Agujas Subdérmicas.**

Estas son agujas esterilizadas de un solo uso que se colocan debajo de la piel. Agujas están disponibles con conductores de cables conectados permanentemente, donde está todo el conjunto desechado, o enchufes que están conectados a cables de plomo con enchufes a juego. Dado que son un artículo estéril de un solo uso, el costo de los electrodos de aguja son de moderados a altos.

Además, sujetos humanos y, en algunas situaciones, los comités reguladores deben aprobar el uso de estos electrodos antes de que sean usados. (Nicolas, 2011)



Figura 5-2 Tipos de Electrodo EEG.
Fuente: OÑATE, Roberto 2017

2.5.4. Sistema Internacional 10-20

En el año de 1958 el neurobiólogo Herbert Jasper dirigió la reunión de Sociedades de Electroencefalografía, gracias a la misma se desarrolló el sistema de localización de electrodos. La colocación de los electrodos debe tener una ubicación definida. El esquema que se sigue se llama sistema internacional 10-20, se basa en el procedimiento para ubicar y medir las posiciones a zonas iguales en el cuero cabelludo, utiliza sitios identificables en el cráneo que sirven como punto de referencia. El sistema toma el nombre de 10-20, porque los electrodos se los ubican espaciados al 10 o 20% de la distancia total entre un determinado par de lugares en el cráneo. El sistema 10-20, está diseñado para dar una cobertura adecuada a la totalidad de la cabeza, con la opción para la colocación de electrodos adicionales, dentro de las normas establecidas, empleando la nomenclatura 10-20.

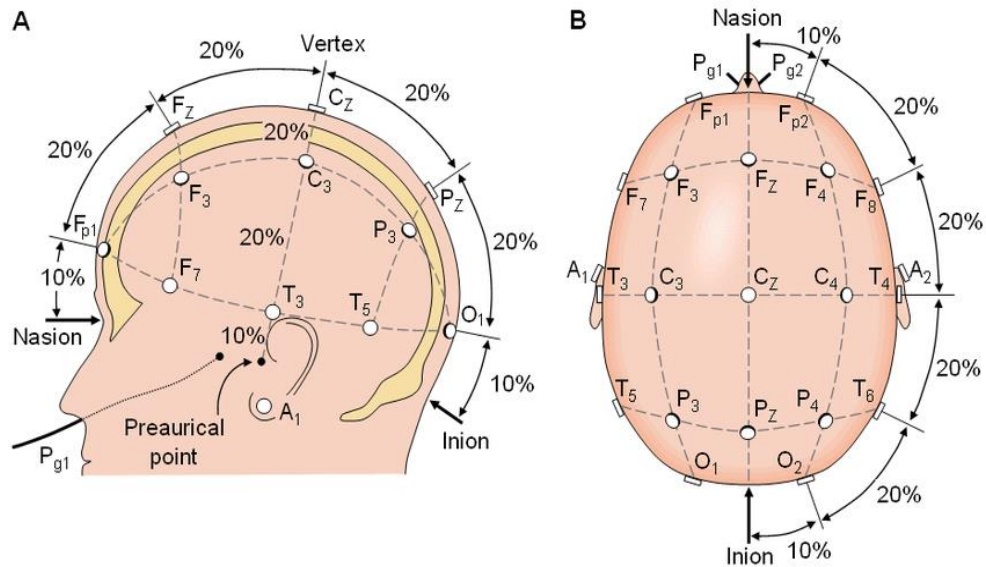


Figura 6-2 Sistema internacional 10-20 de colocación de electrodos

Fuente: (Romo, 2012)

A la cabeza se la divide en seis zonas: frontopolar (Fp), frontal (F), central (C), parietal (P), occipital (O) y temporal (T). A los electrodos situados en el hemisferio izquierdo se les asigna números impares y a los situados en el hemisferio derecho se les asigna números pares. A los que se encuentran en la línea central se les asigna la letra z minúscula. Los electrodos de referencia suelen colocarse en las orejas (A1, A2) como se muestra en la Figura 2-5. (Martín, 2015)

2.5.5. Limitaciones de EEG

EEG tiene varias limitaciones. Lo más importante es su pobre resolución espacial. El EEG es más sensible a un conjunto particular de potenciales postsinápticos: los generados en las capas superficiales de la corteza cerebral, en las crestas de las circunvoluciones que lindan directamente con el cráneo y radialmente hacia el cráneo. Las dendritas, que están más profundas en la corteza, dentro de los surcos, en la línea media o estructuras profundas (como la circunvolución cingulada o el hipocampo) o producen corrientes que son tangenciales al cráneo, tienen una contribución mucho menor a la señal del EEG.

Las meninges, el líquido cefalorraquídeo y el cráneo "difuminan" la señal del EEG, oscureciendo su fuente intracraneal. Es matemáticamente imposible reconstruir una fuente de corriente

intracraneal única para una señal de EEG dada, ya que algunas corrientes producen potenciales que se anulan mutuamente. Conociendo a esto como el problema inverso. Sin embargo, se ha trabajado mucho para producir estimaciones notablemente buenas de, al menos, un dipolo eléctrico localizado que representa las corrientes registradas. (Biomedresearches, 2014)

2.6. Arduino



Figura 7-2 Logotipo de Arduino

Fuente: (Arduino AG, 2017)

Arduino es un escenario de prototipos de código abierto basado en hardware y software muy fácil de usar. Arduino proporciona un código abierto y la herramienta de programación fácil de usar, para la escritura de código y subirlo a su bordo. A menudo se refiere como el Arduino IDE (entorno de desarrollo integrado).

Las placas Arduino tiene la capacidad de leer las entradas como el de la luz, de proximidad o de la calidad del aire en un sensor o un mensaje SMS, y convertirlo en una salida que me permita actividades como la activación de un motor, encender una luz, la publicación de contenidos en línea o desatar acontecimientos externos. Se puede decir que para que todo funcione es necesario escribir código y subirlo al microcontrolador en él utilizando el lenguaje de programación de Arduino (con la ayuda del cable USB), y el software de Arduino (IDE), basadas en el procesamiento.

A través de los años Arduino ha impulsado miles de proyectos. Arduino ha reunido a toda una comunidad donde los principiantes y los expertos de todo el mundo compartir ideas, conocimientos y su experiencia colectiva. Hay miles de creadores, estudiantes, artistas, diseñadores, programadores, investigadores, profesionales y aficionados de todo el mundo que utilizan Arduino para el aprendizaje, la creación de prototipos y producción terminada trabajo profesional.

Arduino surgió en el Instituto de Diseño de Interacción Ivrea como un instrumento fácil para el prototipado rápido, dirigido a estudiantes sin experiencia en electrónica y programación. El principal objetivo de ambos proyectos es hacer que el proceso de trabajar con la tecnología de la electrónica y más fácil. La placa Arduino ha evolucionado para adaptarse a las nuevas necesidades que van desde simples tablas de 8 bits a los productos listos para aplicaciones de IO. Todos los modelos de placas Arduino están basados completamente en código abierto, admitiendo a los beneficiarios crear de forma independiente y, permitiendo, adaptarlos a sus necesidades particulares. El software es de código abierto, y está mejorándose gracias a las contribuciones de los desarrolladores y la comunidad Arduino en todo el mundo. (Arduino AG, 2017)

2.6.1. Ventajas que brinda Arduino

Gracias a su sencilla y fácil experiencia que tiene el usuario, Arduino se ha utilizado en miles de diferentes proyectos y aplicaciones. El software Arduino para los principiantes es muy fácil de utilizar, pero lo adecuadamente flexible para los usuarios avanzados. Se puede ejecutar en computadores con sistema operativo Mac, Windows y Linux. Los docentes y los estudiantes lo utilizan para construir herramientas científicas de bajo costo, para experimentos de química y física, o para iniciar con la programación y la robótica. Los diseñadores y arquitectos lo utilizan para construir prototipos interactivos, músicos y artistas lo utilizan para instalaciones y experimentar con novedosos instrumentos musicales. Los usuarios, por supuesto, lo utilizan para construir muchos de los proyectos expuestos o publicados en la web, por ejemplo. Arduino es un instrumento clave para adquirir nuevos conocimientos. Cualquier persona - niños, aficionados, artistas, programadores - puede comenzar a jugar simplemente siguiendo las instrucciones que encontramos en un kit, o compartir ideas en línea con los demás miembros de la comunidad Arduino.

Arduino minimiza el tedioso proceso de trabajar con microcontroladores, pero ofrece algunas ventajas para los docentes, estudiantes y aficionados interesados sobre otros sistemas:

Asequible – Las placas Arduino son relativamente baratos en comparación con otras plataformas de microcontroladores, la versión menos cara del módulo Arduino puede ser ensamblado a mano, e incluso los módulos pre montados Arduino cuestan menos de \$ 10

Multiplataforma - El software de Arduino (IDE) es compatible para Windows, Macintosh OS X, y Linux. La mayoría de los sistemas para microcontrolador se encuentran limitados a Windows.

Entorno de programación simple y clara - El software de Arduino (IDE) es fácil de usar para los principiantes, pero lo suficientemente flexible para los usuarios avanzados que aprovechan también. Para los profesores, se basa convenientemente en el entorno de programación Processing, herramienta que ayuda a los estudiantes aprenden a programar en ese entorno y puedan estar familiarizados con cómo funciona el IDE de Arduino.

El código abierto y el software extensible - El software de Arduino se publica como herramientas de código abierto, disponible para la extensión por los programadores experimentados. El idioma se puede ampliar a través de bibliotecas de C ++, y la gente que quiere entender los detalles técnicos pueden dar el salto de Arduino para el lenguaje de programación C AVR en la que se basa. Del mismo modo, puede agregar código AVR-C directamente en sus programas de Arduino, si así lo desea.

El código abierto y hardware ampliable - Los planes de las placas Arduino se publican bajo una licencia de Creative Commons, por lo que los diseñadores de circuitos experimentados pueden hacer su propia versión del módulo, ampliándolo y mejorándolo. Incluso los usuarios con poca experiencia pueden construir la versión de tablero del módulo con el fin de entender cómo funciona y ahorrar dinero. (Arduino AG, 2017)

2.7. Módulo Bluetooth HC-05

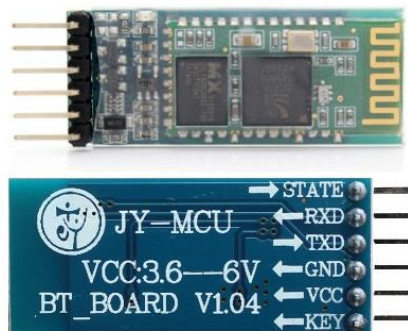


Figura 8-2 Módulo Bluetooth HC-05

Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2016)

El módulo Bluetooth HC-05, es ideal para el desarrollo de todo tipo de proyectos donde se necesite una conexión inalámbrica segura y sencilla de utilizar. Su configuración se la realiza mediante comandos AT y tiene la posibilidad de funcionar tanto en modo maestro como esclavo. Eso quiere decir que puedes conectar dos módulos juntos, conectar un robot al dispositivo móvil

o incluso implementar una pequeña red de sensores comunicados entre sí con un maestro y varios esclavos.

El módulo Bluetooth HC-05 tiene dos maneras de alimentarse con una tensión de entre 3.3 y 6V (normalmente 5V), a diferencia de los pines TX y RX que utilizan niveles de 3,3V motivo por el cual no se puede conectar directamente a placas de 5V. Se recomienda utilizar dos resistencias como divisor de tensión para que el módulo no se queme. En la Figura 2-8 se puede apreciar el esquema de conexión. El módulo dispone de un pulsador para entrar en modo comandos, aunque también lo puedes hacer por software utilizando el pin EN.

Tiene un LED incorporado que indica el estado de la conexión y si está emparejado o no en función de la velocidad del parpadeo. (Naylamp Mechatronics, 2016)

Características:

- Protocolo USB: USB v1.1 / 2.0.
- Frecuencia: banda ISM de 2,4 GHz.
- Modulación: GFSK
- Potencia de transmisión: menos de 4dBm, Clase 2.
- Sensibilidad: Menos de -84dBm en el 0,1% BER.
- Ratio asíncronos: 2.1Mbps (Max) / 160 kbps.
- Síncrono: 1Mbps / 1Mbps.
- Perfiles de la ayuda: puerto serie Bluetooth (maestro y esclavo).
- Fuente de alimentación: + 3.3VDC 50mA. (Soporta de 3.3 a 6V)
- Temperatura de trabajo: -5 ° C a 45 ° C.

2.8. Módulo Micro SD

Es un módulo MicroSD (TF) compatible con tarjetas SD TF (Usualmente utilizados en teléfonos celulares), que es una tarjeta de memoria pequeña fácil de encontrar en el mercado. Este módulo se lo puede utilizar en diferentes aplicaciones tales como registrador de datos, audio, video, gráficos, ayudando así ampliar enormemente la capacidad de almacenamiento de memoria de la placa Arduino. (Torrente, 2013)

Característica

- Soporte para tarjeta micro SD y micro SDHC
- Utiliza comunicación SPI
- Se puede alimentar con 5 V DC y el regulador interno se encarga de reducirlo a 3.3 v DC
- Consumo de 80 mA
- Dimensiones 42x24x12 mm
- Posee 4 agujeros M2 para su fácil instalación

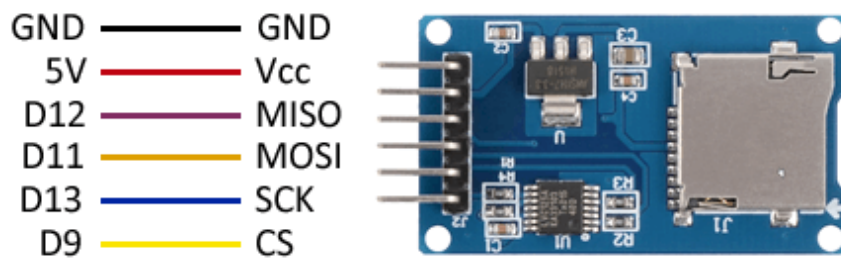


Figura 9-2 Módulo MicroSD

Fuente: (Torrente, 2013)

2.9. Diodo emisor de luz infrarroja

2.9.1. Diodo LED

El diodo es un componente electrónico con dos electrodos, cátodo y ánodo, que tiene la propiedad de ser conductor en el sentido cátodo-ánodo, pero no en el inverso. El LED con sus siglas en inglés (Light-Emitting Diode), es un diodo capaz de emitir luz al ser polarizado en el sentido directo. Genera una luz monocromática, su consumo de energía es bajo y se emplea comúnmente como elemento de señalización en aparatos y circuitos electrónicos.

Para conectar el led se debe siempre respetar su polaridad, de lo contrario no funcionara. La manera más fácil de reconocer el ánodo y el cátodo por la longitud de las patas, siendo la pata más larga la positiva y la corta el negativo.

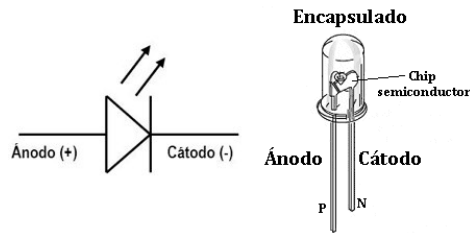


Figura 10-2 Diodo Led
Fuente: (OptimusTronic, 2016)

La pata larga corresponde al ánodo al que siempre se conecta el polo (+) y la pata corta corresponde al cátodo al que siempre se conecta el polo (-). Existen colores de las cápsulas del LED, estos pueden ser: rojo, amarillo o verde y los diámetros más usados son 5 y 3 mm. (OptimusTronic, 2016)

2.9.2. LED de infrarrojos (IRLED)

Los diodos infrarrojos (IR) funcionan convirtiendo la corriente eléctrica en luz infrarroja; mientras que los detectores infrarrojos hacen lo opuesto al detectar luz infrarroja y convertirla en una corriente eléctrica. La corriente generada por un detector infrarrojo es una señal que indica que existe ese tipo de luz. El infrarrojo es una longitud de onda de luz que está más allá del rango de la visión humana. Esto hace al infrarrojo una herramienta excelente para aplicaciones donde se requiere la luz, pero donde la luz visible podría ser una distracción o de otra forma no deseada. El uso de diodos infrarrojos emisores de luz, o LEDs, hace posibles a los sistemas de control remoto ser utilizados en varios proyectos. El IR383 está espectralmente emparejado con fototransistor, fotodiodo y el módulo receptor de infrarrojos. (Ehow, 2017)

Especificaciones

- Corriente directa continua: 100 mA
- Pico corriente continua: 1 A
- Voltaje invertido: 5 V
- Temperatura de operación: -40 °C a 85 °C
- Temperatura de almacenamiento: -40 °C a 85 °C
- Temperatura para soldar: 260°C

- Potencia de disipación: 150 mW
- Longitud de onda: 940 nm
- Voltaje de operación: 1.3 VCD (típico en polarización directa)
- Voltaje de operación máxima: 1.7 VCD
- Consumo: 20 mW
- Sin plomo
- Ángulo: 12°
- Tipo de encapsulado: LED
- Tipo de LED: 5 mm

2.10. Edificios inteligentes y domótica

El origen de la automatización del hogar se remonta en la década de 1970 cuando, después de mucho investigar, los primeros dispositivos de automatización de edificios estaban basados en la tecnología X-10. Durante los años siguientes, la comunidad internacional ha demostrado un interés creciente en la búsqueda ideal de la casa inteligente, a partir de diversas y variadas pruebas con aparatos de avanzada y dispositivos automáticos para el hogar.

En los Estados Unidos se instalaron los primeros sistemas comerciales, y se limita a la regulación de la temperatura de los edificios, de oficinas y poco más. Más tarde, después del boom de PC (Computadora Personal), a finales de los años ochenta y principios de los noventa, el Sistema de Cableado Estructurado (SCE) comenzó a ser incorporado en estos edificios para facilitar la conexión de todos los tipos de terminales y periféricos con los demás utilizando el estándar de cableado y tomas distribuidas por todo el edificio.

Además de los datos, estos sistemas de cableado permite el transporte de la voz y la conexión de algunos dispositivos de control y de seguridad, de modo que estos edificios, en los que había una SCE, fueron llamados edificios inteligentes. Posteriormente, automatizaciones para edificios de oficinas, junto con otros más específicos, se han aplicado también a domicilios privados o en otros tipos de edificios, donde el número de necesidades que hay que cubrir es mucho más amplia, dando lugar a la automatización del hogar. Diccionarios francés incorporado el término domotique desde 1998.

Esta palabra, traducida al castellano por la domótica, proviene de la palabra latina domus (a partir de la cual se ha derivado el domo de raíz que significa casa) y de la palabra francesa Informatique (del que se deriva la palabra informática) o, según otros autores, robotique (Robótica). Este

término de uso común, no ha sido capaz, por el momento, al imponerse en varios países de América Latina; donde todavía se quedó con el término inteligente, sin avanzar hacia la diferenciación entre inmótica y domótica. (Comunidad de Madrid, 2007)



Figura 11-2 Domótica

Fuente: (Comunidad de Madrid, 2007)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Situación Actual

El Instituto Tecnológico Superior Stanford se encuentra ubicado en las calles Espejo 17 – 19 y Colombia de la ciudad de Riobamba, ofrece a la ciudadanía riobambeña y del país las carreras de técnico superior en enfermería y tecnólogo en programación de sistemas. La institución se encuentra acreditada por el CEAACES como el segundo instituto superior a nivel nacional con una eficiencia del 96% de desempeño académico. El instituto cuenta con una población de 310 estudiantes, distribuidos en sus jornadas matutina y vespertina.

Las siguientes políticas institucionales definidas por el Instituto Stanford, se fundamentan en la Declaración de los Derechos Humanos en su artículo 2 establece “Toda persona tiene todos los derechos y libertades proclamados en esta Declaración, sin distinción alguna de raza, color, sexo, idioma, religión, opinión política o de cualquier otra índole, origen nacional o social, posición económica, nacimiento o cualquier otra condición”; el art. 23 literal 3 de la Constitución Política del Ecuador: “...Todas las personas serán consideradas iguales y gozarán de los mismos derechos, libertades y oportunidades, sin discriminación en razón de nacimiento, edad, sexo, etnia, color, origen social, idioma; religión, filiación política, posición económica, orientación sexual; estado de salud, discapacidad, o diferencia de cualquier otra índole” y lo establecido el art. 71 de la LOES: “Principio de igualdad de oportunidades.- El principio de igualdad de oportunidades consiste en garantizar a todos los actores del Sistema de Educación Superior las mismas posibilidades en el acceso, permanencia, movilidad y egreso del sistema, sin discriminación de género, credo, orientación sexual, etnia, cultura, preferencia política, condición socioeconómica o discapacidad”:

Cumpliendo con esta política de inclusión el instituto acoge a 10 personas con capacidades especiales legalmente matriculadas y asistiendo a clases, representando el 3.23% de la población estudiantil.

3.1.1. Laboratorio de Enfermería N° 1

Se encuentra ubicado en el segundo piso del edificio, tiene una área de 60 metros cuadrados con una capacidad para 40 estudiantes de la carrera de enfermería, se encuentra equipado con camillas, fantoma del cuerpo humano, desfibrilador, bomba de infusión, tensiómetro, esqueleto humano, simulador RCP, proyector, Smart tv, y puestos equipados para suplir las necesidades de cada estudiante y sus actividades inherentes al laboratorio.



Figura 1-3 Laboratorio de enfermería N° 1

Fuente: OÑATE, Roberto 2017

3.1.2. Laboratorio de Enfermería N° 2

Se encuentra ubicado en el tercer piso del edificio, tiene una área de 55 metros cuadrados con una capacidad para 30 estudiantes de la carrera de enfermería, se encuentra equipado con camillas, silla de ruedas, brazo inyectable, cama hospitalaria, cuellos ortopédicos, microscopio, tubo refrigerante, muletas, tanque de oxígeno, proyector, Smart tv, y puestos equipados para suplir las necesidades de cada estudiante y sus actividades inherentes al laboratorio.



Figura 2-3 Laboratorio de enfermería N° 2
Fuente: OÑATE, Roberto 2017

3.1.3. Laboratorio de Programación N° 1

Este laboratorio se encuentra en el segundo piso del edificio, tiene un área de 80 m² con una capacidad para 32 estudiantes de las carreras de programación de sistemas y la carrera de enfermería, se encuentra equipado con 16 computadores, proyector, Smart tv, y puestos equipados para suplir las necesidades de cada estudiante y sus actividades inherentes al laboratorio.

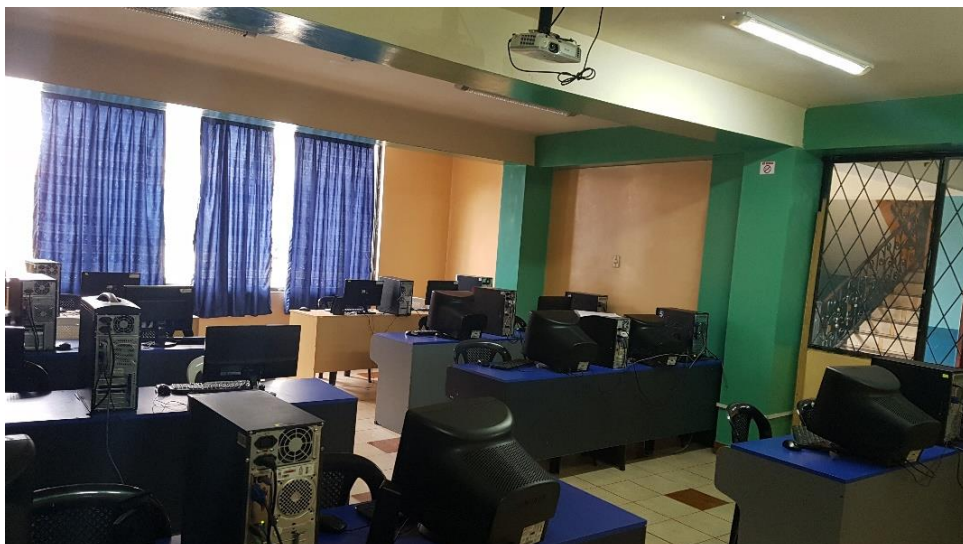


Figura 3-3 Laboratorio de Programación N° 1
Fuente: OÑATE, Roberto 2017

3.1.4. *Laboratorio de Programación N° 2*

Este laboratorio se encuentra en el segundo piso del edificio junto al laboratorio de Programación N° 1, tiene un área de 65 m² con una capacidad para 24 estudiantes de las carreras de programación de sistemas y la carrera de enfermería, se encuentra equipado con 12 computadores, proyector, Smart tv, y puestos equipados para suplir las necesidades de cada estudiante y sus actividades inherentes al laboratorio.



Figura 4-3 Laboratorio de Programación N° 2

Fuente: OÑATE, Roberto 2017

3.1.5. *Estudio actual de dependencia personal*

La población bajo estudio está formada por estudiantes con discapacidad física del Instituto Tecnológico Superior STANFORD de la Ciudad de Riobamba. El criterio empleado a la hora de seleccionar a los estudiantes participantes en el estudio fue el de presentar algún tipo de discapacidad física en mayor o menor grado, todos ellos presentaban algún tipo de discapacidad motora, no presentando ninguno de ellos problemas cognitivos severos. Los estudiantes incluidos en el estudio fueron personas de ambos sexos y mayores de 18 años, la edad media de los sujetos fue de años. La Tabla 1-3 muestra los datos relativos a edad, sexo y discapacidad de los estudiantes participantes.

Tabla 1-3 Datos de usuarios participantes en el estudio

Usuario	Genero	Edad	Porcentaje	Grado
U1	Masculino	28	91 %	Muy Grave
U2	Masculino	22	64 %	Grave
U3	Masculino	21	54 %	Grave
U4	Masculino	20	50 %	Grave
U5	Masculino	20	42 %	Moderado
U6	Masculino	19	30 %	Moderado
U7	Femenino	21	26 %	Moderado
U8	Masculino	23	22 %	Leve
U9	Masculino	19	20 %	Leve
U10	Femenino	19	10 %	Leve

Elaborado por: OÑATE, Roberto 2017

Fuente: (CONADIS, 2016)

Se escogieron cuatro actividades para el estudio de dependencia personal en los estudiantes del Instituto Tecnológico Superior Stanford:

- On/Off de Luminarias
- On/Off de Televisión
- On/Off de Proyector
- Open/Close de Cortinas y persianas

Estas actividades se aplicó a los diez estudiantes en iguales circunstancias y condiciones, los resultados se muestra en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3 Dependencia personal para el cumplimiento de actividades aplicadas a los participantes

Usuario	On/Off Luminarias (seg)	On/Off Televisión (seg)	On/Off Proyector (seg)	Open/Close Cortinas (seg)
U1	1	1	1	1
U2	1	--	--	1
U3	--	1	1	1
U4	1	--	--	1
U5	1	--	--	1
U6	--	--	--	1
U7	--	--	--	1
U8	--	--	--	--
U9	--	--	--	--
U10	--	--	--	--
Total	4	2	2	7

Elaborado por: OÑATE, Roberto 2017

Fuente: Datos tomados en campo

La Tabla 2-3 reflejan los datos recolectados en las cuatro actividades de nuestro estudio, en la misma encontramos representaciones como de 1, este valor hace referencia a que para el cumplimiento de la actividad específica se necesita de 1 persona de apoyo, y los dos guiones (--) representa a que no es necesario de ayuda personal para el cumplimiento de dicha actividad.

En el cumplimiento de las 4 actividades aplicadas a los 10 estudiantes con discapacidad física se pueden observar que para abrir/cerrar las cortinas se necesita un total de 7 personas, on/off de luminarias 3 personas y para on/off del proyector y televisor 2 personas respectivamente, siendo necesario una dependencia personal total de 15 personas.

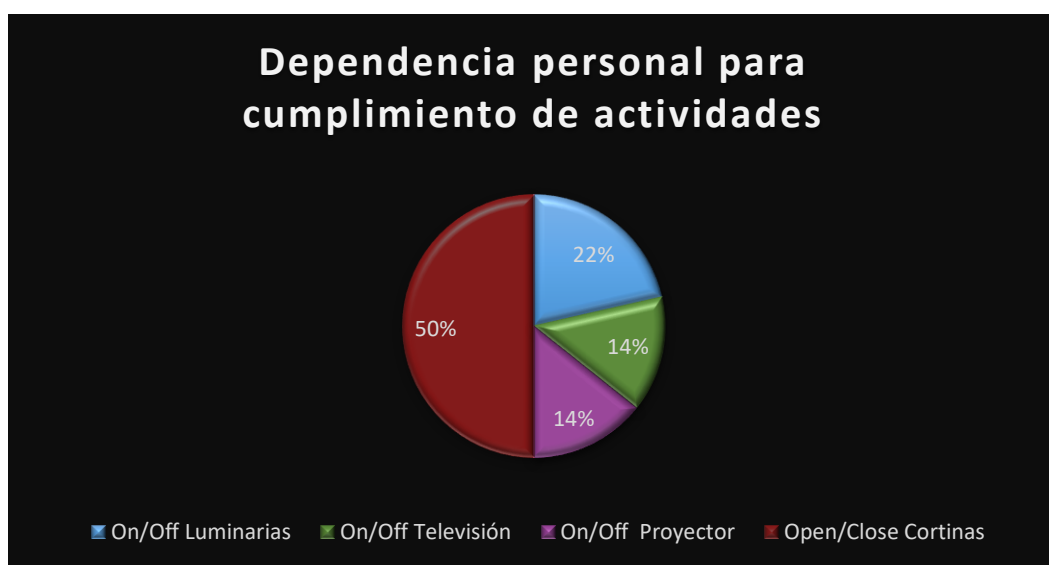


Figura 5-3 Dependencia personal para el cumplimiento de actividades
Fuente: OÑATE, Roberto 2017

La gráfica estadística de la Figura 5-3 muestra claramente con un 50% la necesidad de ayuda o asistencia personal para abrir/cerrar las cortinas, siendo tal vez una actividad muy fácil para una persona con sus facultades físicas completas, y con un 22% necesaria la ayuda para encender/apagar las luminarias; estas dos actividades requieren de mayor dependencia personal ya que las mismas en la actualidad no se encuentran automatizadas, a diferencia de las dos actividades restantes que cuentan con un mando para su control.

3.1.6. Estudio actual de confort en las personas con discapacidad física del instituto

El confort dentro del instituto se logrará incrementando el control de los equipos e instalaciones, este control se aplicará a las luminarias, al encendido y apagado del televisor y proyector, al abrir

y cerrar las persianas, logrando así de esta manera mejorar el confort en los estudiantes con discapacidad física.

Tabla 3-1 Datos en segundos de cuatro actividades aplicadas a los participantes

Usuario	On/Off Luminarias (seg)	On/Off Televisión (seg)	On/Off Proyector (seg)	Open/Close Cortinas (seg)
U1	--	35	40	--
U2	19	13	12	29
U3	17	12	11	25
U4	15	11	10	22
U5	13	10	9	18
U6	11	9	8	15
U7	9	8	8	14
U8	8	6	6	12
U9	7	5	5	10
U10	6	4	5	8

Elaborado por: OÑATE, Roberto 2017

Fuente: Datos tomados en campo

La Tabla 3-3 muestra el resultado obtenido de los diez estudiantes luego de aplicar cuatro actividades cotidianas dentro de los laboratorios de clases sin la asistencia personal, las mismas actividades que para algunos de los participantes tuvo su grado de complejidad y variación en el tiempo necesario para cumplir la misma.

El usuario número uno no pudo completar las actividades de on/off de las luminarias y el open/close de las persianas ya que posee un grado muy considerable de discapacidad física y por encontrarse en una silla de ruedas, factores que intervienen en el cumplimiento de estas actividades.

En el instituto no encontramos una instalación domotizada para el cumplimiento de las actividades seleccionadas, por lo que fue necesario modificar e implementar un sistema domótico en los laboratorios de enfermería y programación para este estudio, toma de muestras y pruebas, asegurar la autonomía y confort en el control de dispositivos los eléctricos

Debido a que el estudiante permanece alrededor de 6 horas diarias en el Instituto, es necesario brindar toda la comodidad y confort, las personas con discapacidad física del instituto dentro de las instalaciones poseen muchas limitaciones al momento de realizar la mayoría de sus actividades, ocasionando molestias e incomodando a las demás personas, todo esto conlleva a no cumplir con uno de los requerimientos de confort que necesitan los estudiantes con una discapacidad física, y que como consecuencia el estudiante opte por retirarse y dar por terminado su fase estudiantil.

3.1.7. Conclusiones sobre el estudio de la situación actual

Respecto a la Tabla 1-3 de los usuarios participantes en el estudio, la edad promedio es de 22 años; el Instituto Superior Stanford acoge a 10 estudiantes con discapacidad física, representando un 4% de la población estudiantil, en grados de discapacidad muy grave, grave, moderada y leve, cada uno de los estudiantes con limitaciones físicas diferentes y únicas que han formado parte de su vivir diaria y cotidiana, que no son un obstáculo o impedimento para poder estudiar, superarse y buscar obtener un título profesional.

Luego de revisar los datos de la Tabla 2-3 y de la Figura 5-3 se llega a la conclusión de que es necesaria la ayuda de una persona para realizar la mayoría de las actividades seleccionadas para el estudio, siendo la actividad de abrir y cerrar las cortinas la que más dificultad tiene y siendo necesaria la dependencia personal en un 50% del total de los estudiantes participantes, en segundo lugar tenemos la actividad de encender y apagar las luminarias con un 22 % y en tercer lugar con un 14% las actividades de encender y apagar el proyector y la televisión. Se pudo observar que para el desarrollo de estas actividades cotidianas y por sencillas que parezcan tienen su grado de dificultad y dependencia personal, necesitando de una asistencia personal en mayor cantidad los participantes con una discapacidad de grado Muy grave y Grave, sin dejar de lado los participantes con los dos grados restantes de discapacidad que también necesitaron de ayuda.

Tomando como referencia la Tabla 3-3 la misma que muestra los resultados en segundos del tiempo necesario para realizar cada una de las actividades escogidas para el estudio sin ningún tipo de ayuda personal, se puede concluir que el tiempo necesario para abrir y cerrar las cortinas es mayor al tiempo necesario para cumplir el restante de las actividades, y al realizar comparaciones del tiempo necesario para el cumplimiento de cada actividad con el tiempo que tardaría una persona sin discapacidad observamos que el tiempo requerido sobrepasa la normalidad en algunos casos, este tiempo depende del grado de discapacidad física de cada participante. Tiempo que posteriormente disminuirá considerablemente con la aplicación del dispositivo MindWare®

3.2. Diseño de Investigación

3.2.1. Pre- estudio

3.2.1.1. Selección del Dispositivo

En cuanto al dispositivo a utilizar para la adquisición de las señales de las ondas cerebrales se realizó un análisis de la tecnología que se encuentra en el mercado local, pero al no tener un resultado positivo se optó por el análisis en el mercado internacional. Encontrando varios dispositivos que realizaban esta función, con variantes como el precio, precisión, compatibilidad y tipo de software necesario para su correcto funcionamiento. La tabla muestra las características de varios dispositivos del mercado.

Tabla 4-3 Características de Dispositivos

Característica	MindWare	Emotiv Insight	Emotiv EPOC
Número de sensores	1	5	14
Velocidad de muestreo	512 Hz	1024 Hz	2048 Hz
Conectividad	Bluetooth® 2.0	Bluetooth® 4.0 LE	Bluetooth® Smart
Rango de Radio Frecuencia	10 metros	100 metros	100 metros
Tiempo de ejecución de la batería	8 horas	4 horas	12 horas
Precio	\$ 100	\$ 300	\$ 800

Elaborado por: OÑATE, Roberto 2017

Fuente: (EMOTIV, 2017)

La elección del dispositivo capaz de leer las ondas cerebrales, con el cual se realizara el sistema BCI, es crucial, ya que basado en las características de este se podría diseñar un sistema más o potente en función a la información recibida del cerebro.

Existen muchos factores que condicionaran la elección del dispositivo. Como factor principal y en el cual nos apoyaremos es el precio como se muestra en la Tabla 4-3, tenemos que destacar que hace aproximadamente una década este tipo de dispositivos eran utilizados exclusivamente para laboratorios y hospitales, ya que la complejidad de esta tecnología eleva el costo y requiere de profesionales experimentados para su utilización

La potencia de este dispositivo no es comparable con la del EPOC, principalmente debido a la cantidad de información que envía el sensor de una única zona cerebral y la que recibe por un

único canal es destacablemente menor. Debemos recalcar aspectos importantes como: es capaz de leer los cuatro ritmos cerebrales más importantes (beta, alfa, theta, delta), incluye los algoritmos eSense para estados de atención/meditación, tiene la capacidad de realizar lecturas de EMG (electromiografías) y la detección del parpadeo, características suficientes para la utilización en la asistencia remota para personas con discapacidad física y para la implementación en control de aparatos eléctricos y electrodomésticos. Por este motivo se ha escogido el MindWare para la implementación de nuestro sistema.

3.2.1.2. Necesidades a cubrir

Basándose en los datos obtenidos del estudio de la situación actual se encontraron las siguientes necesidades de interés:

- Confort
- Comunicación
- Disminuir la dependencia personal

Necesidad	Descripción
Confort	Debido a que el estudiante permanece alrededor de 6 horas diarias en el Instituto, es necesario brindar toda la comodidad y confort. Para lo cual se debe asegurar la autonomía y confort en el control de dispositivos eléctricos y electrodomésticos ubicados para el desarrollo del estudio en los laboratorios del Instituto
Comunicación	Para que el usuario, en este caso el estudiante puede tener control sobre varios dispositivos eléctricos y electrodomésticos es necesario asegurar y mantener una comunicación con el dispositivo MINDWARE® encargado de adquirir las señales cerebrales así como la comunicación entre el dispositivo de mando universal, dando a lugar una comunicación sin ruido o interferencia que pueda alterar la toma

	de señales y por consecuencia el procesamiento así como la emisión de la señal infrarroja.
Disminuir la dependencia personal	Al poseer algún tipo de discapacidad física se hace necesaria la ayuda de una segunda persona para realizar diversas actividades cotidianas, motivo por el cual la aplicación del dispositivo MINDWARE® pretende disminuir la dependencia personal en actividades como encender/apagar las luminarias, tomar el control del televisor, controlar las persianas, entre otras.

3.2.2. Implementación

Para la implementación del dispositivo final, se utilizó el arduino nano con el fin de reducir el tamaño del dispositivo y que sea de fácil acoplamiento a la diadema, sin restar potencia o precisión en el funcionamiento del mismo. En la figura 3-7 se muestra un diagrama del diseño de dispositivo, y más adelante la configuración de cada uno de los elementos que lo conforman.

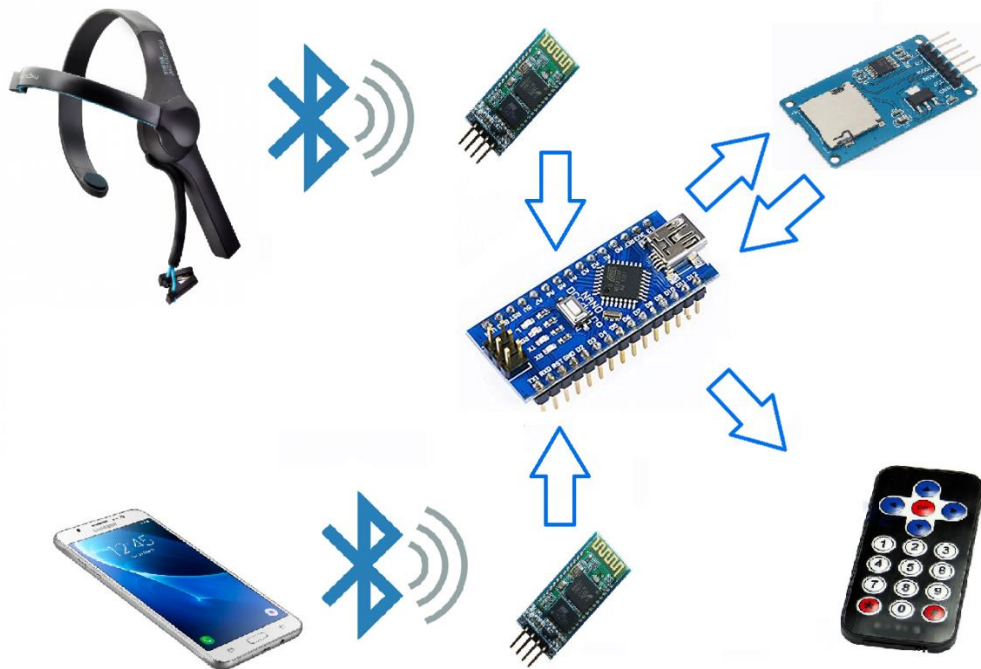


Figura 6-3 Esquema de implementación

Fuente: OÑATE, Roberto 2017

3.2.2.1. Conexión de la diadema MindWare con modulo bluetooth HC-05

3.2.2.1.1. Configuración modulo bluetooth HC-05

Lo primero que realizamos es la configuración de este módulo, para lo cual lo utilizaremos nuestra placa Arduino, es necesario conectar previamente el circuito como en Figura 3-7. Cabe mencionar que este módulo bluetooth soporta los voltajes de entrada de 3.3 y 5V gracias a su regulador de voltaje interno que viene incorporado en dicho modulo. Se puede configurar en modo master o modo esclavo.

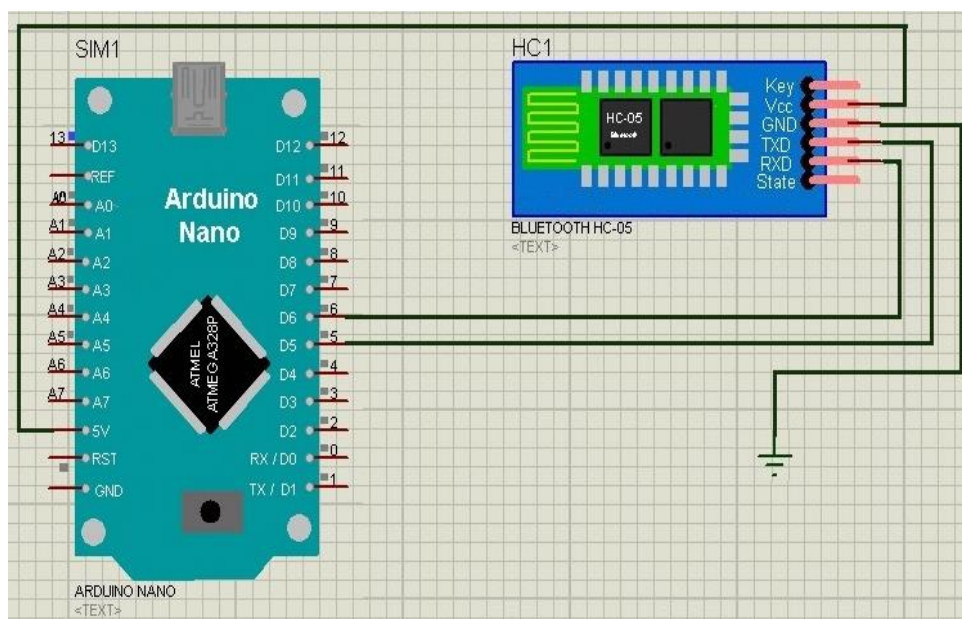
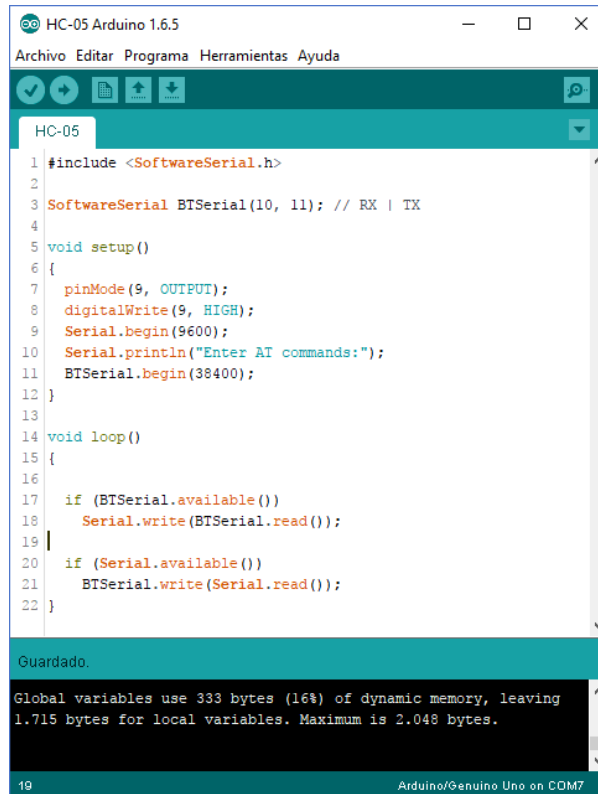


Figura 7-3 Conexión del módulo bluetooth HC-05 con el Arduino Nano

Fuente: OÑATE, Roberto 2017

Una vez armado el circuito indicado en la Figura 3-7, procedemos a cargar y compilar el "Sketch" (Figura 3-8), que nos va a permitir entrar al modo de configuración del módulo HC-05, usualmente conocido como modo de comandos AT, mediante el IDE y la librería software serial de Arduino.



```
1 #include <SoftwareSerial.h>
2
3 SoftwareSerial BTSerial(10, 11); // RX | TX
4
5 void setup()
6 {
7   pinMode(9, OUTPUT);
8   digitalWrite(9, HIGH);
9   Serial.begin(9600);
10  Serial.println("Enter AT commands:");
11  BTSerial.begin(38400);
12 }
13
14 void loop()
15 {
16
17   if (BTSerial.available())
18     Serial.write(BTSerial.read());
19 }
20
21   if (Serial.available())
22     BTSerial.write(Serial.read());
23 }
```

Guardado.

Global variables use 333 bytes (16%) of dynamic memory, leaving 1.715 bytes for local variables. Maximum is 2.048 bytes.

19 Arduino/Genuino Uno on COM7

Figura 8-3 Librería software serial de Arduino

Fuente: ONATE, Roberto 2017

Cuando se tenga cargado con éxito el “Sketch” en el arduino y el circuito armado procedemos a colocar el HC-05 en modo AT (sin apagar o desconectar el Arduino del USB de la PC), para lo cual solo es necesita desconectar el cable de voltaje (VCC) de la placa Arduino por un instante y volverlo a conectar, podremos notar además que el led del bluetooth prenderá y se apagará cada dos segundos aproximadamente indicando que está listo para recibir los comandos AT.

Abrimos el IDE de Arduino /herramientas/monitor serial, modificamos los valores de velocidad a “9600 baud” y a “Ambos NL y CR”, en este momento observaremos en la pantalla que dice: “Enter AT commands:”, seguido enviaremos el comando AT, y debe responder OK. Como se muestra en la Figura 9-3 siguiente:



Figura 9-3 Monitor serial con comando AT

Fuente: OÑATE, Roberto 2017

Realizado los pasos anteriores ahora ya podemos comenzar con la configuración del dispositivo HC-05. Los siguientes son los comandos básicos que utilizaremos para configurar nuestro dispositivo bluetooth:

AT+NAME?	Saber el nombre que tiene el módulo.
AT+NAME= RCOL	Cambiar el nombre.
AT+ROLE?	Saber cómo está configurado esclavo / maestro. Si nos contesta "0" el dispositivo está en modo esclavo. Si nos contesta "1" el dispositivo está en modo maestro.
AT+ROLE=0	Cambiarlo al modo esclavo:
AT+ROLE=1	Cambiarlo al modo maestro:
AT+PSWD?	Saber la contraseña del HC-05.
AT+UART?	Muestra la configuración de velocidad con la placa Arduino.

3.2.2.1.2. Configuración del módulo HC-05 para la conexión a la diadema MindWare”

Lo primero es proceder a configurar el modulo Bluetooth como modo maestro, ya que módulo HC-05 se conectara a la diadema MindWare, entramos al IDE de Arduino con el Sketch, previamente cargado como lo mencionamos anteriormente y a continuación introduciremos los siguientes comandos:

- Procedemos a cambiar la velocidad a la que el modulo opera, originalmente lo teníamos a 9600 y lo cambiamos a 57600 con el comando: AT+UART=57600,0,0
- Configuramos el módulo HC-05 como modo maestro con el comando: AT+ROLE=1
- Debemos cambiar la contraseña para que se puedan conectar, para el caso de la diadema Mindware es necesario que la contraseña sea (0000). AT+PSWD=0000

En la siguiente parte debemos ofrecer mucha atención y tener cuidado para ejecutar los siguientes comandos en el siguiente orden:

Comando: AT+INIT\r\n //Inicializar protocolo de puerto serial (No se puede inicializar repetidamente)

Comando: AT+IAC=9E8B33\r\n //Código de acceso de consulta

Comando: AT+CLASS=0\r\n //Consultar todos los tipos de dispositivos

Comando: AT+INQM=1,9,48\r\n //Modo de consulta: RSSI, MAX NUMBER9, TIMEOUT 48

Comando: AT+INQ\r\n // Pregunta por el dispositivo Bluetooth

Todo debe marcarnos OK. Como se muestra en la Figura 10-3 siguiente:



Figura 10-3 Secuencia de comandos AT

Fuente: OÑATE, Roberto 2017

3.2.2.2. Emparejamiento del módulo bluetooth HC-06 con el celular

Las conexiones necesarias para la configuración del módulo HC-06 serían las que se muestra en la Figura 3-11 siguiente:

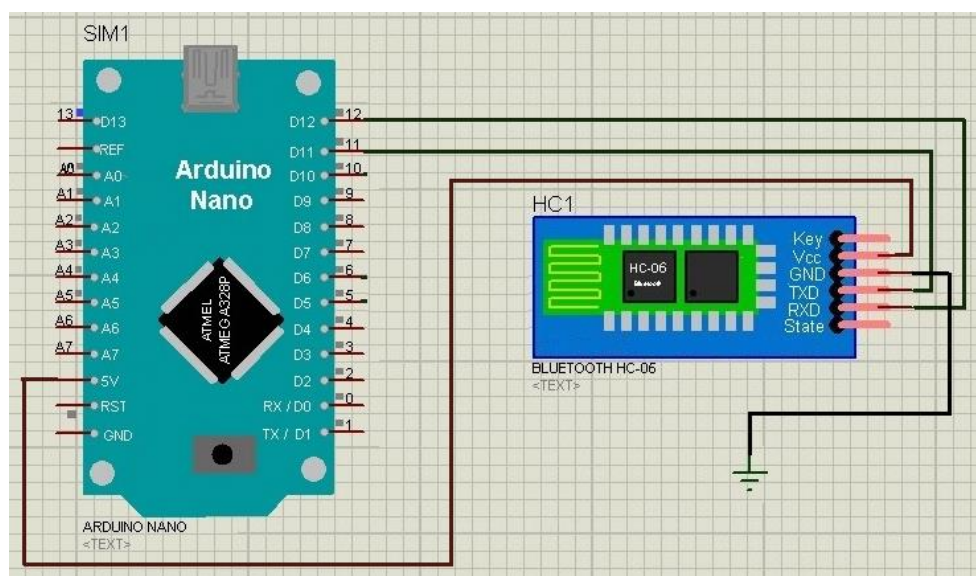
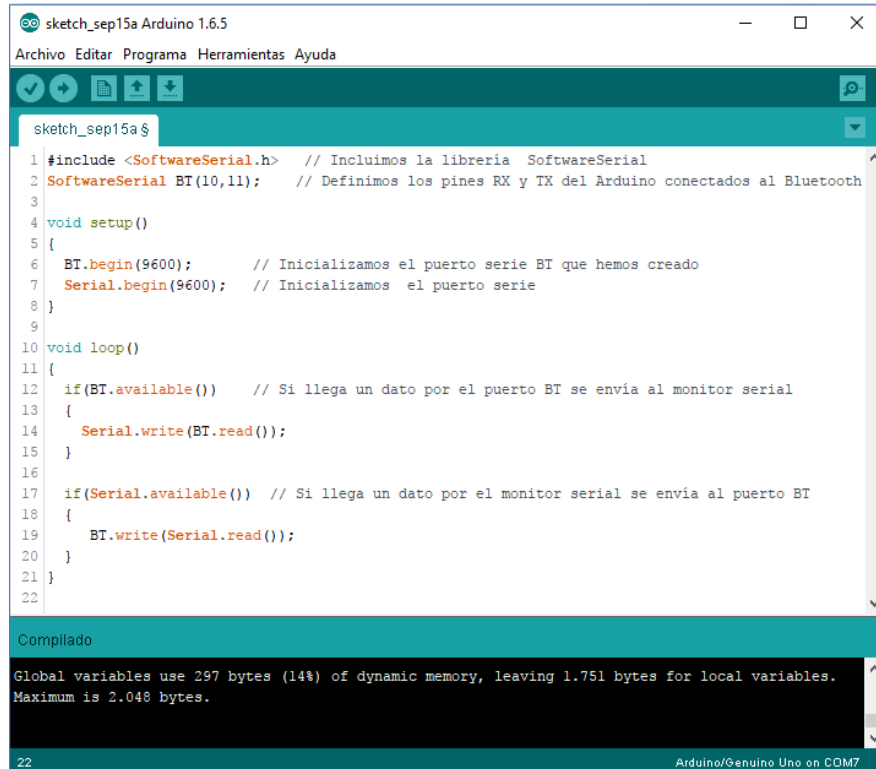


Figura 11-3 Conexión módulo HC-06 con Arduino Nano

Fuente: OÑATE, Roberto 2017

Ahora es necesario cargar y compilar el siguiente sketch que se muestra en la Figura 12-3, que como vemos lee el Monitor Serial de nuestro IDE y se lo envía serialmente hacia los pines RXD y TXD de nuestro módulo HC-06.



```
sketch_sep15a Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

sketch_sep15a $
1 #include <SoftwareSerial.h> // Incluimos la librería SoftwareSerial
2 SoftwareSerial BT(10,11); // Definimos los pines RX y TX del Arduino conectados al Bluetooth
3
4 void setup()
5 {
6   BT.begin(9600); // Inicializamos el puerto serie BT que hemos creado
7   Serial.begin(9600); // Inicializamos el puerto serie
8 }
9
10 void loop()
11 {
12   if(BT.available()) // Si llega un dato por el puerto BT se envía al monitor serial
13   {
14     Serial.write(BT.read());
15   }
16
17   if(Serial.available()) // Si llega un dato por el monitor serial se envía al puerto BT
18   {
19     BT.write(Serial.read());
20   }
21 }
22

Compilado
Global variables use 297 bytes (14%) of dynamic memory, leaving 1.751 bytes for local variables.
Maximum is 2.048 bytes.

22 Arduino/Genuino Uno on COM7
```

Figura 12-3 Sketch a cargar en el Arduino
Fuente: OÑATE, Roberto 2017

Es bueno recordar que para enviar los comandos AT, nuestro HC-06 debe estar en Modo AT esto significa sin conexión bluetooth con otro dispositivo o verificar que LED del HC-06 esté parpadeando.

Una vez hecho las configuraciones y conexión correspondientes, abrimos el Monitor serial del IDE de Arduino, en la parte inferior debemos escoger “No hay fin de línea” y la velocidad “9600 baud” (la velocidad por defecto de nuestro HC-06, si se lo ha cambiado poner la velocidad correspondiente) como se muestra en la Figura 13-3 siguiente:

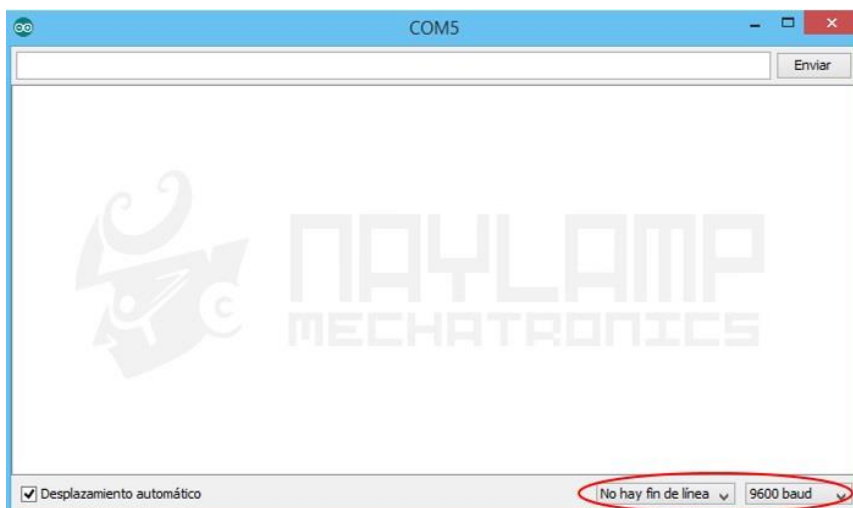


Figura 13-3 Monitor serial del IDE de Arduino
Fuente: OÑATE, Roberto 2017

Realizado todo lo anterior podemos empezar a enviar los comandos AT a nuestro Bluetooth para su configuración.

- **Test de comunicación**

Lo primero es comprobar si nuestro bluetooth responde a los comandos AT

Enviar: AT

Recibe: OK

Si recibimos como respuesta un OK entonces podemos continuar, sino verificar las conexiones y los pasos anteriores.

- **Cambiar nombre y contraseña de nuestro módulo HC-06**

Por defecto nuestro módulo bluetooth se llama "HC-06" el nombre se lo puede cambiar con el siguiente comando AT, el nombre puede ser de hasta 20 caracteres como máximo.

Enviar: AT+NAME<Nombre> En nuestro caso: AT+NAMERCOL

Respuesta: OKsetname

Por defecto viene con el código para la vinculación (Pin) "1234", para cambiarlo hay que enviar el siguiente comando AT

Enviar: AT+PIN<Pin> Ejemplo: AT+PIN1465

Respuesta: OKsetPIN

3.2.2.3. Emisor infrarrojo mediante arduino

Lo primero que debemos hacer es obtener los códigos de cada botón de los diferentes controles remotos que vamos a utilizar para el control de las cortinas, proyector, televisión y luces, para lo cual debemos armar el circuito como se muestra en la figura 14-3.

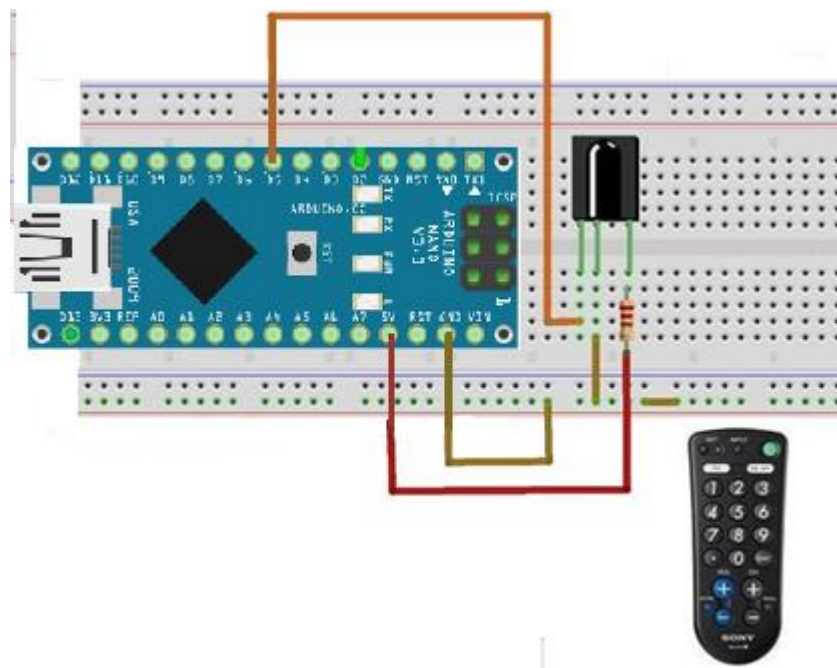
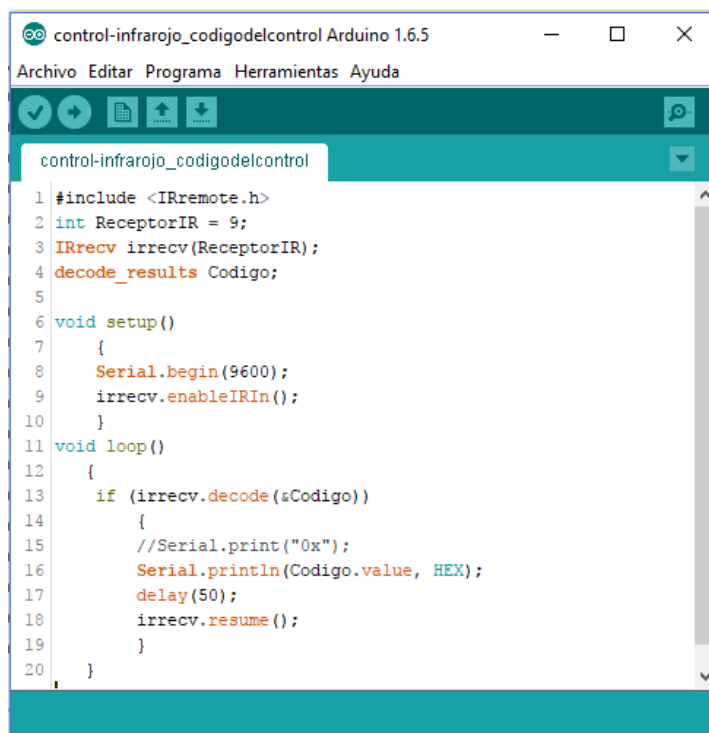


Figura 14-3 Esquema de conexión de infrarrojo con el Arduino
Fuente: OÑATE, Roberto 2017

Debemos descargar la librería IrRemote, cargar en el arduino y esta nos permitirá obtener los códigos de todos los dispositivos electrónicos a utilizar en el proyecto y enviar estos códigos hexadecimales en protocolos Nec, a los diferentes dispositivos electrónicos a controlar dependiendo de los valores obtenidos de las ondas cerebrales gracias a la diadema..



```
control-infrarojo_codigodelcontrol Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
control-infrarojo_codigodelcontrol
1 #include <IRremote.h>
2 int ReceptorIR = 9;
3 IRrecv irrecv(ReceptorIR);
4 decode_results Codigo;
5
6 void setup()
7 {
8   Serial.begin(9600);
9   irrecv.enableIRIn();
10 }
11 void loop()
12 {
13   if (irrecv.decode(&Codigo))
14   {
15     //Serial.print("0x");
16     Serial.println(Codigo.value, HEX);
17     delay(50);
18     irrecv.resume();
19   }
20 }
```

Figura 3-1 Sketch IRremote a cargar en el Arduino

Fuente: OÑATE, Roberto 2017

Una vez armado el circuito y cargado el sketch en el arduino, procedemos a abrir el puerto serial de arduino, apuntamos el control remoto hacia el receptor infrarrojo y presionamos la tecla de la cual deseamos capturar el código, se debe visualizar en el monitor serial el código hexadecimal de la tecla presionada, teniendo que repetir este proceso con todos los controles remotos que activen o desactiven los electrodomésticos o aparatos eléctricos a controlar.

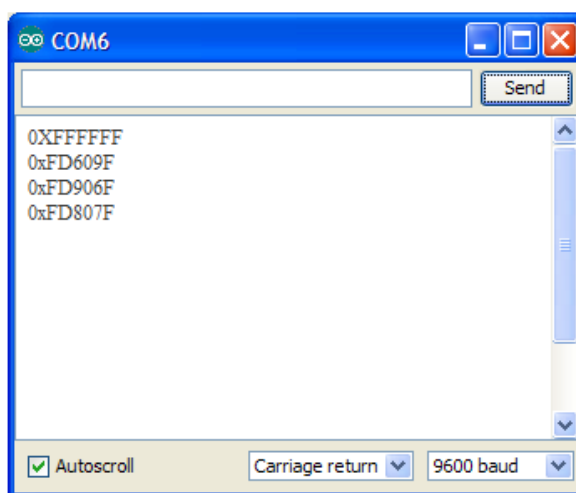


Figura 15-3 Captura de Código

Fuente: OÑATE, Roberto 2017

Los sensores infrarrojos son muy cotidianos en nuestras vidas, los encontramos en muchos de nuestros aparatos electrónicos como televisores, DVD's, proyectores, aires acondicionados y muchísimos más.

Lo óptimo para nuestro proyecto es la recolección y utilización de los códigos hexadecimales que serán utilizados dentro del dispositivo de control remoto universal que será necesario para el control de luminarias, proyector, tv, y cortinas, junto con las señales de las ondas cerebrales que obtendremos con la diadema MindWare®. Es necesario implementar el circuito como el diagrama de la Figura 16-3.

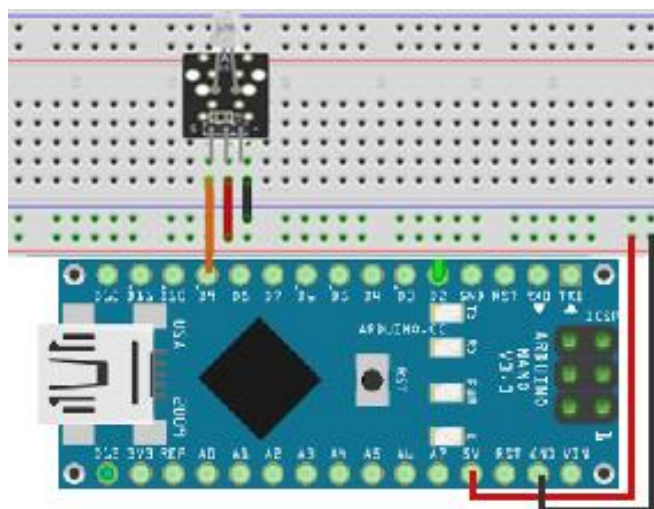


Figura 16-3 Diagrama del circuito led emisor infrarrojo

Fuente: OÑATE, Roberto 2017

En la Tabla se muestra los códigos hexadecimales a utilizar para el control de los dispositivos electrónicos en las cuatro actividades para este estudio.

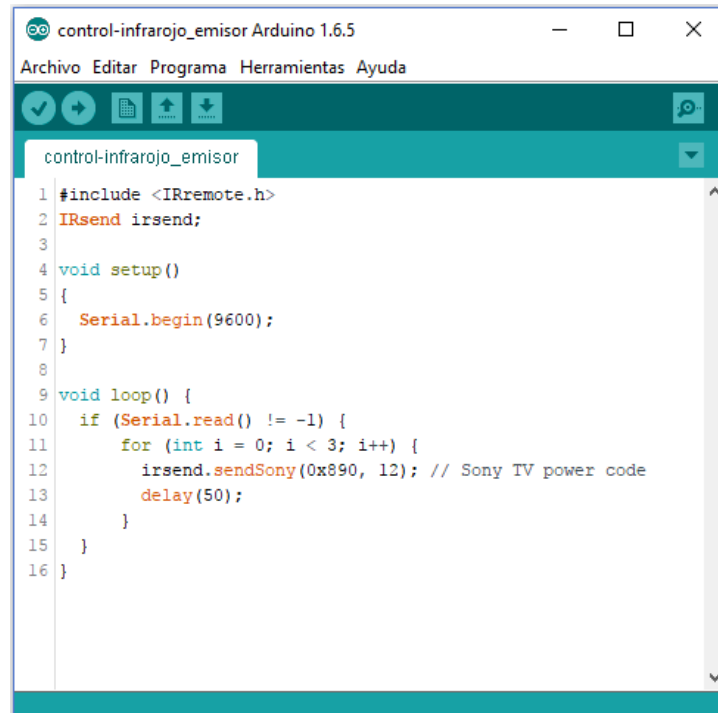
Tabla 3-2 Códigos Hexadecimales

Dispositivo	Código Hexadecimal	Acción
TV Sony	0x890, 12	On/Off
Luminaria	0xFFE01F, 32	On
Luminaria	0xFF609F, 32	Off
Proyector	0x015, 12	On/Off
Cortinas	0xFF629D, 32	Open
Cortinas	0xFFA857, 32	Close

Elaborado por: OÑATE, Roberto 2017

Fuente: Datos tomados en campo

Ahora procedemos a cargar la librería IRremote al arduino, pero tenemos que declarar como emisor al IR preparándolo para enviar mensajes, para nuestro caso tendríamos que enviar los códigos hexadecimales que capturamos de los mandos anteriormente. El código a cargar se muestra en la Figura 17-3.



```
control-infrarojo_emisor Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
control-infrarojo_emisor
1 #include <IRremote.h>
2 IRsend irsend;
3
4 void setup()
5 {
6   Serial.begin(9600);
7 }
8
9 void loop() {
10  if (Serial.read() != -1) {
11    for (int i = 0; i < 3; i++) {
12      irsend.sendSony(0x890, 12); // Sony TV power code
13      delay(50);
14    }
15  }
16 }
```

Figura 17-3 Librería IRremote

Fuente: OÑATE, Roberto 2017

3.2.2.4. Lectura y escritura en una tarjeta microSD con Arduino

Las tarjetas SD y micro SD se han convertido en un estándar, desplazando a otros medios de almacenamiento debido a su gran capacidad de almacenamiento y pequeño tamaño, motivo por el cual han sido incluidas en una gran cantidad de dispositivos, que frecuentemente lo encontramos en computadores, Tablet, smartphones, entre otros.

Las conexiones necesarias para la configuración del módulo micro SD serían las que se muestra en la Figura 18-3 siguiente:

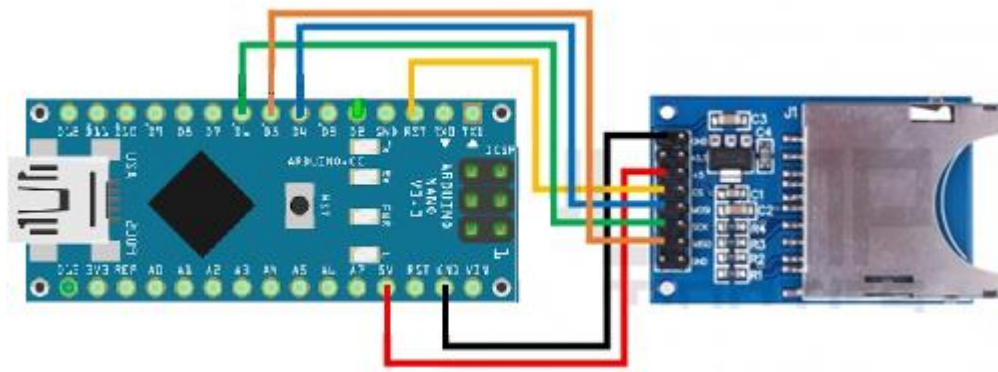


Figura 18-3 Conexiones modulo micro SD al Arduino
 Fuente: OÑATE, Roberto 2017

Una vez armado el circuito indicado, debemos cargar el sketch de la Figura 19-3 al arduino, con el cual podremos recibir los datos de calibración que enviara el celular para almacenarlo en la tarjeta micro SD y tomar como referencia el valor guardado para accionar y enviar los comandos hexadecimales por medio del infrarrojo a los dispositivos electrónicos que deseamos controlar.

En el anexo A encontraremos el código completo de la programación arduino

```

tesis_leer_escribir $
1 #include <SPI.h>
2 #include <SD.h>
3 File myFile;
4 void leer() {
5   myFile = SD.open("test.txt");
6   if (myFile) {
7     while (myFile.available()) {
8       Serial.write(myFile.read());
9     }
10    myFile.close();
11  } else {
12    Serial.println("Error de apertura de test.txt");
13  }
14 }
15 void calibrar(int v1, int v2, int v3) {
16   SD.remove("test.txt");
17   myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);
18   if (myFile) {
19     Serial.print("Escribir en test.txt...");
20     String cadena = "testing ";
21     cadena.concat(v1);
22     cadena.concat(",");
23     cadena.concat(v2);
24     cadena.concat(",");
25     cadena.concat(v3);
26     cadena.concat(".");
27     myFile.println(cadena);
28     myFile.close();
29     Serial.println("Hecho");
30   } else {
31     Serial.println("Error de apertura de test.txt");
32   }
33 }
34 void setup()
35 {
36   Serial.begin(9600);
37   while (!Serial) {
38   }
39   Serial.print("Inicialización de la tarjeta SD...");
40   if (!SD.begin(8)) {
41     Serial.println("Error de Inicialización!");
42     return;
43   }
44   Serial.println("Inicialización realizada.");
45   leer();
46 }
  
```

Compilado

Figura 19-3 Sketch para leer y escribir en el módulo micro SD
 Fuente: OÑATE, Roberto 2017

3.2.2.5. Programación de la aplicación Android

App Inventor es una herramienta de software libre, creada por Google Labs en 2011 con la finalidad de crear aplicaciones para Android. Al poco tiempo su desarrollo pasó al Massachusetts Institute of Technology (MIT)

A través de un navegador web se puede crear una amplia variedad de apps para Android de una forma visual, sencilla y amigable, gracias al conjunto de herramientas básicas que nos ofrece, su programación está basada en un lenguaje visual a partir de java, con bloques de funciones, sentencias y elementos muy comunes en la mayoría de lenguajes de programación. Gracias a esto podemos crear apps Android de una manera rápida y sencilla sin tener un amplio conocimiento de Java.

Para comenzar con la programación de nuestra aplicación necesaria para la calibración de los niveles de atención, relajación y meditación propia de cada usuario, es necesario ir a la página de App Inventor y registrarse de forma gratuita.

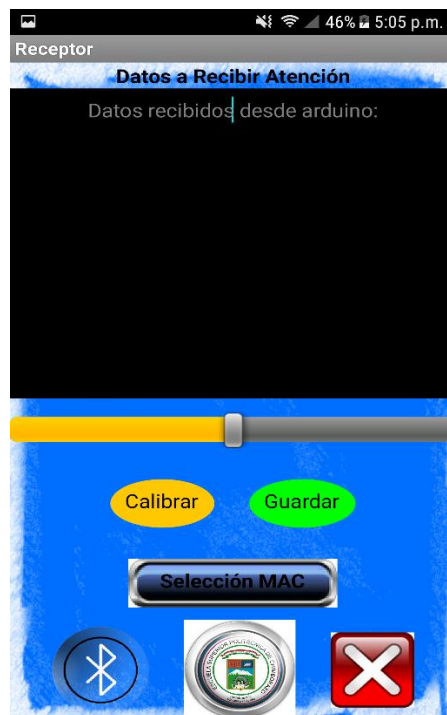


Figura 20-3 App terminada

Fuente: OÑATE, Roberto 2017

La programación de la app para nuestro estudio está dividida por bloques:

- **Emparejamiento y conexión del dispositivo móvil con el bluetooth del Arduino**

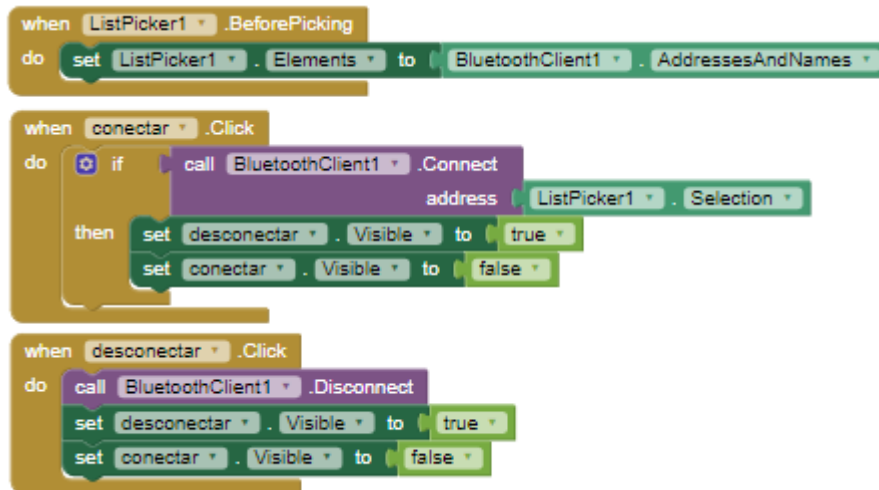


Figura 21-3 Bloque en emparejamiento y conexión

Fuente: OÑATE, Roberto 2017

La Figura 22-3, muestra tres condiciones (When do) que pertenecen a los botones de Selección de MAC, y del icono del bluetooth, que en conjunto permitirán buscar, emparejar y conectar el bluetooth del Arduino con el celular

- **Inicialización de las variables globales**



Figura 22-3 Bloque de enceramiento de variables globales

Fuente: OÑATE, Roberto 2017

Es necesario inicializar las variables globales a utilizarse en la app, como que muestra la Figura 23-3 para que la toma de datos sea la correcta y no tener dificultades en la calibración en los niveles de atención, relajación y meditación.

- **Calibración de los de los niveles de atención, relajación y meditación**

```

when Calibrar .Click
do
  set global contador to 5
  set global contador2 to 0
  if BluetoothClient1 .IsConnected
  then
    set global atencion to TextBox1 .Text
    set global parametro to "x"
    set Clock3 .TimerEnabled to true
    set Clock1 .TimerEnabled to false
    set Clock4 .TimerEnabled to false
    set Clock2 .TimerEnabled to false
    set Clock5 .TimerEnabled to false
  
```

Figura 23-3 Bloque de Calibración
 Fuente: OÑATE, Roberto 2017

Al momento de presionar el botón “Calibrar”, la condición que muestra la Figura 24-3 se encarga de llamar a los set necesarios para la adquisición de los datos que enviara el arduino, datos que posteriormente serán enviados para su almacenamiento

- **Recolección de datos enviados por el bluetooth del Arduino**

```

when Clock3 .Timer
do
  set Label1 .Text to join "Calibrar Atención Inicia en " get global contador
  set global contador to get global contador - 1
  if get global contador == 0
  then
    set Label1 .Text to "Calibrando Atención..."
    set global parametro to "a"
    set global contador2 to 0
    set Clock1 .TimerEnabled to true
    set Clock3 .TimerEnabled to false
    set Clock2 .TimerEnabled to false
  
```

```

when Clock4 .Timer
do
  set Label1 .Text to join "Calibrar Meditación Inicia en " get global contador
  set global contador to get global contador - 1
  if get global contador == 0
  then
    set Label1 .Text to "Calibrando Meditación..."
    set global parametro to "m"
    set global contador2 to 0
    set Clock1 .TimerEnabled to true
    set Clock4 .TimerEnabled to false
    set Clock2 .TimerEnabled to false
  
```

```

when Clock5 .Timer
do
  set Label1 .Text to join "Calibrar Parpadeo Inicia en " get global contador
  set global contador to get global contador - 1
  if get global contador == 0
  then
    set Label1 .Text to "Calibrando Parpadeo..."
    set global parametro to "p"
    set global contador2 to 0
    set Clock1 .TimerEnabled to true
    set Clock5 .TimerEnabled to false
    set Clock2 .TimerEnabled to false
  
```

Figura 24-3 Recolección de Datos
 Fuente: OÑATE, Roberto 2017

En esta parte de la programación de la app los datos son recibidos por un lapso de diez segundos respectivamente para cada uno de los niveles de atención, relajación y meditación, y almacenados en variables para posteriormente ser enviados para su almacenamiento en la tarjeta de memoria.

- **Envío de datos a ser guardados en la memoria Micro SD**

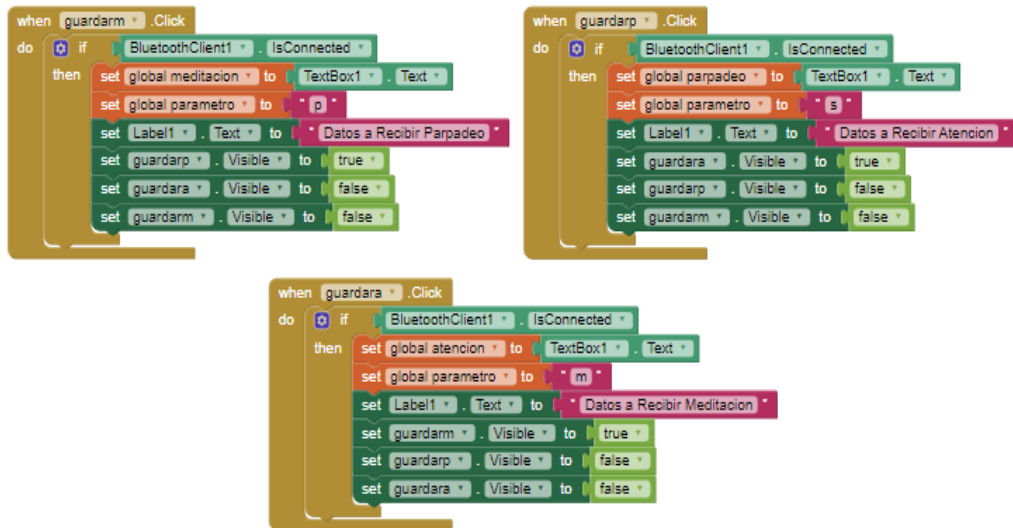


Figura 25-3 Envío de datos a memoria micro SD
Fuente: OÑATE, Roberto 2017

El botón “Guardar” de nuestra app realiza en envió secuencial por medio del bluetooth del celular al bluetooth del arduino para luego ser guardados en la memoria micro SD los datos que fue tomado del ejercicio de calibración del usuario utilizando el dispositivo.

- **Cerrar la Aplicación**

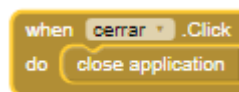


Figura 26-3 When Cerrar
Fuente: OÑATE, Roberto 2017

La condición cerrar permitirá al usuario salir de la app y poder utilizar con normalidad el dispositivo independientemente del uso del celular.

La app para calibrar el dispositivo será necesaria utilizarla una única vez con un usuario porque la misma será almacenada en la tarjeta micro SD, ya que si el dispositivo va a ser utilizado por otra persona necesariamente se deberá realizar el proceso de calibración, permitiendo que el dispositivo pueda funcionar sin ningún problema sin importar si es utilizado por un usuario diferente y con distintos niveles de atención, relajación y meditación.

El diseño de la app es fácil de comprender, aprender y utilizar, atractivo para el usuario y con una interfaz amigable, siendo únicamente necesario para instalarlo en el celular otorgar permisos para software desconocido.

La programación completa de la app realizada en la aplicación de app inventor lo encontraremos en el anexo B

CAPÍTULO IV

4. Resultados y Análisis

Una vez implementado el sistema BCI se procede a su validación, con la finalidad de comprobar que se cumplan los requerimientos a satisfacer, de las personas con discapacidad física del Instituto Stanford

4.1. Pruebas de funcionamiento y entrenamiento a los usuarios

Luego de implementar el sistema y aplicar el dispositivo Mindwaren se realizó las pruebas de funcionamiento y entrenamiento a 10 estudiantes con discapacidad física del Instituto Stanford para lo cual se recogió mediciones de los niveles de concentración y meditación con las siguientes actividades durante 1 minuto

- Fijar la mirada en un punto determinado
- Resolver un ejercicio de matemáticas
- Realizar una lectura en idioma ingles
- Respirar profundamente y relajar los músculos
- Pensar que se está durmiendo



Figura 1-4 Entrenamiento a usuario N° 1
Fuente: OÑATE, Roberto 2017

Todas las pruebas se las realizo en primera instancia en silencio absoluto, posteriormente con el ruido característico del aula de clases y por ultimo con música suave.

Finalizado las pruebas de entrenamiento se puede determinar lo siguiente:

- La mejor forma manera de obtener un buen nivel de atención es fijando la mirada en un punto determinado, esto a su vez es independiente de la edad y género, el ruido se le atribuye como una distracción a la de concentrarse.
- La relajación es más fácil de alcanzar en ambientes con música que en lugares ruido.

La mayoría de los usuarios fueron capaces de controlar el dispositivo con una precisión superior al 70%, dos de ellos llegaron a superar el 85%, estos resultados pueden ser mejorados con la utilización frecuente y de mayor tiempo del dispositivo.

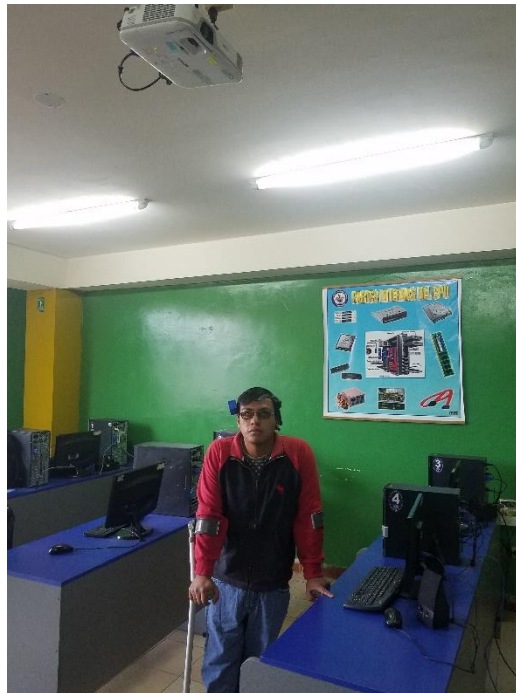


Figura 2-4 Prueba de funcionamiento

Fuente: OÑATE, Roberto 2017

4.2. Comunicación

Para que el usuario, en este caso el estudiante puede tener control sobre varios dispositivos eléctricos y electrodomésticos es necesario asegurar y mantener una comunicación con el dispositivo MINDWARE® encargado de adquirir las señales cerebrales así como la

comunicación entre el dispositivo de mando universal, dando a lugar una comunicación sin ruido o interferencia que pueda alterar la toma de señales y por consecuencia el procesamiento así como la emisión de la señal infrarroja.

Basados en la necesidad de comunicación y considerando aspectos como el alcance, frecuencia, ruido, interferencia y consumo energético del medio de comunicación, se optó por para la conexión del celular al arduino y del arduino a la diadema el bluetooth, aprovechando que trabaja a frecuencia de 2,4-2,48 GHz la misma que no interfieren con la toma de las ondas cerebrales, así como el alcance de 10 metros y la no necesidad de tener una línea de vista entre dispositivos para su conexión.

Las ordenes a los dispositivos a controlar serán enviadas por medio de luz infrarroja, la misma que trabaja a una frecuencia de 38 KHz, frecuencia que no altera en nada la toma de las ondas cerebrales del usuario, y tiene un alcance de 3-5 metros, distancia suficiente al considerar que el área de ubicación no es extensa.

4.3. Confort

Debido a que el estudiante permaneces alrededor de 6 horas diarias en el Instituto, es necesario brindar toda la comodidad y confort. Para lo cual se debe asegurar la autonomía y confort en el control de dispositivos eléctricos y electrodomésticos ubicados como inicio en los laboratorios del Instituto

Tabla 1-4 Datos en segundos de cuatro actividades aplicadas a los participantes

Usuario	On/Off Luminarias (seg)	On/Off Televisión (seg)	On/Off Proyector (seg)	Open/Close Cortinas (seg)
U1	8	10	11	15
U2	7	9	10	13
U3	7	8	9	12
U4	6	9	10	11
U5	7	8	9	11
U6	8	9	8	10
U7	7	8	8	9
U8	7	7	6	10
U9	6	5	5	10
U10	6	4	5	9

Elaborado por: OÑATE, Roberto 2017

Fuente: Datos tomados en campo

Realizando la comparación entre los datos de la Tabla 3-3 y los datos de la Tabla 1-4, se puede observar que existe una reducción del tiempo considerable, llegando inclusive a que el usuario

numero 1 logre dar cumplimiento a las actividades de on/off de luminarias y open/close de cortinas que antes de utilizar el dispositivo no las podía realizar.

Al hablar de confort en el estudiante con discapacidad física que permanece alrededor de 6 horas diarias hablamos de la disminución de tareas dentro del instituto, así como la reducción en el esfuerzo físico necesario para el cumplimiento de una necesidad o requerimiento motivo por el cual es necesario la aplicación del dispositivo Mindware basados en los resultados obtenidos de la Tabla 1-4.

El confort se traduce fácilmente en un incremento de la calidad de vida

4.4. Disminución de la dependencia personal

Una vez terminado el dispositivo se volvió a realizar las cuatro actividades de estudio utilizando el mismo, teniendo como resultados los datos de la Tabla 2-4 siguiente:

Tabla 2-4 Dependencia personal para el cumplimiento de actividades aplicadas a los participantes

Usuario	On/Off Luminarias (seg)	On/Off Televisión (seg)	On/Off Proyector (seg)	Open/Close Cortinas (seg)
U1	0	0	0	0
U2	0	--	--	0
U3	--	0	0	0
U4	0	--	--	0
U5	0	--	--	0
U6	--	--	--	0
U7	--	--	--	0
U8	--	--	--	--
U9	--	--	--	--
U10	--	--	--	--
Total	0	0	0	0

Elaborado por: OÑATE, Roberto 2017

Fuente: Datos tomados en campo

La Tabla 2-4 reflejan los datos recolectados aplicando el dispositivo MindWare, en la misma encontramos representaciones como la de 0, este valor hace referencia a que para el cumplimiento de la actividad específica se necesita de 0 personas de apoyo, y los dos guiones (--) representa a que no es necesario de ayuda personal para el cumplimiento de dicha actividad.

Al comparar y analizar los datos de la Tabla 2-3 y datos de la Tabla 2-4, se puede comprobar que gracias a la aplicación del dispositivo MindWare se logró reducir la dependencia personal en

usuarios con discapacidad física del Instituto Stanford, permitiendo así mejorar su estilo de vida y autonomía en sus actividades dentro del establecimiento.

Luego del entrenamiento con el dispositivo, los logros alcanzados fueron los esperados, permitiendo disminuir la dependencia personal para todas las actividades a cero.

La satisfacción y emoción de cada uno de los participantes fueron muy notoria en sus gestos y sentimientos, llegando al punto de querer permanecer más tiempo con el dispositivo. Los participantes del estudio se reunieron con las autoridades del Instituto para solicitarles un dispositivo personal para toda la población de estudiantes con algún tipo de discapacidad física.

4.5. Prueba de la Hipótesis

4.1.1. Planteamiento de la hipótesis

Hipótesis Nula H_0

H_0 : El sistema BCI no reduce la dependencia personal en usuarios con discapacidad física, permitiendo así mejorar su estilo de vida y autonomía en sus actividades cotidianas.

Hipótesis Alternativa H_1

H_1 : El sistema BCI reduce la dependencia personal en usuarios con discapacidad física, permitiendo así mejorar su estilo de vida y autonomía en sus actividades cotidianas.

4.1.2. Región o criterios de aceptación de la hipótesis

El cálculo estadístico se realizó en base a la prueba de t de Student. El criterio utilizado es a una cola derecha como se muestra en la figura siguiente:

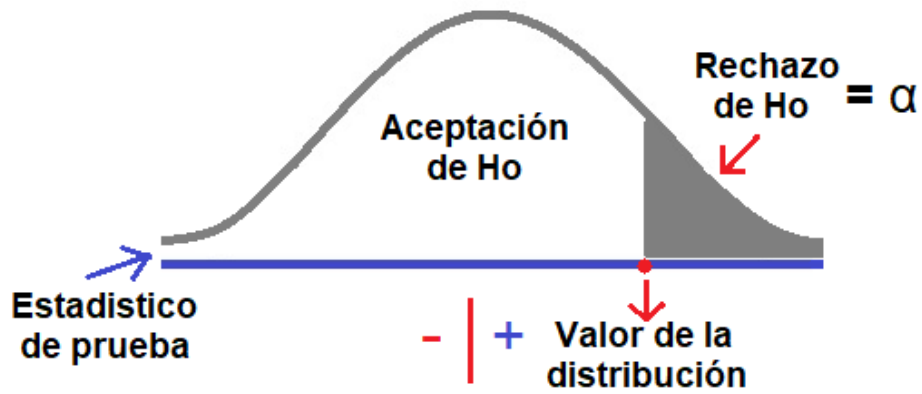


Figura 3-4 Región de rechazo de la hipótesis nula
 Fuente: OÑATE, Roberto 2017

En donde:

α : Significancia del 5%

El valor de nivel de confianza será de 95%

4.1.3. Datos

Para procesar la información de campo recolectada se desarrolló una base de datos en Excel para poder almacenar y organizar los datos correspondientes a los 10 usuarios y a las 4 actividades seleccionadas.

Tabla 3-4 Datos de campo

Cuatro actividades realizadas	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	\bar{X}
Sin el Dispositivo	4	2	3	2	2	1	1	0	0	0	1,50
Con el dispositivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Elaborado por: OÑATE, Roberto 2017

Fuente: Datos tomados en campo

Cálculos:

$$\begin{aligned}
 n_1 &= 10 & n_2 &= 10 \\
 gl &= (n_1 + n_2 - 2) \\
 gl &= (10 + 10 - 2) \\
 gl &= 18
 \end{aligned}$$

Con la ayuda de la tabla de distribución t-studente (ver ANEXO C) seleccionamos el valor crítico correspondiente a los 18 grados de libertad y 5% de significancia.

$$\text{Valor crítico} = 1,734$$

Desviación estándar grupo 1

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$S_1 = \sqrt{\frac{(4 - 1,5)^2 + (2 - 1,5)^2 + (3 - 1,5)^2 + (2 - 1,5)^2 + (2 - 1,5)^2 + (1 - 1,5)^2 + (1 - 1,5)^2 + (0 - 1,5)^2 + (0 - 1,5)^2 + (0 - 1,5)^2}{10 - 1}}$$

$$S_1 = \sqrt{\frac{6,25 + 0,25 + 2,25 + 0,25 + 0,25 + 0,25 + 0,25 + 2,25 + 2,25 + 2,25}{9}}$$

$$S_1 = \sqrt{\frac{16,50}{9}}$$

$$S_1 = 1,354$$

T-student:

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{X_1 X_2} \cdot \sqrt{\frac{2}{n}}}$$

$$S_{X_1 X_2} = \sqrt{\frac{1}{2}(S_1^2 + S_2^2)}$$

$$T = \frac{1,5 - 0}{0,957 \cdot \sqrt{\frac{2}{10}}}$$

$$S_{X_1 X_2} = \sqrt{\frac{1}{2}(1,354^2 + 0)}$$

$$T = 3,503$$

$$S_{X_1 X_2} = 0,957$$

Tabla 4-1 Resultados finales

Dato	Valor
Nivel de significancia (α)	5%
Grados de libertad (gl)	18
Desviación estándar grupo 1 (S_1)	1,354
Desviación estándar grupo 2 (S_2)	0
Valor Crítico	1,734
Desviación estándar combinada	0,957
T calculado (T)	3,503

Elaborado por: OÑATE, Roberto 2017

Fuente: Datos calculados

Criterio de aceptación H_0

Si $T < \text{Valor Crítico}$ \rightarrow Acepta la hipótesis H_0 y se rechaza la hipótesis H_1

Si $T \geq \text{Valor Crítico}$ \rightarrow Se niega la hipótesis H_0 y se acepta la hipótesis H_1

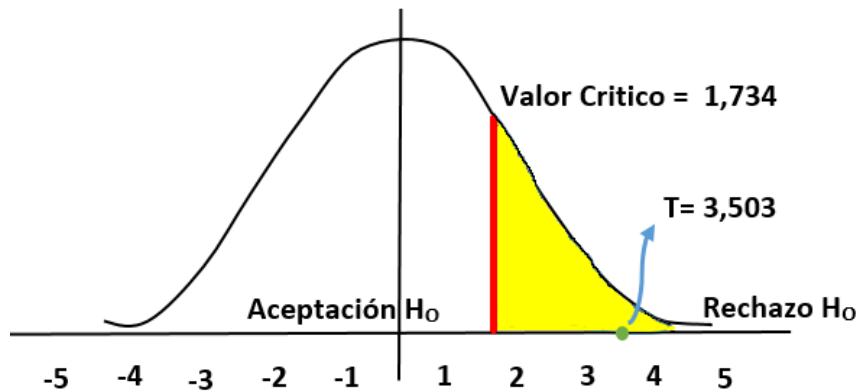


Figura 4-1 Región de rechazo o aceptación de la hipótesis nula
Fuente: OÑATE, Roberto 2017

Entonces: $T \geq \text{Valor Crítico}$

$3,503 \geq 1,734 \rightarrow$ Se niega la hipótesis H_0 y se acepta la hipótesis H_1 por ser un análisis a una cola y es la cola derecha

4.1.4. Resultado

Con un nivel de significancia que equivale al 5% que representa los valores más utilizados en las validaciones de las hipótesis, teniendo en cuenta que el número de datos es igual a 20, los grados de libertad $n_1 + n_2 - 2$ que equivale a 18 grados de libertad se rechaza la hipótesis nula la cual dice “El sistema BCI no reduce la dependencia personal en usuarios con discapacidad física, permitiendo así mejorar su estilo de vida y autonomía en sus actividades cotidianas” por caer en la región de rechazo de la Hipótesis nula por lo tanto aceptamos la hipótesis alternativa H_1 “El sistema BCI reduce la dependencia personal en usuarios con discapacidad física, permitiendo así mejorar su estilo de vida y autonomía en sus actividades cotidianas”.

4.6. Costos de la implementación del sistema.

Para realizar el análisis de la implementación del sistema para la asistencia remota a personas con discapacidad físicas del Instituto Tecnológico Superior Stanford se debe conocer el costo de dispositivos a utilizar, el número de electrodomésticos a controlar y el personal técnico que se encargara de realizar las adaptaciones para el correcto funcionamiento del sistema.

La principal ventaja a la hora de implementar el sistema utilizando los materiales mencionados en el capítulo anterior es la compatibilidad, la economía, el dispositivo MINDWARE® no necesita un hardware y software específico para su interacción con el sistema, es por eso que la característica principal de los dispositivos es la compatibilidad sin importar la marca o el fabricante.

En el país no existe un proveedor del dispositivo MINDWARE® motivo por el cual es necesario importarlo del país de E.E.U.U., a diferencia del resto de elementos y material que son de fácil adquisidor en el país, a continuación se detalla una referencia de precios. Tabla 5-4:

Tabla 5-4 Costo promedio

Dispositivo	Costo \$USD
Mindware®	\$ 110.00
Arduino Nano R3 V3	\$ 10.00
Módulo Bluetooth Hc-05	\$ 9.00
Módulo Bluetooth Hc-06	\$ 9.00
Módulo Emisor Infrarrojo	\$ 4.00
Batería 7.4V - 500mah	\$ 20.00
Módulo Micro SD	\$ 5.00
Recursos Humanos	\$ 200.00
Elementos varios	\$ 10.00
TOTAL	\$ 377.00

Elaborado por: OÑATE, Roberto 2017

Fuente: Datos obtenidos del mercado

El costo de implementación del dispositivo, es un valor muy asequible para cualquier estrato social, la inversión que se realizara brindara soluciones de confort, eficiencia y sobre todo la disminución de la dependencia personal para el usuario en actividades cotidianas.

4.7. Eficiencia de la aplicación del dispositivo

El dispositivo Mindware en funcionamiento con todo el sistema de asistencia, una vez realizadas las pruebas correspondientes se obtuvieron resultados satisfactorios ya que cumple con los requerimientos y necesidades de los estudiantes con discapacidad física del Instituto Stanford.

Los dispositivos del sistema en funcionamiento tienen una autonomía de 10 horas consecutivas antes de que sus baterías necesiten ser recargadas, asegurando así el correcto funcionamiento del mismo.

Al utilizar el dispositivo Mindware y mientras más tiempo se use y se entrena en el manejo de las señales, mejores resultados se obtienen al controlar los aparatos eléctricos - electrónicos, y los intentos fallidos irán disminuyendo rápidamente.

La aplicación para dispositivos móviles Android tiene una interfaz natural, se maneja intuitivamente, de forma similar a la que el usuario está habituado, y por ello no provoca el sentimiento de rechazo e incomodidad al momento de su utilización.

CONCLUSIONES

- Con la aplicación del dispositivo Mindware® para la asistencia remota de encendido/apagado de aparatos y electrodomésticos a personas con discapacidad físicas del Instituto Tecnológico Superior Stanford se logró disminuir la dependencia personal mejorando su estilo de vida, y con la ayuda de la prueba de t-student se pudo demostrar la hipótesis planteada para este estudio
- Con esta aplicación se demuestra que se puede generar control a través de los sistemas BCI y de la actividad dieléctrica de las señales cerebrales para el control de un dispositivo eléctrico o electrónico, tomando en cuenta que los estados mentales varían conforme a la persona y que es necesario primero de un entrenamiento previo y calibración para lograr una exactitud en el sistema.
- Se desarrolló la app para dispositivos móviles Android con una interfaz amigable y fácil de manejar, permitiendo al usuario una rápida y sencilla calibración del dispositivo.
- El costo de la implementación del sistema es accesible para todo estrato social, y de alguna manera mejorar las condiciones de vida deseada por una persona.

RECOMENDACIONES

- Para entender los estados mentales de las personas se recomienda realizar un estudio previo del comportamiento de las señales cerebrales ante situaciones de estrés y de relajación con el fin de entender sus datos como parte fundamental del análisis del sistema
- Para su correcta colocación y normal funcionamiento del dispositivo Mindware se recomienda la ayuda de una persona de apoyo.
- Se recomienda recargar las baterías en un periodo de utilización no mayor a las 9 horas para asegurar su correcto y normal funcionamiento del dispositivo
- A futuro se recomienda aplicar el sistema BCI para el resto de laboratorios e inclusive para las aulas de clase, gracias a que el sistema es escalable para agregar nuevos códigos y así controlar nuevos aparatos y electrodomésticos.
- Se recomienda dotar de este dispositivo a la mayoría o en su totalidad de los estudiantes con algún tipo de discapacidad física del instituto para así incentivar y motivar a las demás entidades de educación para su adquisición y lograr disminuir la dependencia personal en el país.

BIBLIOGRAFÍA

Arduino AG. (2017). Arduino. Obtenido de <http://www.arduino.org/learning/getting-started/what-is-arduino>

Biomedresearches. (5 de Enero de 2014). Middle East Medical Information Center and Directory. Obtenido de <http://www.biomedresearches.com/root/pages/researches/epilepsy/eeg.html>

Comunidad de Madrid. (2007). Comunidad de Madrid. Obtenido de http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=CM_Publicaciones_FA&cid=1142355949828&idConsejeria=1109266187242&idListConsj=1109265444710&idOrganismo=1109266227096&idPagina=1343068184421&language=es&pagename=ComunidadMadrid%2FEstructura&pid=1331802501637&site=Comun

CONADIS. (02 de Febrero de 2016). Consejo Nacional para la igualdad de Discapacidades. Obtenido de http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/estadisticas_discapacidad.pdf

Ehow. (2017). Ehowenespanol. Obtenido de http://www.ehowenespanol.com/funcionandiodos-detectores-infrarrojos-sobre_134099/

Goilav, N. (2016). *Arduino. Aprende a desarrollar para crear objetos inteligentes*. Barcelona: Ediciones ENI.

Martín, J. (2015). *Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/78057/Juan%20Ignacio%20Mart%C3%ADn%20Barraza%20-%20TFG.pdf>

Naylamp Mechatronics. (2016). Naylamp Mechatronics. Obtenido de http://www.naylampmechatronics.com/blog/24_configuracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usa.html

NeuroSky. (2017). NeuroSky. Obtenido de <http://neurosky.com/>

Nicolas, L. (29 de Enero de 2011). Biblioteca Nacional de Mdicina de los Estados Unidos. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3304110/>

OptimusTronic. (2016). Proyectoselectronics. Obtenido de <http://proyectoselectronics.blogspot.com/>

Patrone, D. (2016). Ilustrados. Obtenido de <http://www.ilustrados.com/tema/469/Neurologia-sistema-nervioso.html#CEREBRO>

Romo, A. (01 de Noviembre de 2012). Recibe. Obtenido de <http://recibe.cucei.udg.mx/revista/en/vol1-no1/biomedica01.html>

Schalock RL, K. (1990). *Habilitation planning for adults with disabilities*. New York: Springer-Verlag.

Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013-2017). Buen Vivir Plan Nacional. Obtenido de <http://www.buenvivir.gob.ec/versiones-plan-nacional>

Sidereo, M. (1990). *Ondas Cerebrales*. Barcelona: Bruguera.

Sonidosbinaurales. (2016). Sonidosbinaurales. Obtenido de <http://www.sonidosbinaurales.com/>

Torrente, O. (2013). Arduino. *Curso práctico de formación*. Madrid: Grupo RC.

ANEXOS

ANEXO A: PROGRAMACIÓN COMPLETA DE ARDUINO

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial BT1(4, 5);
#include <IRremote.h>
IRsend irsend;
#define LED 13
#define BAUDRATE 57600
#define DEBUGOUTPUT 0
#define powercontrol 10
int estado = 0;
byte generatedChecksum = 0;
byte checksum = 0;
int payloadLength = 0;
byte payloadData[64] = {0};
byte poorQuality = 0;
byte attention = 0;
byte meditation = 0;
long lastReceivedPacket = 0;
boolean bigPacket = false;

void setup() {
  Serial.begin(BAUDRATE);
  BT1.begin(9600);
}
byte ReadOneByte() {
  int ByteRead;

  while (!Serial.available());
  ByteRead = Serial.read();

  #if DEBUGOUTPUT
    Serial.print((char)ByteRead);
  #endif
  return ByteRead;
}

void loop() {
  if (ReadOneByte() == 170) {
    if (ReadOneByte() == 170) {

      payloadLength = ReadOneByte();
      if (payloadLength > 169)
        return;

      generatedChecksum = 0;
      for (int i = 0; i < payloadLength; i++) {
        payloadData[i] = ReadOneByte();
        generatedChecksum += payloadData[i];
      }
    }
  }
}
```

```

}

checksum = ReadOneByte();
generatedChecksum = 255 - generatedChecksum;

if (checksum == generatedChecksum) {

    poorQuality = 200;
    attention = 0;
    meditation = 0;

    for (int i = 0; i < payloadLength; i++) {
        switch (payloadData[i]) {
            case 2:
                i++;
                poorQuality = payloadData[i];
                bigPacket = true;
                break;
            case 4:
                i++;
                attention = payloadData[i];
                break;
            case 5:
                i++;
                meditation = payloadData[i];
                break;
            case 16:
                static bool state = false;
                digitalWrite(LED, state ? HIGH : LOW);
                state = !state;
                Serial.print(" P ");
                break;
            case 0x80:
                i = i + 3;
                break;
            case 0x83:
                i = i + 25;
                break;
            default:
                break;
        }
    }

    #if !DEBUGOUTPUT
    if (bigPacket) {
        if (poorQuality == 0)
            digitalWrite(LED, HIGH);
        else
            digitalWrite(LED, LOW);
    }
}

```

```

Serial.print("PoorQuality: ");
Serial.print(poorQuality, DEC);
Serial.print(" Attention: ");
Serial.print(attention, DEC);
Serial.print(" Meditation: ");
Serial.print(meditation, DEC);
Serial.print(" Time since last packet: ");
Serial.print(millis() - lastReceivedPacket, DEC);
char comando;
if (BT1.available()) {
  comando = BT1.read();
  Serial.print(comando);
  switch (comando) {
    case 's':
      BT1.println(attention, DEC);
      break;
    case 'm':
      BT1.println(meditation, DEC);
      break;
    case 'p':
      BT1.println(100);
      break;
  }
  delay(500);
}

lastReceivedPacket = millis();
Serial.print("\n");

switch (attention / 10) {
  case 3:
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
      irsend.sendNEC(0xFF629D, 32); // cortinas open
      delay(50);
    }
  case 4:
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
      irsend.sendNEC(0x5F12E8C4, 32); // Sony TV power code
      delay(50);
    }
    break;
  case 5:
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
      irsend.sendNEC(0xFFA857, 32); // cortinas close
      delay(50);
    }
  case 6:
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
      irsend.sendSony(0x890, 12); // Sony TV on/of code
      irsend.sendSony(0x015, 12); // Epson on/of code
    }
}

```

```
        delay(50);
    }
    break;
case 7:
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        irsend.sendNEC(0xFFE01F, 32); // foco on
        delay(50);
    }
    break;
case 8:
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        irsend.sendNEC(0xFF609F, 32); // foco off
        delay(50);
    }
    break;
}
}
#endif
    bigPacket = false;
}
else {
}
}
}
}
```

ANEXO B: PROGRAMACIÓN COMPLETA DE APP INVENTOR

The image displays a complex arrangement of code blocks in the App Inventor visual programming environment. The blocks are organized into several distinct sections:

- Top Left:** A 'when clicked' block for 'BotónInicio' that sets a global variable 'conexion' to 0. Below it, another 'when clicked' block for 'BotónConectar' that checks if 'GlobalConexion' is 0, sets 'GlobalConexion' to 1, and sets 'GlobalParametro' to 'Fección'. It also includes 'set enabled' blocks for 'Clock1' through 'Clock5'.
- Top Middle:** A 'when connected' block for 'GlobalConexion' that sets 'GlobalParametro' to 'Fección' and 'GlobalParametro2' to 'Fección'. It also includes 'set enabled' blocks for 'Clock1' through 'Clock5'.
- Top Right:** A 'when clicked' block for 'BotónDesconectar' that sets 'GlobalConexion' to 0 and 'GlobalParametro' to 'Fección'. It includes 'set enabled' blocks for 'Clock1' through 'Clock5'.
- Middle Left:** A 'when clicked' block for 'BotónMedicacion' that sets 'GlobalParametro' to 'Medicacion' and 'GlobalParametro2' to 'Medicacion'. It includes 'set enabled' blocks for 'Clock1' through 'Clock5'.
- Middle Right:** A 'when clicked' block for 'BotónAlertacion' that sets 'GlobalParametro' to 'Alertacion' and 'GlobalParametro2' to 'Alertacion'. It includes 'set enabled' blocks for 'Clock1' through 'Clock5'.
- Bottom Left:** A 'when clicked' block for 'BotónParacetamol' that sets 'GlobalParametro' to 'Paracetamol' and 'GlobalParametro2' to 'Paracetamol'. It includes 'set enabled' blocks for 'Clock1' through 'Clock5'.
- Bottom Middle:** A 'when screen is initialized' block that calls 'Activity Starter' to start 'StarActivity'. Below it, a 'when clock 1 timer' block that checks if 'GlobalConexion' is 0, sets 'GlobalParametro' to 'Alertacion', and calls 'GlobalParametro2' to 'Alertacion'. It includes a 'set enabled' block for 'Clock1'.
- Bottom Right:** A 'when clock 2 timer' block that checks if 'GlobalParametro' is 'Alertacion', sets 'GlobalParametro2' to 'Alertacion', and calls 'GlobalParametro2' to 'Alertacion'. It includes 'set enabled' blocks for 'Clock1' through 'Clock5'.

The code blocks are color-coded: orange for 'when' events, purple for 'set' operations, green for 'if' conditions, and blue for 'call' or 'set enabled' actions. The blocks are interconnected with arrows indicating the flow of execution.

ANEXO C: TABLA DE LA DISTRIBUCIÓN T-STUDENT

v	0,6	0,75	0,9	0,95	0,975	0,99	0,995	0,9975	0,999	0,9995
1	0,325	1,000	3,078	6,314	12,708	31,821	63,656	127,321	318,289	636,578
2	0,289	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	14,089	22,328	31,600
3	0,277	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,214	12,924
4	0,271	0,741	1,533	2,132	2,778	3,747	4,604	5,598	7,173	8,610
5	0,267	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,894	6,869
6	0,265	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,263	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,262	0,706	1,397	1,860	2,308	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,261	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	3,690	4,297	4,781
10	0,260	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,260	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,259	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,930	4,318
13	0,259	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,258	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,140
15	0,258	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,258	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,252	3,688	4,015
17	0,257	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,257	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,610	3,922
19	0,257	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,257	0,687	1,325	1,725	2,088	2,528	2,845	3,153	3,552	3,850
21	0,257	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819
22	0,256	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505	3,792
23	0,256	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,104	3,485	3,768
24	0,256	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,091	3,467	3,745
25	0,256	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,078	3,450	3,725
26	0,256	0,684	1,315	1,706	2,058	2,479	2,779	3,067	3,435	3,707
27	0,256	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,689
28	0,256	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,047	3,408	3,674
29	0,256	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,038	3,396	3,660
30	0,256	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,030	3,385	3,646
40	0,255	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551
60	0,254	0,679	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	2,915	3,232	3,460
120	0,254	0,677	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	2,860	3,160	3,373
∞	0,253	0,674	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	2,807	3,090	3,290

ANEXO D: PRUEBAS DEL DISPOSITIVO



ANEXO E: DISPOSITIVO MINDWARE

