Control de brazo LEGO con MindWave

Sergio Antonio Jaramillo Burbano, sergiojaramillo0810@gmail.com
Santiago Arango Quintero, santiagoarangoq@gmail.com
Juan Sebastian Diaz Velez, juansebasdiaz1998@hotmail.com

Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnólogo en instrumentación industrial y Mecatrónica Industrial

Director: Julio Fabio De La Cruz Gomez,
Ingeniero Electrónico

Institución Universitaria Antonio José Camacho
Facultad de Ingenierías

Tecnología en Mecatrónica-Instrumentación
Cali - Colombia
2019

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Institución Universitaria Antonio José Camacho para optar al título de Tecnólogo en Mecatrónica y Instrumentacion industrial

_____

Jurado

_____

Jurado

Santiago de Cali, 10 de agosto de 2019

Dedicatoria

El actual trabajo de grado lo dedicamos primordialmente a Dios, por ser el que nos a dado fuerzas en los momentos más difíciles para poder seguir adelante y obtener este título que tanto hemos anhelado.

A nuestros padres, por su compañía, su amor incondicional, sus sacrificios en todos estos años, gracias a ustedes, se formaron estos hombres que somos hoy en dia con unos valores bien planteados y una ética impecable. Ha sido un orgullo y un privilegio el poder ser sus hijos y que nuestro Dios nos haya mandado con unos excelentes padres como ustedes, en nuestra humilde opinión son los mejores padres que se pueden pedir.

Agradecimientos

Con este trabajo de grado finalizamos una de nuestras tantas etapas de la vida que nos espera, iniciamos esta carrera sin saber si íbamos a terminarla ya que a medida que el tiempo fue pasando vimos como nuestros compañeros se fueron quedando, pero gracias a Dios, los que llegamos a este punto es porque hemos dado lo mejor de nosotros.

Después de tres años y medio de estudio, se aprendió que no hay barrera que no podamos superar solo hay que poner toda la determinación para así conseguir cualquier objetivo que se proponga, quiero agradecer también a los ingenieros que estuvieron durante este proceso y resolviendo dudas como el ingeniero Julio Fabio De La Cruz Gómez que fue el asesor de este proyecto y a la ingeniera Ruby Cano que es la decana de programa, también agradezco a todos los profesores por brindar su colaboración y compartir sus conocimientos para este proyecto.

Tabla de contenido

Introducción **Págs.**

1. Control de Sistemas Robóticos por Medio de Actividad Cerebral. 15

1.1. Señales de la actividad cerebral. 15

1.1.1. Tipos de bioseñales

1.1.1.1. Señales EEG 15

1.1.1.2. Señales ECG 16

1.1.1.3. Señales EMG 16

1.1.2. Ondas características de la actividad cerebral 18

1.1.2.1. Señales de actividad delta 18

1.1.2.2. Señales de actividad theta 18

1.1.2.3. Señales de actividad alfa 18

1.1.2.4. Señales de actividad beta 18

1.1.2.5. Señales de actividad gamma 18

1.2. Sistemas de captura de señales de actividad cerebral 19

1.2.1. Médicos 19

1.2.1.1. Sistema EEG 19

1.2.1.2. Sistema BCI 19

1.2.1.3. Sistema NIRS 20

1.2.2. De uso comercial 21

1.2.2.1. Muse 2 21

1.2.2.2. Brainlink edición Lite 21

1.2.2.3. Emotiv Headset 22

1.2.2.4. OpenBCI 23

1.2.2.5. MindWave 23

1.3. Brazo robóticos controlados por señales EEG 24

1.3.1. I3A. Un brazo robótico controlado por el pensamiento 25

1.3.2. Controlan brazo robótico con solo parpadear 26

1.3.3. Prótesis controlada por el cerebro 27

1.3.4. Robot humanoide Baxter 30

2. Elaboración y Construcción del brazo robótico 32

2.1. Descripción general del sistema robótico 32

2.1.1. Partes del sistema 34

2.1.2. Características del sistema 35

2.2. Funcionamiento y operación del sistema robótico 37

2.2.1. Proceso de conexión 38
2.2.2. Operación por parte de usuario 39
2.3. Proceso de armado del brazo robótico 39
2.3.1. Proceso de ensamble 43
2.3.2. Implementación del sistema electrónico 46
2.4. Esquema eléctrico general 46
2.5. Comunicación I2C 47
2.5.1. Descripción de la comunicación I2C 47
2.5.2. Interfaz de comunicación entre lego EV3 y arduino 48
2.5.3. Fabricación del circuito, que sirve como adaptador 49
2.5.4. Configuración I2C en Lego EV3 52

2.6. Descripción electrónica de la diadema MindWave 54
2.6.1. Descripción del circuito interno 55
2.6.2. Comunicación directa por puerto serie 57
2.6.3. Comunicación por Socket 58
3. Programación y Validación del Sistema Robótico 59

3.1. Diagrama de control del sistema 59
3.2. Programa de comunicación Arduino Lego EV3 60
3.3. Programa de bloques de control Lego EV3 61
3.4. Interfaz de usuario en Processing 62

4. Pruebas y Resultados 64

4.1. Pruebas con el software propio de la diadema 64
4.1.1. Descripción de la prueba 64
4.1.2. Resultados de la prueba 64
4.1.3. Observación de la prueba 68
4.2. Pruebas de control de enlaces de programa 68
4.2.1. Descripción de la prueba 68
4.2.2. Resultados de la prueba 68
4.2.3. Observación de la prueba 70
4.3. Pruebas de brazo LEGO con la Mindwave 71
4.3.1. Descripción de la prueba 71
4.3.2. Resultados de la prueba 71
4.3.3. Observación de la prueba 73

5. Conclusiones **74**

6. Bibliografía **76**

Lista de tablas

		Págs.
Tabla 1.	Bloque y descripción	46
Tabla 2.	Funciones pins	49
Tabla 3.	Prueba en persona 1	64
Tabla 4.	Prueba en persona 2	65
Tabla 5.	Prueba en persona 3	67

Lista de figuras

	Págs.
Figura 1 - Hombre conectado con EEG	15
Figura 2 - Hombre conectado ECG	16
Figura 3 - Hombre conectado EMG	17
Figura 4 - Dispositivo de electroencefalograma	21
Figura 5 - Auriculares EEG	22
Figura 6 - Emotiv EPOC + EEG	22
Figura 7 - OpenBCI on Twitter	23
Figura 8 - Diadema mindwave	24
Figura 9 - Brazo robótico que se mueve con la mente	25
Figura 10 - Pruebas con el brazo	26
Figura 11 - Control de un brazo robótico con solo parpadeo	27
Figura 12 - Prótesis controlado por el cerebro	27
Figura 13 - Robot Baxter	30
Figura 14 - Foto representativa	32
Figura 15 - Motor grande	32
Figura 16 - Motor mediano	33
Figura 17 - Sensor de contacto	33
Figura 18 - Sensor de luz	34
Figura 19 - Computador, diadema mindwave, arduino y brazo LEGO	34
Figura 20 - Brazo LEGO EV3	35
Figura 21 - Bloque EV3	35
Figura 22 - Arduino UNO	36
Figura 23 - Diadema mindwave vista frontal	36
Figura 24 - Plaqueta I2C	37
Figura 25 - Del bloque EV3 al PC	38
Figura 26 - Puertos de entrada del bloque EV3	38
Figura 27 - Proceso paso a paso de armado	42

Figura 28 - Ensamble del bloque EV3 43
Figura 29 - I2C y EV3 44
Figura 30 - I2C Y Arduino 45
Figura 31 - Arduino y PC 46
Figura 32 - Diadema mindwave y PC 48
Figura 33 - Esquema eléctrico 50
Figura 34 - Cable RJ12 50
Figura 35 - Puertos de conectores RJ12 51
Figura 36 - Cable RJ12 51
Figura 37 - Esquema del circuito I2C 52
Figura 38 - Prueba del circuito I2C en plaqueta universal 52
Figura 39 - Programa LEGO 53
Figura 40 - Asistente de bloques 53
Figura 41 - Archivo dexter EV3 54
Figura 42 - Selección de fichero 55
Figura 43 - Bloque I2C para LEGO 55
Figura 44 - Descripción de la diadema 56
Figura 45 - Parte interna de la diadema mindwave 57
Figura 46 - TGAM1 58
Figura 47 - Dongle USB RF 59
Figura 48 - Dongle modificada 60
Figura 49 - Diagrama de flujo control del sistema 61
Figura 50 - Diagrama de flujo Arduino LEGO EV3 62
Figura 51 - Diagrama de flujo control LEGO EV3 63
Figura 52 - Librería firmata 64
Figura 53 - Interfaz processing 65
Figura 54 - Prueba parpadeo persona 1 66
Figura 55 - Prueba gráfica 1 66
Figura 56 - Prueba parpadeo persona 2 67

Figura 57 - Prueba gráfica 2 67
Figura 58 - Prueba parpadeo persona 3 67
Figura 59 - Prueba gráfica 3 68
Figura 60 - Resultados enlaces de programa 69
Figura 61 - Resultado enlace Arduino 70
Figura 62 - Resultado Enlace Bloque EV3 71
Figura 63 - Resultado código final 72
Figura 64 - Resultado programación LEGO 73
Figura 65 - Secuencia de movimiento brazo LEGO 73
Figura 66- Secuencia 1 74
Figura 67- Secuencia 2 74
Figura 68- Secuencia 3 75

Resumen

En el presente estudio se realizó la investigación sobre el funcionamiento y la programación del brazo lego ev3, que realiza movimientos simulando los de una persona, arriba-abajo, derecha-izquierda, y una pinza que abre-cierra, controlado por medio de la diadema mindwave, la cual puede leer y detectar las ondas cerebrales a través de diversos estímulos, los cuales utilizaremos, la concentración y la meditación, para tomar los datos e información, comunicarlo con el arduino y así poder enviar el dato al ev3 para poder mover el brazo. Con la finalidad de que este proyecto lo sigan mejorando para poder utilizarlo a nivel de la biomedicina. Sería muy conveniente en un futuro una prótesis que sea controlada por medio de tus estímulos para brindar mayor facilidad y comodidad al paciente, esto le facilita mucho a las personas que necesiten de una prótesis o implantación en una de sus extremidades superiores. También en cuanto al paciente se sentirá mejor con sí mismo, empezaría una nueva vida, y será más aceptados en la sociedad, además de poder realizar varias funciones, o simulaciones de una de sus extremidades como si fuese propia de él.

Palabras clave: Brazo LEGO, Dongle, mindwave, Bloque EV3.

Abstract

In the present study, research was conducted on the operation and programming of the lego ev3 arm, which performs movements simulating those of a person, up-down, right-left, and a clamp that opens-close, controlled by the headband mindwave, which can read and detect brain waves through various stimuli, which we will use, concentration and meditation, to take the data and information, communicate it with the Arduino and thus be able to send the data to ev3 to be able to move the arm. Inorder for this project to continue to improve it in order to use it at the level of biomedicine. In the future it would be very convenient a prosthesis that is controlled by your stimuli to provide greater ease and comfort to the patient, this makes it much easier for people who need a prosthesis or implantation in one of their upper limbs. Also as for the patient will feel

better about himself, he would start a new life, and be more accepted in society, in addition to being able to perform various functions, or simulations of one of his limbs as if it were his own.
Keywords: LEGO arm, Dongle, Mindwave, Block EV3.

Introducción

La presente tesis contiene el diseño y implementación de comunicación con Arduino, mindwave y un brazo lego para la realización de un sistema de mando que a hará funcionar el brazo lego por medio de ondas cerebrales que serán captadas por la diadema mindwave estas señales serán enviadas por medio de códigos hacia el microcontrolador (Arduino) donde hará la comunicación serial con el EV3 a través de él se enviará los códigos de cada onda hacia el brazo lego para así poder darle el movimiento deseado, la acción será diferente dependiendo la onda que capte la mindwave que puede ser Alpha que es relajación, theta es meditación y delta en este estado es el necesario para conseguir un sueño profundo, Beta concentración, dependiendo la onda se va a configurar para que haga un movimiento determinado o una acción ya sea que se mueva hacia la izquierda o derecha o hacia arriba o abajo.

La implementación de un brazo LEGO EV3, capaz de mover objetos de un lugar a otro con diferentes tipos de secuencias, podemos controlar los movimientos a través de una Mindwave obteniendo un comportamiento que promueve el interés por la electrónica, robótica y el desarrollo biomédico, permitiendo a el estudiante tener una mejor visualización, de cómo se puede implementar a futuro este sistema de comunicación cerebral y una interfaz gráfica entre hombre-máquina.

Objetivos

General

- Controlar un brazo LEGO EV3 mediante a la lectura de ondas cerebrales por medio de una MindWave.

Específicos

- Desarrollar un sistema de procesamiento de las señales cerebrales: Delta, Theta, Alpha y Beta.
- Desarrollar un sistema que permita la comunicación entre el brazo robot LEGO EV3 y la tarjeta Arduino.
- Desarrollar una interfaz gráfica que permita la visualización de las ondas cerebrales.

1. Control de Sistemas Robóticos por Medio de Actividad Cerebral.

Este capítulo tiene como marco teórico los tipos de sistemas robóticos por medio de actividad cerebral que se pueden presentar en un brazo robótico.

1.1. Señales de la actividad cerebral.

Una forma en la que el cerebro puede expresar su funcionalidad es mediante la actividad cerebral, actualmente existen varios tipos de señales con las que se pueden medir y visualizar los diferentes tipos de ondas cerebrales. El conocer estas señales nos ayudó a entender una gran parte sobre el funcionamiento de nuestra actividad cerebral.

1.1.1. Tipos de bioseñales

Actualmente se presentan varios tipos de bioseñales que son utilizadas para extraer información sobre el funcionamiento de los diferentes órganos para emitir un diagnóstico. Entre algunas señales tenemos señales ECG, EMG, Y EEG.

1.1.1.1. Señales EEG

El electroencefalograma es una prueba neurofisiológica, que se basa en los mismos principios del electrocardiograma, con la diferencia de que en este caso se registra la actividad eléctrica del cerebro generada por la comunicación de las neuronas entre sí. Unos electrodos captan la actividad eléctrica que es amplificada y trasladada a una gráfica que luego es interpretada por el médico.

El electroencefalograma es una prueba diagnóstica que se puede realizar en situación normal, sometiendo al paciente a diferentes estímulos (hiperventilación y fotoestimulación) o durante el sueño. En este último caso formando parte de una estudio del sueño conocido como polisomnografía. **[Señales EEG 0810]**

Figura 1. Hombre conectado con EEG.

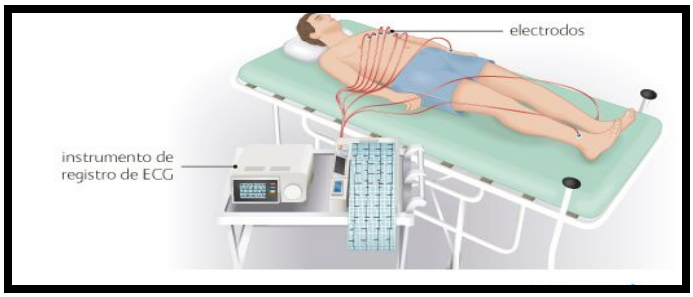
Tomado de: https://sp.depositphotos.com/78405692/stock-video-man-wired-to-an-eeg.html

1.1.1.2. Señales ECG

El ECG es un examen simple para registrar información sobre los latidos y el ritmo del corazón. El ECG mide las señales eléctricas que hacen latir al corazón. Durante el examen, se conectan cables a los brazos, las piernas y el pecho para captar las señales eléctricas. Estas señales pueden visualizarse en una pantalla.

Para el procedimiento se colocan sobre la piel pequeños discos de metal denominados «electrodos». Los electrodos se utilizan para captar los impulsos eléctricos del corazón. Los impulsos se registran, proporcionándoles a los médicos una representación gráfica de la actividad eléctrica del corazón.**[Señales ECG 0810]**

Figura 2. Hombre conectado con ECG.



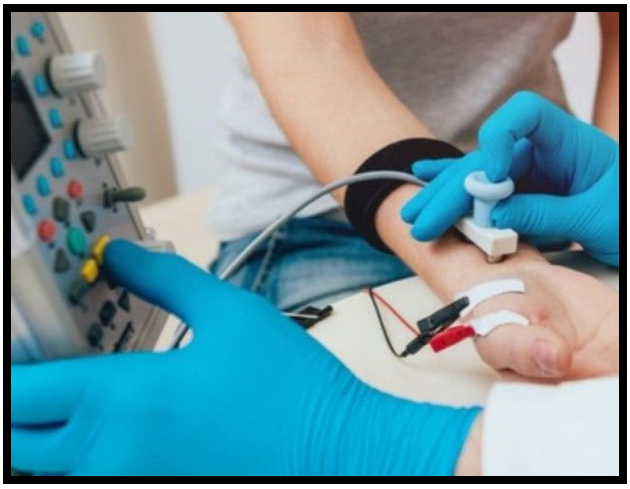
Tomado de:https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSwzMw4wk0XsUgv8xSD3_mAbstl-WtJGpaGxTb2T2G3qE9XcTnlZw

1.1.1.3. Señales EMG

La electromiografía (EMG) es un procedimiento de diagnóstico que se utiliza para evaluar la salud de los músculos y las células nerviosas que los controlan (neuronas motoras). Los resultados de la electromiografía pueden revelar una disfunción nerviosa, una disfunción muscular o problemas con la transmisión de señales de nervios a músculos.

Durante esta práctica lo que se realiza es que se introduce un electrodo bipolar concéntrico de aguja directamente en el músculo a examinar para registrar la actividad nerviosa de este. La actividad eléctrica registrada por el electrodo se muestra en la pantalla de un ordenador o electromiógrafo y se puede escuchar a través de un altavoz. Después de colocar el electrodo, se le pide al paciente que mantenga el músculo relajado en situación de reposo durante un periodo de tiempo y posteriormente que lo contraiga. **[Señales EMG 0810]**

Figura 3. Hombre conectado con EMG



Tomado de:https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQJdtP9pZW6S_mJJD_LeBmJP_52a7reS4vWrEdA1qWo8gDVLEk2FQ

1.1.2. Ondas características de la actividad cerebral

Nuestro cerebro produce impulsos eléctricos (potenciales de acción) que viajan a través de nuestras neuronas. Estos impulsos eléctricos producen ritmos que son conocidos como ondas cerebrales. Los impulsos eléctricos son información que viaja de neurona a neurona haciendo uso de cientos de miles de ellas para lograr transportarse y ejecutar una función determinada. La actividad de las ondas cerebrales pueden ser observadas en un electroencefalograma.

Existen cinco tipos ondas cerebrales que se pueden obtener a través de un electroencefalograma que son alfa, beta, theta, delta, y gamma.**[Características 0810]**

1.1.2.1. Señales de actividad delta

Estas ondas van de 0,5 a 4 Hz. Son las ondas más lentas y están presentes mientras una persona duerme.

1.1.2.2. Señales de actividad theta

Fluctúa entre 4 y 7,5 Hz, están vinculados a la ineficiencia y el soñar despierto. Además suelen relacionarse con el acceso a material inconsciente del cerebro y estados de profunda meditación.

1.1.2.3. Señales de actividad alfa

Oscilan de 8 a 13 Hz, son más lentas y asociadas con la relajación y desconexión. Pensar en algo pacífico con los ojos cerrados da un aumento de la actividad alfa.

1.1.2.4. Señales de actividad beta

Están en la gama de frecuencias de entre 14 y 26 Hz, pero a menudo se las divide en beta bajo y beta alto para conseguir un análisis más específico. Las ondas son pequeñas y rápidas, asociadas con la concentración enfocada.

1.1.2.5. Señales de actividad gamma

Estas ondas están en el rango de frecuencias mayores a 30 Hz. Su amplitud es muy pequeña, y su ocurrencia es rara, por lo que se las relaciona con ciertas enfermedades del cerebro. **[Tipos de señales 0810]**

1.2. Sistemas de captura de señales de actividad cerebral

En la actualidad, existen varios tipos de sistemas que captan la actividad cerebral, pero debido a su compleja instalación y alto costo los más utilizados son EEG Y BCI. **[Captura de señales 0810]**

1.2.1. Médicos

En la medicina estos sistemas son muy útiles ya que nos permiten saber el estado de las funciones de los seres humanos, lo cual ayuda a la medicina para poder detectar fallas en los sistemas nerviosos.

1.2.1.1. Sistema EEG

El EEG se basa en las corrientes iónicas que tienen lugar en la corteza cerebral y que pueden ser registradas mediante la colocación de unos electrodos sobre el cuero cabelludo. Es una de las técnicas de captación de señal cerebral más antigua (1924) y más estudiada. El objetivo es captar los potenciales eléctricos generados por la actividad bioeléctrica del cerebro. Es un método nada invasivo, ya que no supone ningún riesgo para el paciente. Por otro lado, la señal que ofrece esta técnica está alterada por una serie de factores como el ruido eléctrico o los artefactos, uno de los factores a tener en cuenta es la atenuación debida a la resistividad del cuero cabelludo, del cráneo y del cerebro, lo cual afecta sensiblemente a la calidad de la señal.

1.2.1.2. Sistema BCI

Una Interfaz Cerebro - Computador, o BCI (Brain - Computer Interface) es un sistema que mide la actividad cerebral y la procesa para extraer las características de interés para realizar alguna tarea como el control de un dispositivo y así interaccionar con el entorno. Los sistemas BCI se pueden clasificar en dos grupos según la naturaleza de la señal de entrada: sistemas BCI endógenos y exógenos.**[Sistema BCI 0810]**

- **Endógenas:** Son aquellas que no requieren ningún tipo de estimulación externa, de manera que dependen de la capacidad del usuario para controlar su actividad cerebral. Por

ello, requiere de un entrenamiento previo por parte del mismo. Los BCI endógenos se basan en los potenciales corticales lentos y los ritmos sensoriomotores. Los potenciales corticales lentos (SCP) son variaciones de voltaje (entre 0.5 y 10 segundos) que se producen a bajas frecuencias. Para controlar este tipo de señal el entrenamiento por parte del usuario debe ser de 1 a 5 meses. Los BCI basados en los ritmos sensoriomotores se basa en las variaciones de la señal cuando se realiza un movimiento o incluso cuando se imagina el propio movimiento. Esto produce que disminuya la amplitud en los ritmos μ (de 8 a 12 Hz) y β (de 16 a 24Hz).

- **Exógenas**: En este tipo de sistemas, la señal electrofísica del cerebro es provocada por estímulos externos al paciente, por lo que no requiere ningún tipo de entrenamiento previo. Para realizar un sistema BCI exógeno se pueden utilizar los potenciales evocados (P300) y los potenciales evocados visuales (VEP). Los potenciales evocados (P300) se producen en torno a 300 ms después de que el usuario detecte un estímulo visual o auditivo poco frecuente. Esta idea se puede aprovechar para realizar un sistema deletreador, de forma que las letras se vayan iluminando y cuando se ilumine la letra que el usuario quiere escoger se produzca este pico. Los potenciales evocados visuales (VEP) se producen cuando el usuario recibe un estímulo visual. Si el estímulo se presenta de forma constante a una frecuencia superior a 6 Hz, se puede detectar la frecuencia del estímulo observando estos potenciales. Siguiendo este razonamiento, se podría realizar, por ejemplo, un sistema en que los distintos actuadores disponibles para el usuario parpadeen cada uno a una frecuencia distinta. Cuando el sujeto observe el actuador deseado se producirán este tipo de potenciales a la misma frecuencia de muestreo.

1.2.1.3. Sistema NIRS

El NIRS es una técnica no invasiva que ofrece la ventaja de monitorizar la oxigenación cerebral, dándonos un panorama del estado metabólico y hemodinámico de múltiples regiones de interés, sin embargo existe poco uso de este instrumento a pesar de que ya pasaron más de tres décadas de su primera descripción.

1.2.2. De uso comercial.

En los últimos años se ha iniciado el estudio de las ondas cerebrales como un “control mental” en el cual cada vez más se conocen proyectos de investigación que trabajan en el desarrollo de un sistema, que permita analizar nuestra actividad cerebral, en la actualidad existen productos que ya están al alcance del usuario con esta tecnologías.

1.2.2.1. Muse 2

Muse es un dispositivo de electroencefalograma (EEG) ampliamente utilizado por investigadores de neurociencias de todo el mundo. Utiliza un avanzado
procesamiento de señales para interpretar tu actividad mental. Cuando tu mente está en calma y tranquila, escuchas sonidos de un clima
pacífico.¿Mente ocupada? A medida que tu atención se desplaza, escucharás un clima tormentoso que hará que devuelvas tu atención a la respiración. **[Muse 2]**

Figura 4. Dispositivo de electroencefalograma

Tomado de: https://choosemuse.com/es/how-it-works/

1.2.2.2. Brainlink edición Lite

La banda para la cabeza Brainlink Lite utiliza un diseño más cómodo y fácil de usar. Con la diadema de cuero suave, se adapta a una mayor gama de head sizes. BrainLink Lite V2.0 está especialmente diseñado para usuarios finales, como jugadores y meditadores y niños mayores de 5 años. Para fines de investigación, seleccione un modelo diferente. En comparación con los auriculares BrainLink, la banda para la cabeza tiene 3 electrodos para la frente, sin orejeras, sin

luz de emoLight / inteligente. En comparación con su predecesor, el BrainLink Lite V2.0 tiene solo 3 sensores de frente y sin clip de oreja, sin emolight, sin luz inteligente.

Figura 5. Auriculares EEG.

Tomado de: https://www.mindtecstore.com/Macrotellect-BrainLink-Lite-EEG-Headset-V20

1.2.2.3. Emotiv Headset

Emotiv EPOC y fue el dispositivo por el cual este trabajo fue inspirado. Su diseñadora la bioingeniería Tan le realizó una charla en TED Talks 4 donde exponía su trabajo y dejaba en relieve el gran potencial de esta tecnología. Este lector encefalográfico dispone de 14 canales, donde los electrodo quieren de conexión salina a partir de un gel que incrementa la conectividad con el cuero cabelludo. Dispone de una estructura fija que permite recibir información de partes específicas de nuestro cerebro. Su tecnología inalámbrica (Bluetooth 4.0) permite mucha autonomía al usuario y favorece el desarrollo de aplicaciones BCI. **[Emotiv 0810]**

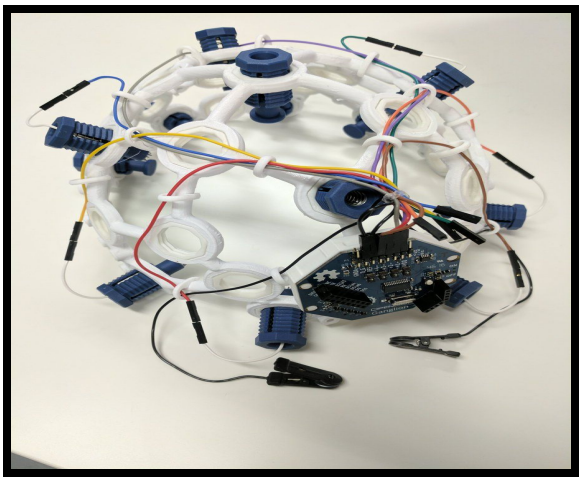
Figura 6. EMOTIV EPOC + EEG móvil de 14 canales.

Tomado de: https://www.emotiv.com/product/emotiv-epoc-14-channel-mobile-eeg/

1.2.2.4. OpenBCI

OpenBCI es sinónimo de interfaz cerebro-computadora de fuente abierta (BCI). Proporcionamos a cualquier persona una computadora, las herramientas necesarias para probar la actividad eléctrica de su cuerpo. Nuestros sistemas de biosensores versátiles y asequibles se pueden usar para muestrear la actividad cerebral eléctrica (EEG), la actividad muscular (EMG), la frecuencia cardíaca (ECG), el movimiento del cuerpo y mucho más. Nuestros auriculares EEG imprimibles en 3D se pueden utilizar para obtener grabaciones de EEG de grado de investigación. **[OpenBCI 0810]**

Figura 7.OpenBCI on Twitter



Tomado de: https://twitter.com/openbci/status/880867277398302721

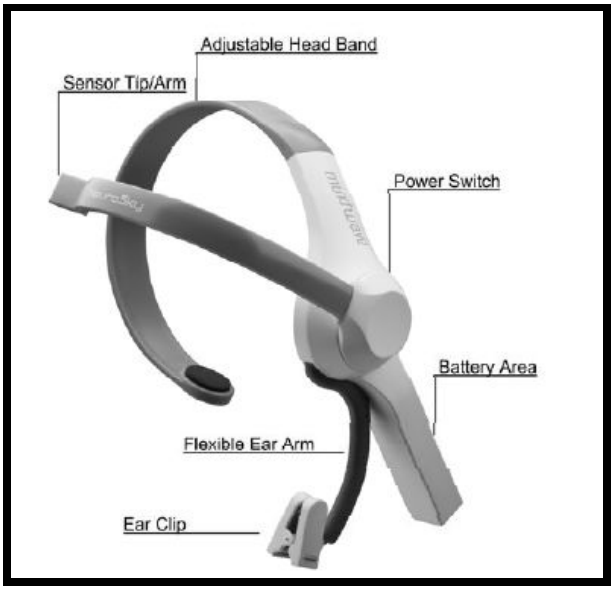
1.2.2.5. MindWave

En el desarrollo de este proyecto se utiliza una diadema MindWave la cual es un dispositivo capaz de recoger la actividad eléctrica del cerebro y divide la señal según la frecuencia en diversos tipos de ondas, lo que permite determinar en qué tipo de estado se encuentra el sujeto. El registro de la actividad se hace con la configuración de referencia común, dado que solo tenemos un único canal y el electrodo está referenciado con el potencial de nuestra oreja.

Desafortunadamente el cuerpo produce una gran cantidad ruido eléctrico, además de la actividad que viene de nuestro cerebro. Por esta razón este contacto de referencia, en forma de un clip fijado al lóbulo de la oreja, nos ayuda a filtrar la señal no cerebral recibida.

La mayoría de las aplicaciones de este aparato son no científicas, sin embargo, como la misma compañía especifica en su página web, se han realizado estudios que la precisión de los datos captados por este dispositivo tienen una fiabilidad equivalente a aparatos utilizados en la medicina actual. La MindWave es capaz de leer, principalmente, el estado de meditación (medido por las ondas alfa / theta) o atención/concentración (medido por las ondas beta / gamma) que nuestro cerebro emite. La compañía ha desarrollado un algoritmo llamado eSense que define en una escala entre 0 y 100 los niveles de estos estados cognitivos. **[Mindwave 0810]**

Figura 8. Diadema Mindwave



Tomado de: PDF del instalador de Mindwave

1.3. Brazo robóticos controlados por señales EEG

En la actualidad estos diferentes diseños de brazos robóticos que se pueden controlar o mover por medio de las señales EEG han ido mejorando ya que nuestra tecnología cada vez avanza más rápido, hay muchas investigaciones sobre este tipo de proyecto, la mayoría de estos proyectos buscan integrarse en el campo de la bioingeniería con el fin de ayudar a las personas con una prótesis ya que por medio de las señales EEG se podría controlar los diferentes movimientos del

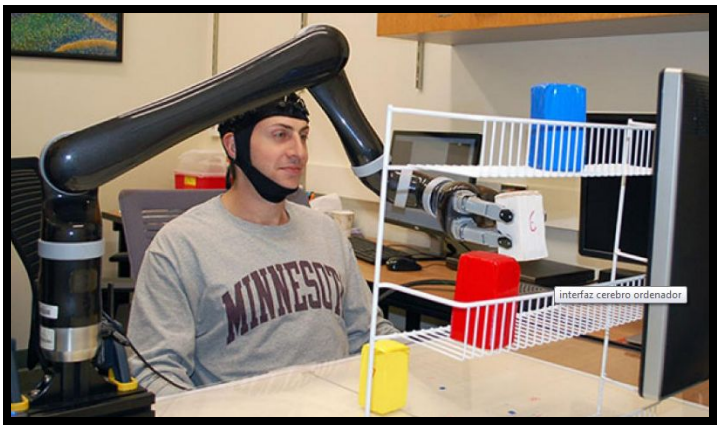
brazo o de la prótesis para darle una mayor comodidad, facilidad y una manera más fácil de integrarse a la sociedad sí que le den vergüenza de utilizar una prótesis.

1.3.1. I3A. Un brazo robótico controlado por el pensamiento

Este proyecto avanza en varios frentes. No solo hay que modelar el movimiento de los miembros superiores y relacionarlo con la actividad cerebral, o conseguir obtener directamente de la señal de electroencefalograma (EEG) las posiciones del espacio hacia donde las personas desean mover sus brazos.

Mejorar la percepción del control del movimiento del brazo artificial es fundamental para lograr la simbiosis hombre-máquina. **[ejemplo 1 del brazos robóticos 0810]**

Figura 9. Brazo robótico que se mueve con la mente

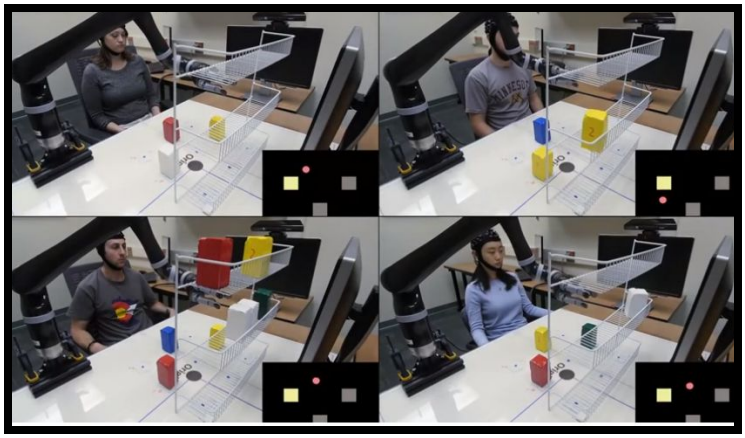


Tomado de:https://www.xataka.com/robotica-e-ia/mover-brazos-roboticos-con-la-mente-no-es-nuevo-hacerlo-sin-implantes-cerebrales-si

En las pruebas han participado ocho voluntarios que primero se iniciaron en la plataforma a través de un curso virtual para aprender a usar el dispositivo. Con la práctica, todos ellos fueron capaces de mover el brazo robótico para alcanzar y agarrar objetos en lugares al azar sobre una

mesa, con una tasa de éxito superior al 80%. Por otra parte, también aprendieron a desplazar los objetos para colocarlos en un estante más arriba, y lo hicieron con acierto en el 70% de los casos.

Figura 10. Pruebas con el brazo



Tomado de: https://www.youtube.com/watch?v=w6QEGeIKHw0

1.3.2. Controlan brazo robótico con solo parpadear.

Un proyecto de Ryan Mintz de la Universidad de Toronto ha creado un brazo robótico que se puede controlar parpadeando, gracias a un auricular de detección de ondas cerebrales y un computador portátil.

El software es lo suficientemente inteligente como para dirigir el brazo utilizando movimientos de la cabeza sutiles, como apretar la mandíbula o guiñar el ojo; incluso sabe cuando el usuario se ha relajado.

El hardware está diseñado principalmente pensando en la movilidad y las extremidades protésicas.

Figura 11. Control de brazo con solo parpadeo

Tomado de: https://pdm.com.co/controlan-brazo-robotico-con-solo-parpadear/

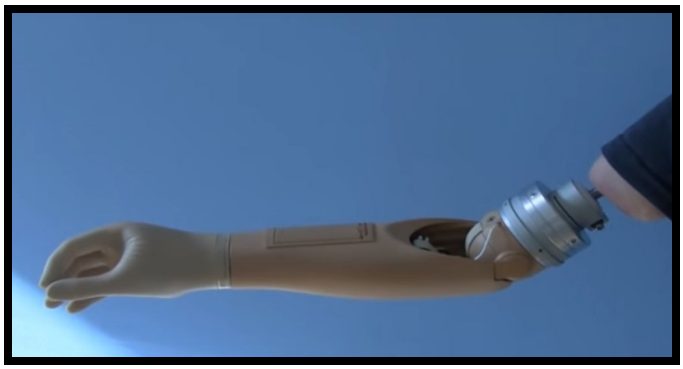
Este sistema de gestos podría ser utilizado para dirigir una silla de ruedas, por ejemplo.

A la larga, los estudiantes esperan mejorar su exactitud al punto donde sólo pensando en una acción es suficiente para lograr que se haga; no habría necesidad de una conexión física a los músculos o el sistema nervioso.

El esfuerzo de la Universidad de Toronto todavía se enfrenta a una dura competencia, pero muestra que los tetrapléjicos y otros con poco control del cuerpo, podrían eventualmente obtener una cierta independencia con tecnología de fácil acceso. **[Ejemplo 2 de brazo robótico 0810]**

1.3.3. Prótesis controlada por el cerebro

Figura 12. Prótesis controlada por el cerebro



Tomado de: **http://tecnoemergentes.foroactivo.com/t123-controlar-robots-con-la-mente**

Un paciente ha estado usando por más de un año la prótesis de un brazo que es controlado por electrodos implantados en sus nervios.
Por primera vez un paciente fue implantado con un "controlador mental" para su prótesis robótica. Un camionero sueco, al que le amputaron el brazo hace 10 años, es el primero en recibir el brazo implantado quirúrgicamente para que pueda ser controlado por su sistema nervioso y músculos.

Esto significa que puede mover su brazo de forma natural gracias a que su sistema nervioso y músculos envían señales a la prótesis. Es como mover tu propio brazo, no necesitas pensarlo mucho.

Un estudio publicado en la revista Science Translational Medicine describe el procedimiento llevado a cabo en enero del 2013.

Si bien la idea de una prótesis controlada por el cerebro ya está entre nosotros desde hace un tiempo y ya hemos visto miembros artificiales controlados por el sistema nervioso, lo impresionante de esta prótesis es lo profundas que están implantadas las interfaces neuromusculares.

El aparato es "osteointegrado", lo que significa que se adjunta directamente al esqueleto. No es necesario que el usuario lo utilice todo el tiempo ya que un implante de titanio está integrado con el hueso y el brazo se adjunta a este. La ventaja es que elimina una pieza utilizada convencionalmente en las prótesis, lo que suprime la incomodidad y permite mayor libertad en los movimientos.

Investigadores liderados por Max Ortiz Catalán de la Universidad tecnológica Chalmers en Suiza, reportaron que en el curso de un año el implante ofreció mejor control que los "controladores de superficie" convencionales que se ponen sobre la piel.

El paciente ha estado utilizando el brazo en su vida diaria desde entonces, "ninguna complicación se ha observado a un año del implante, y todos los componentes continuarán implantados indefinidamente" escribieron.

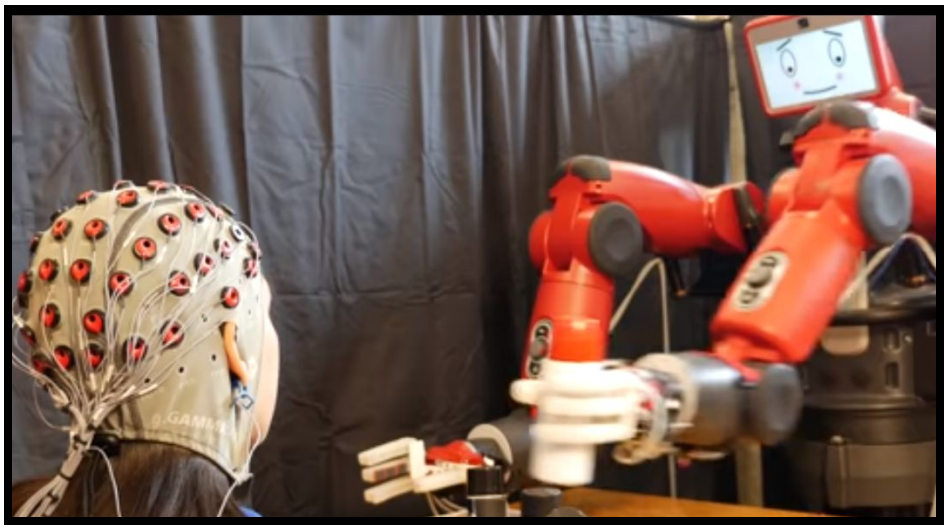
Existen muchas ventajas en usar el sistema de control implantando versus los electrodos de superficie. Los últimos funcionan casi de la misma manera, pero son propensos a problemas como el responder mal a las señales y también pueden ser afectados por factores medioambientales, como los cambios de temperatura.

La falta de comodidad es molesta en los sistemas antiguos, pero el paciente con el nuevo brazo reportó muchos beneficios. A nivel práctico, por ejemplo, le dijo a los investigadores que el control refinado del agarre le permite tomar objetos pequeños y también algunos objetos frágiles, como huevos.

Si bien el estudio sólo incluye a un paciente, lo que se traduce en que lo investigadores no pueden hacer demasiadas afirmaciones audaces sobre las capacidades de su invención, la prótesis sugiere un potencial para estas versiones, que se fijan al cuerpo muy bien y son más fáciles de controlar que antes. **[Ejemplo 3 de brazo robótico 0810]**

1.3.4. Robot humanoide Baxter

Figura 13. Robot humanoide Baxter



Tomado de: http://tecnoemergentes.foroactivo.com/t123-controlar-robots-con-la-mente

El equipo de Andrés F. Salazar-Gómez, de la Universidad de Boston, así como Joseph Del Preto y Stephanie Gil, del Laboratorio de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial (CSAIL), adscrito al Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) en Cambridge, todas estas entidades en Estados Unidos, ha estado trabajando en este concepto, creando un sistema interactivo que permite a la gente corregir los errores de los robots instantáneamente, sin nada más que con sus cerebros.

Usando datos de un monitor de electroencefalografía (EEG) que registra la actividad del cerebro, el sistema puede detectar si una persona considera un error lo que acaba de hacer, está haciendo o está a punto de hacer, un robot al que se le ha encargado realizar una tarea de clasificación de objetos. Los novedosos algoritmos de aprendizaje automático del equipo permiten al sistema clasificar las ondas cerebrales del usuario humano en el transcurso de 10 a 30 milisegundos.

“Imaginemos poder decirle de forma instantánea a un robot que haga una cierta acción, sin necesidad de teclear una orden, apretar un botón o incluso decir una palabra”, aventura provocativamente la robotista Daniela Rus, directora del CSAIL.

En el actual estudio, el equipo usó un robot humanoide llamado Baxter, de la empresa Rethink Robotics, la compañía impulsada por el antiguo director del CSAIL Rodney Brooks, célebre por su labor pionera creando robots insectoides en el MIT, y más tarde por el éxito del robot aspiradora Roomba y otros robots domésticos de la empresa iRobot cofundada por él.

2. Elaboración y Construcción del brazo robot

Figura 14. Foto representativa

En este capítulo se describe todo lo referente a la composición del brazo robótico utilizado, partiendo de su funcionamiento general hasta el proceso seguido en su construcción, dando al lector un mejor idea del prototipo final que se ha determinado indicado para poder realizar este proceso.

2.1. Descripción general del sistema robótico

Se utiliza uno de los prototipos de brazo LEGO, con los que cuenta la universidad Antonio Jose Camacho que está conformada por dos servos motores grandes, sus características son las siguientes: Tacómetro de retroalimentación de 1 grado de exactitud, 160-170 RPM ,Par de funcionamiento (torque) de 20 N/cm, "Stall torque" Par de aguante de 40 N/cm. **[Motor grande 0810]**

Figura 15. Motor grande

Tomado de: https://ro-botica.com/Producto/Servo-motor-LEGO-MINDSTORMS-EV3

Un servo motor mediano de LEGO Mindstorms EV3, es ideal para baja carga (par) y aplicaciones de mayor velocidad cuando se necesitan tiempos de respuesta más rápidos ,y un tamaño más pequeño en el diseño del robot. Donde las características son:Tacómetro de retroalimentación de un grado de exactitud, 240-250 RPM, Par de funcionamiento (torque) de 8 N/cm, Par de aguante (Stall torque) de 12 N/cm. **[Motor mediano 0810]**

Figura 16. Motor mediano

Tomado de:

https://ro-botica.com/Producto/Servo-motor-mediano-LEGO-MINDSTORMS-EV3/

También cuenta con dos sensores; El sensor analógico de contacto LEGO Mindstorms EV3 es una herramienta simple pero excepcionalmente precisa que detecta cuando se pulsa o se suelta el botón frontal y es capaz de contar presiones simples y múltiples. **[Sensor de contacto 0810]**

Figura 17. Sensor de contacto

Tomado de: https://ro-botica.com/Producto/Sensor-contacto-LEGO-MINDSTORMS-EV3/

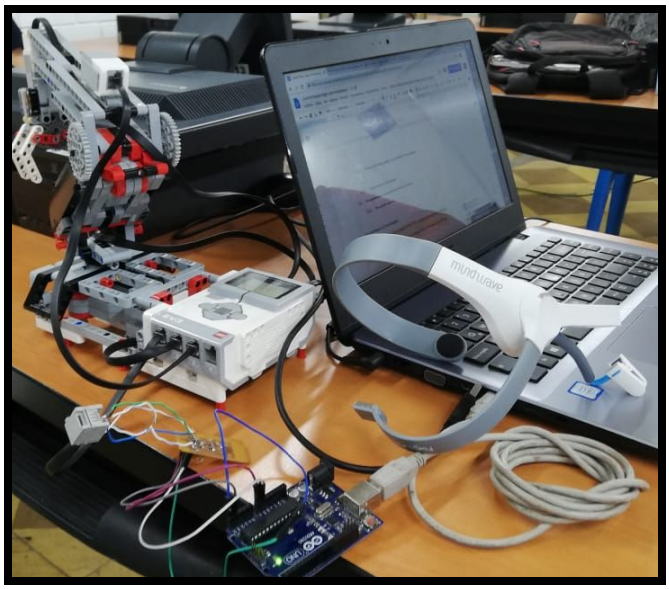
El sensor digital de color de LEGO Mindstorms EV3 distingue entre ocho colores diferentes. También sirve como sensor de luz mediante la detección de distintas intensidades de luz. **[Sensor de color 0810]**

Figura 18. Sensor de luz

Tomado de: https://ro-botica.com/Producto/Sensor-color-luz-LEGO-MINDSTORMS-EV3/

2.1.1. Partes del sistema

Figura 19. computador diadema mindwave, arduino y brazo lego

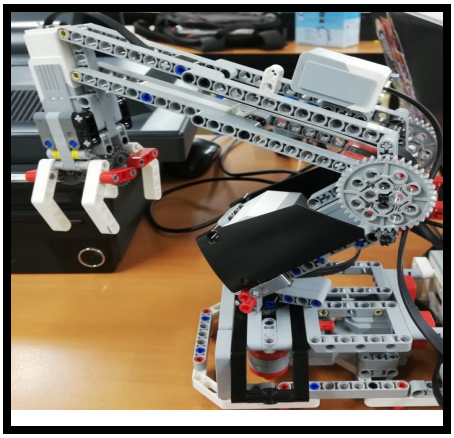


A Continuación se muestran las partes del sistema que componen este proyecto, como se pueden ver en la imagen. Se aprecia el arduino uno, la diadema mindwave, el brazo robótico lego EV3 junto con su bloque EV3 y nuestro circuito para i2c.

2.1.2. Características del sistema

- Brazo robótico lego EV3: Este brazo está compuesto de diferentes piezas lego para su estructura, consta de 2 motores grandes y uno mediano, también incluye dos sensores uno infrarrojo y táctil. este brazo puede moverse horizontal y verticalmente, además de tener un pinza que abre y cierra.

Figura 20. Brazo LEGO EV3



- Bloque EV3: Este bloque sirve como centro de control para el brazo, y además también es la fuente o central eléctrica de el brazo robótico.

Figura 21. Bloque EV3

- Arduino uno: Arduino Uno es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas analógicas. Además, incluye un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reseteo. **[Arduino 0810]**

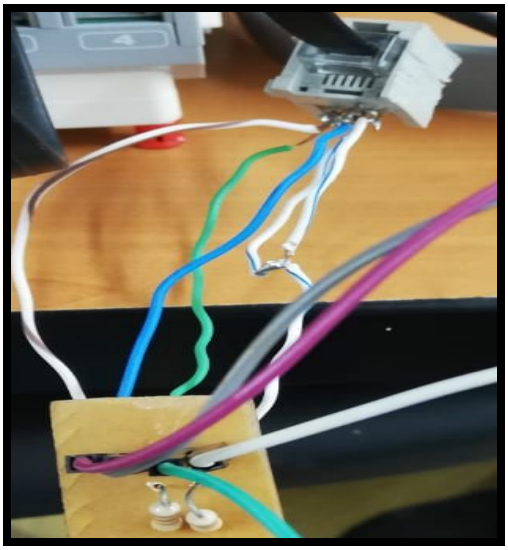
Figura 22. Arduino UNO

- Diadema mindwave: Es una diadema que capta ondas cerebrales EEG(electroencefalogramas), y puede leer el pestañeo de la persona o usuario que la porta. cuenta con un electrodo EEG en la parte frontal, y en la parte lateral tiene un clip para el lóbulo de la oreja que es donde están electrodos de referencia y la tierra.

Figura 23. Diadema mindwave vista frontal

- Circuito i2c: Se denomina "interfaz de dos cables" porque utiliza dos cables para comunicarse . Un cable proporciona un reloj: esto asegura que ambos dispositivos envíen información a la misma velocidad. La línea del reloj se conoce generalmente como "SCL". El otro cable es para enviar datos (los datos son enviados y recibidos por ambos dispositivos al mismo tiempo), y generalmente se conoce como "SDA". **[I2C 0810]**

Figura 24. Plaqueta I2C



2.2. Funcionamiento y operación del sistema robótico

La diadema mindwave capta las ondas cerebrales delta, theta y alfa se encuentran configuradas en la programación como la meditación, beta y gamma se tomaron como atención. Una vez teniendo estas ondas ya configuradas, lo que se realizó fue darles un porcentaje para que al cumplir un valor asignado, el brazo robótico cumpla una secuencia de movimiento.

Primero: el usuario se coloca la diadema mindwave y la enciende, después los integrantes del proyecto tendrán listos todos los programas necesarios para que hagan la correcta conectividad entre diadema y brazo LEGO.

Segundo: una vez hecho esto se procedera a que el usuario alcance un determinado porcentaje de concentración o meditación para que el brazo LEGO realice una combinación de movimientos.

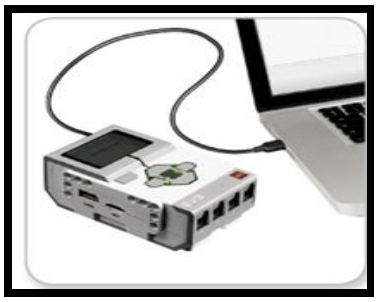
para poder ayudar al usuario se creó una interfaz de processing donde nos muestran el porcentaje que está alcanzando ya sea de meditacion y concentracion, se visualiza también que motor del brazo LEGO se encuentra en movimiento durante el proceso.

2.2.1. Proceso de conexión

Conexión del bloque ev3 con el equipo:

Conecte el Bloque EV3 a su equipo mediante el Cable USB o mediante una conexión inalámbrica con Bluetooth y Wi-Fi. Con el Cable USB, conecte el extremo Mini USB al puerto para PC del Bloque EV3 (ubicado junto al Puerto D). Conecte el extremo USB al equipo.[**conexión 0810]**

Figura 25. Del Bloque EV3 al PC



Tomado de: https://www.robotix.es/es/bloque-inteligente-ev3

Cómo conectar sensores y motores:

Los sensores se deben conectar al bloque EV3 en los puertos de entrada 1, 2, 3, y 4 respectivamente, y para conectar los motores deben ir en los puertos de salida a, b, c, y d.

Figura 26. Puertos de entrada del bloque EV3

Tomado de: **https://www.robotix.es/es/bloque-inteligente-ev3**

2.2.2. Operación por parte de usuario

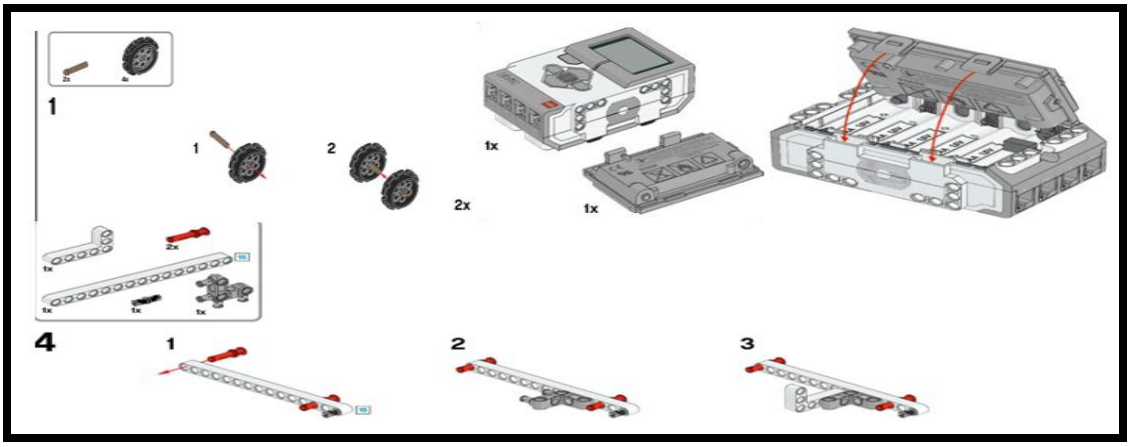
El usuario debe colocarse la diadema en la forma correcta, debe esperar a que la diadema se conecte y se haga la comunicación. Después en la pantalla de el pc se visualizan las ondas de concentración y meditación, donde estarán los porcentajes de 0 a 100 de sus ondas.

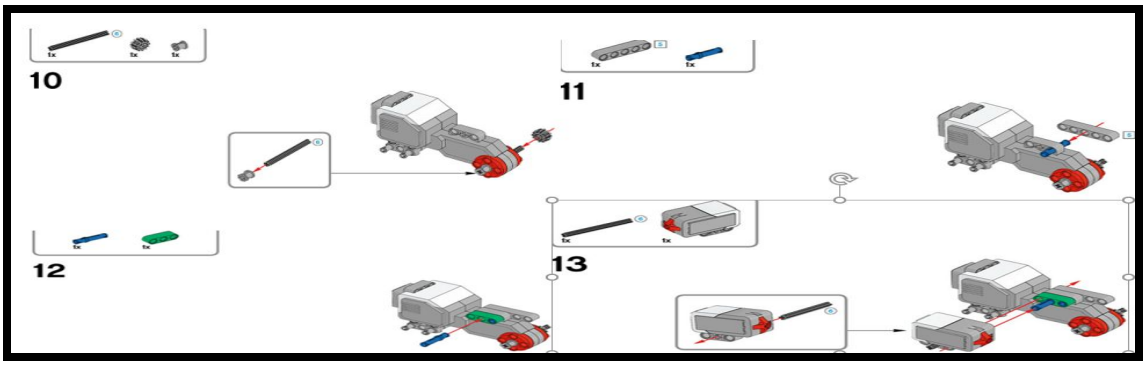
Para poder entrar a la fase de que el usuario se concentra o medita primero antes que nada deberá parpadear una vez, luego de esto ya podrá elegir cuáles de las dos tipos de ondas que se usan para mover este brazo desea manejar.

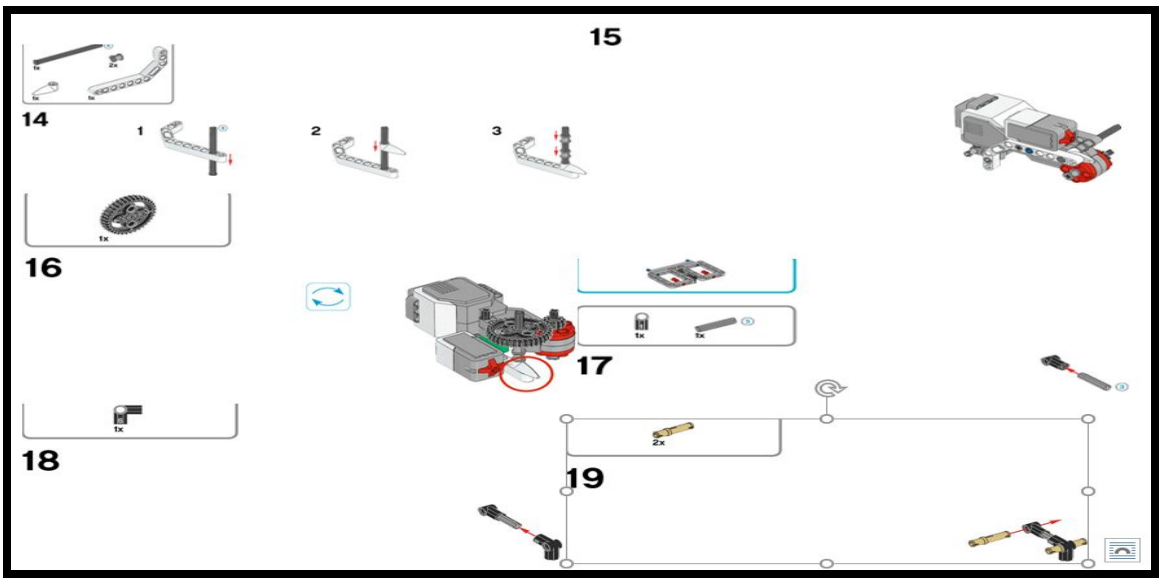
El usuario tendrá dos opciones, puede concentrarse o ya sea meditar, para poder mover el brazo LEGO, se deberán alcanzar unos ciertos valores de porcentajes establecidos. De esta manera el brazo ya podrá hacer las secuencias o ya sea bien sus movimientos individuales.

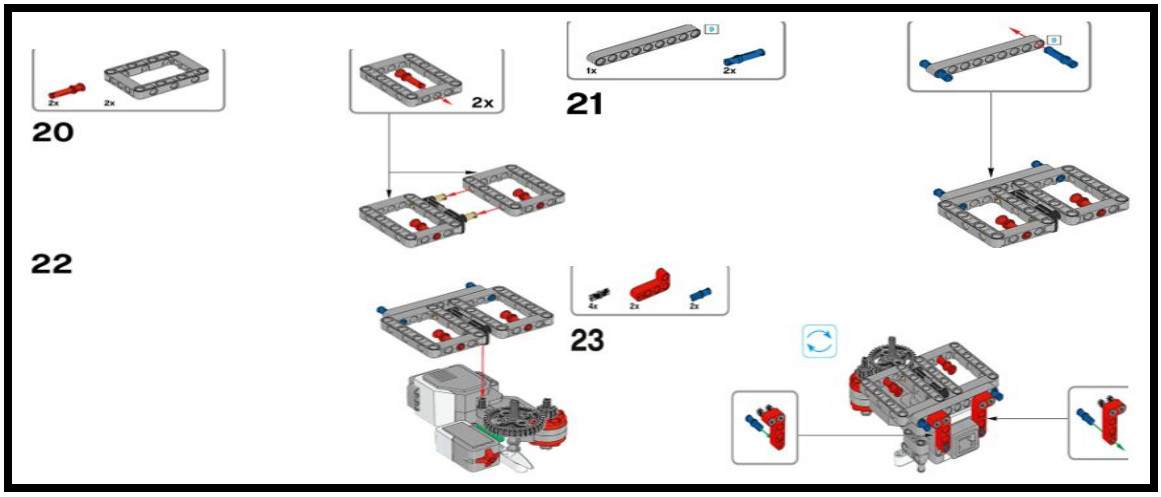
2.3. Proceso de armado del brazo robótico

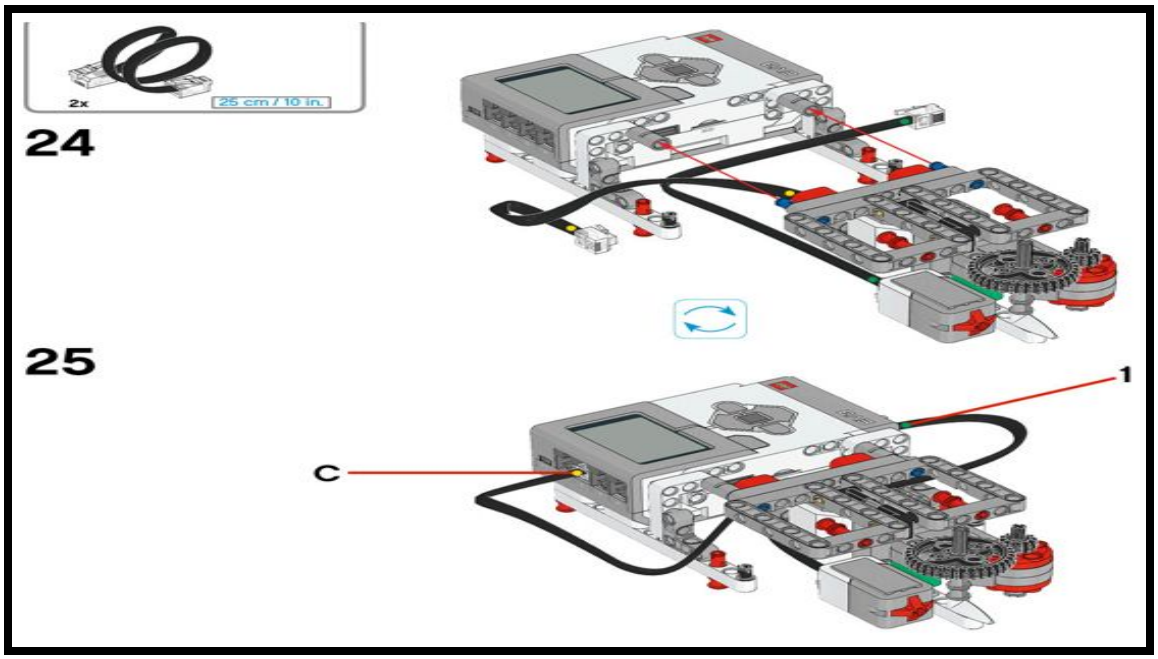
Figura 27. Proceso paso a paso de armado

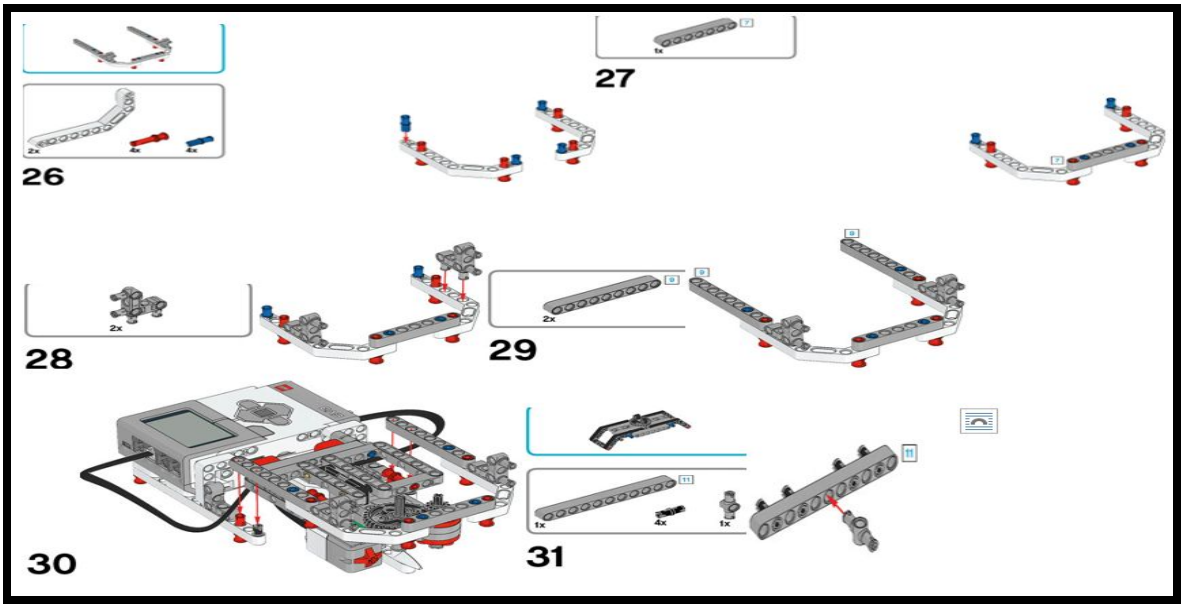


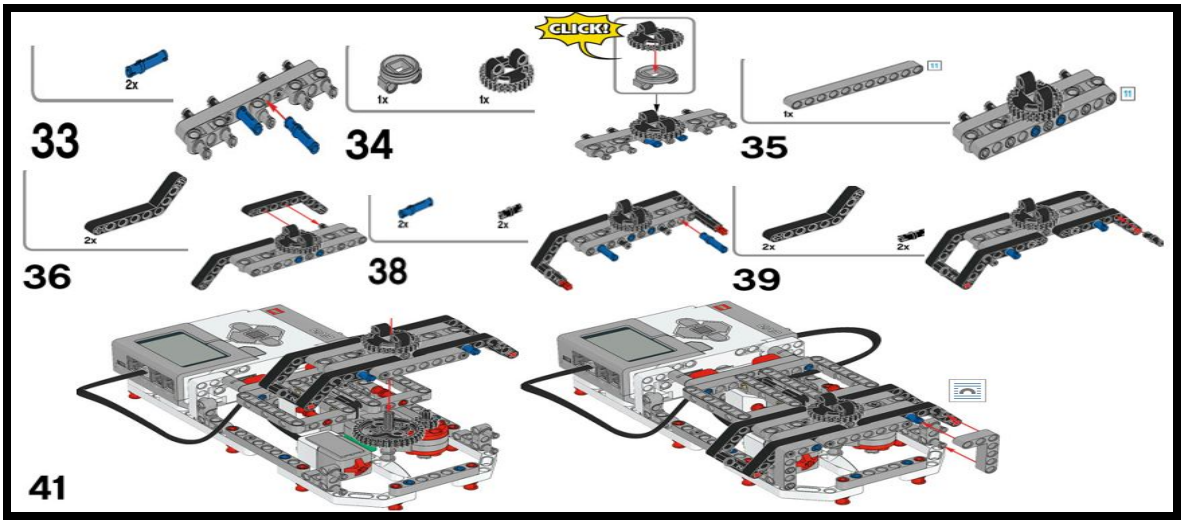


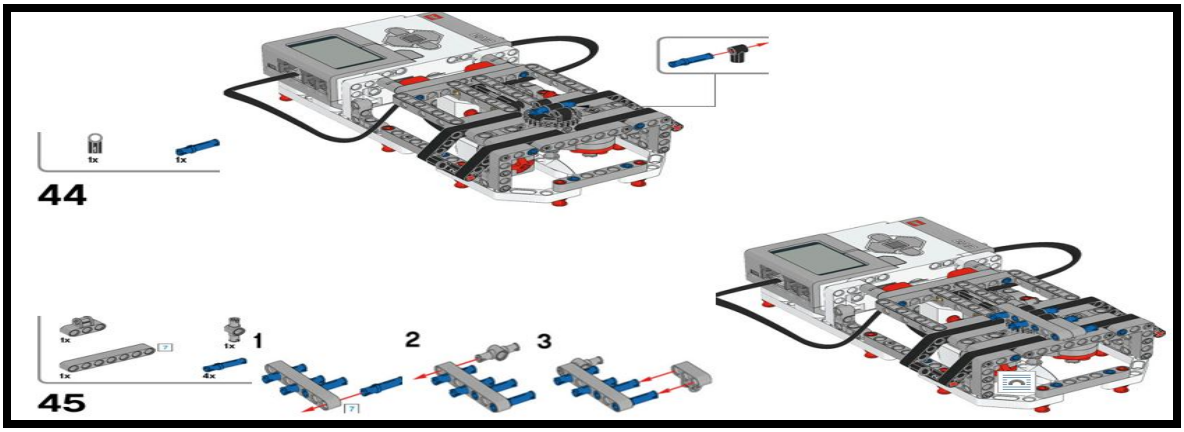

15
14
1
2
3
16
17
18
19

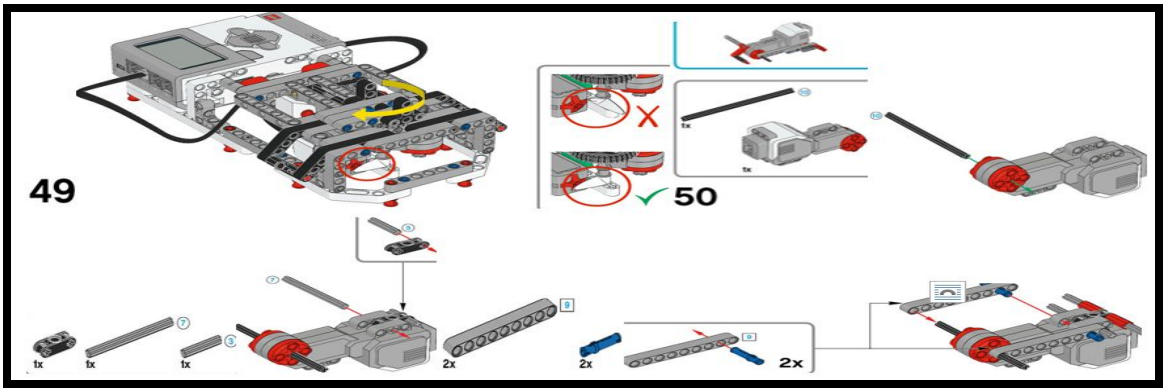

20
21
22
23

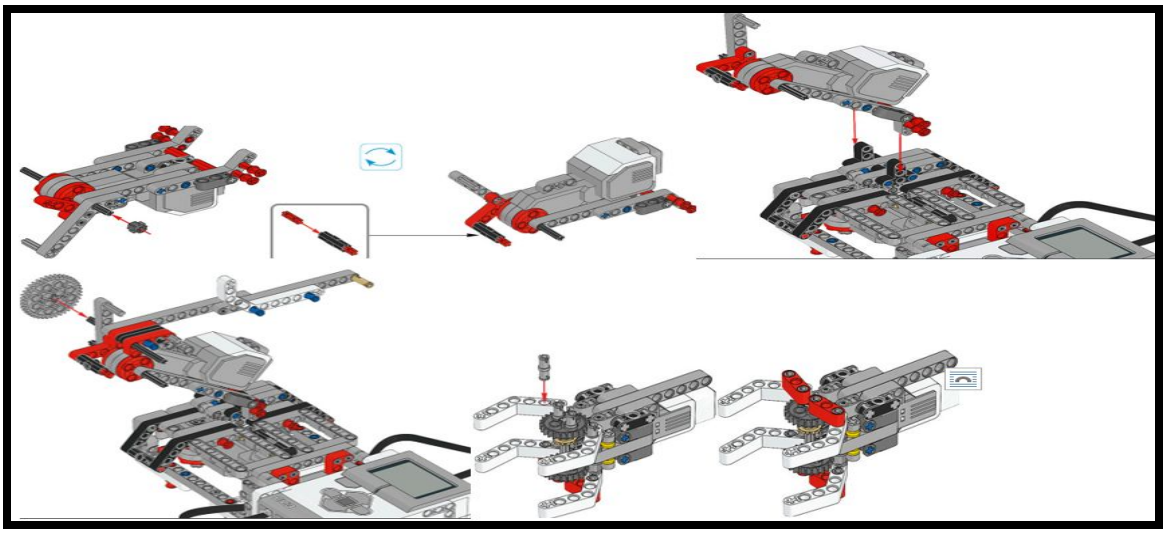

2x
25 cm / 10 in.
24
25
1
C

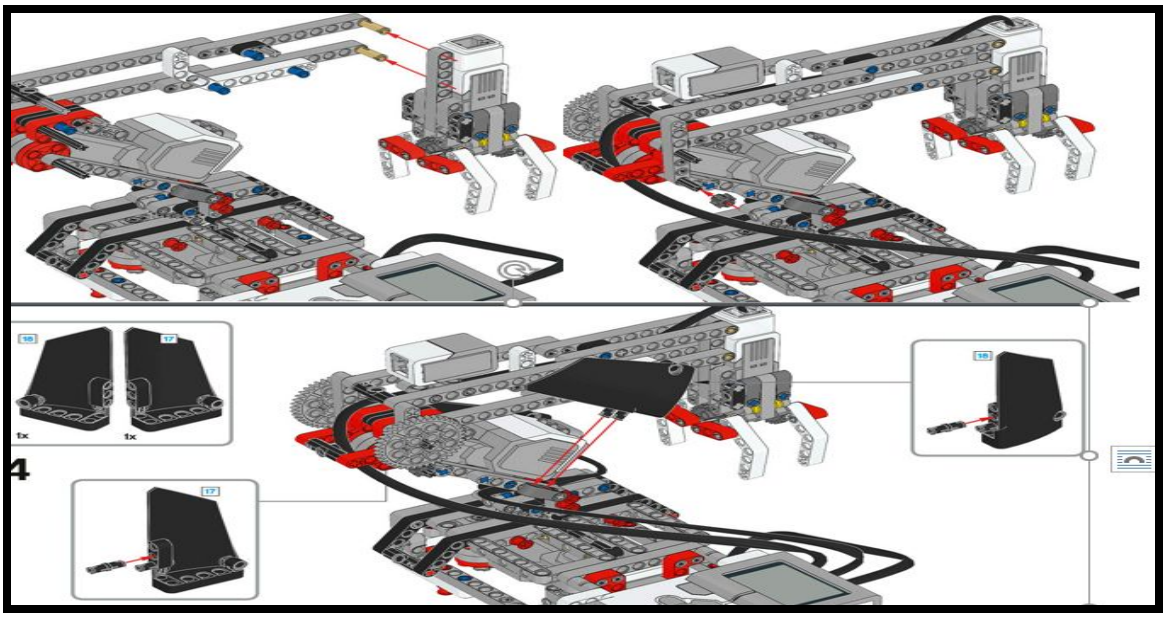

27
26
28
29
30
31


CLICK!
33
34
35
36
38
39
41


44
45
1
2
3


49
50
1x
1x
1x
2x
2x
2x



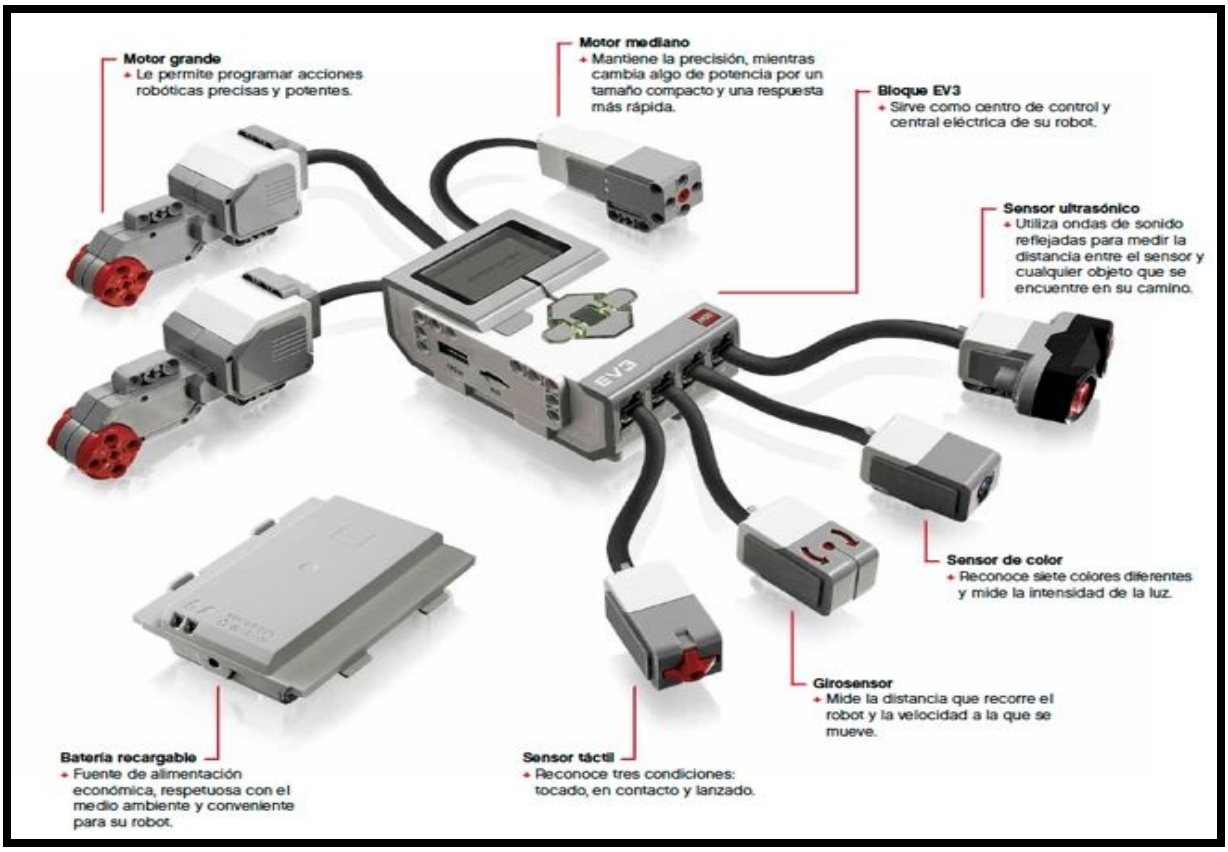

16
17
1x
1x
4
17
16

Tomado de: ev3-model-core-set-robot-arm-h25-56cdb22c1e3a02f1770bda72862ce2bd.pd

2.3.1. Proceso de ensamble

- Una Vez armado el brazo LEGO se procede con la conexión de los 2 motores grandes y el mediano al bloque de LEGO junto con los sensores, ya que el bloque tiene un orden de donde deben ir los sensores y los motores, como se muestra en la siguiente imagen:

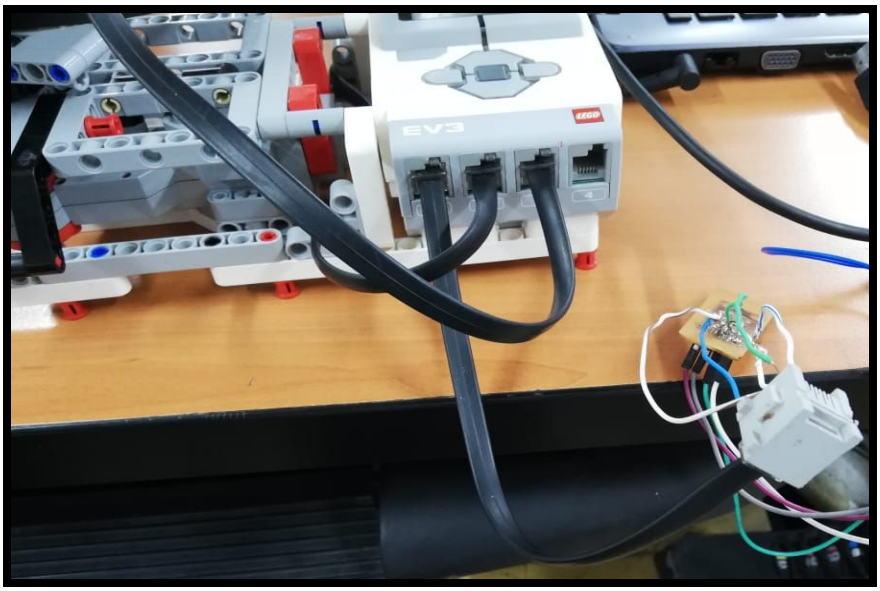
Figura 28.Ensamble del bloque EV3



Tomado de:http://ro-botica.com/producto-Print/Set-basico-LEGO-MINDSTORMS-Education-EV3/

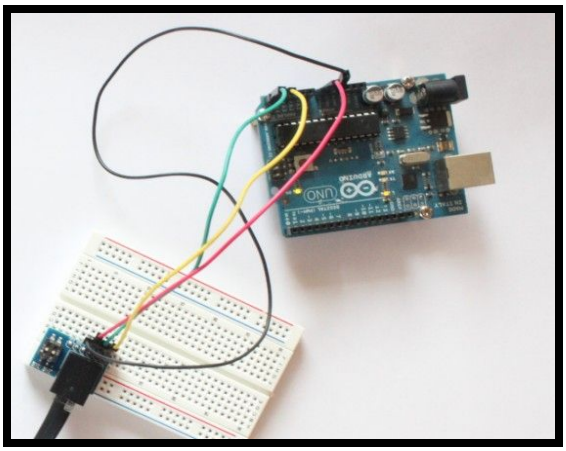
- Después de conectar los motores y sensores del brazo al bloque EV3, se procede a conectar un cable desde el bloque hasta el circuito i2c como se muestra a continuación en la imagen:

Figura 29. I2C y EV3



- La conexión entre el módulo i2c y el arduino es como el puente entre LEGO y arduino, del módulo i2c salen 4 cables la alimentación y dos señales como se ve a continuación:

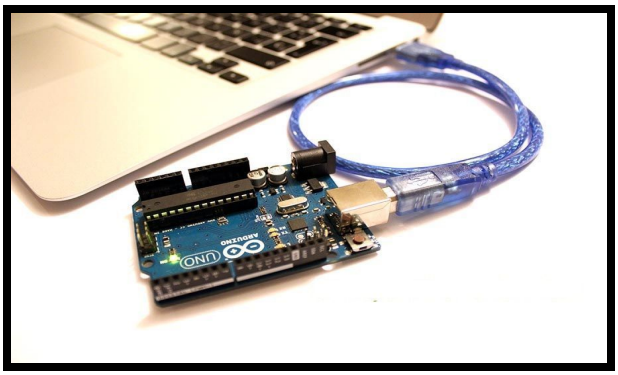
Figura 30. I2C Y ARDUINO



Tomado de: https://www.dexterindustries.com/howto/connecting-ev3-arduino/

Del arduino finaliza hacia el Pc de programación, que es desde donde se le envían los datos al arduino que debe monitorear el brazo para que compare si se cumplen unas condiciones para enviar la orden de acción del brazo como esta en la siguiente imagen:

Figura.31. ARDUINO Y PC



Tomado de:https://www.geekfactory.mx/wp-content/uploads/2017/04/alimentar_el_arduino_usb_pc.jpg

Lo último sería la conexión de la diadema al Pc que es por medio de un puerto serial o socket, para así operar el sistema del brazo LEGO como se muestra a continuación:

Figura .32. Diadema mindwave y PC

2.3.2. Implementación del Sistema Electrónico.

Este capítulo describe la realización de los circuitos eléctricos necesarios para poder controlar el brazo robótico lego EV3, por medio de un control de ondas cerebrales mediante a una MindWave, una placa arduino, sistema de comunicación I2C y un conjunto de actuadores y sensores que llevan a mover las articulaciones de brazos.

2.4. Esquema eléctrico general.

Figura 33. Esquema eléctrico

En la siguiente tabla, se describe el diagrama de bloques de la figura.

Tabla 1. Bloque y descripción

N°	Bloque de la figura	Descripción
1	MinDwave	Es el factor principal donde le da funcionalidad a todo la interfaz del proyecto, porque es la encargada de leer los pulsos neuronales.
2	PC	Elemento donde se realizó la programación del brazo robótico, donde también se envió los datos por el puerto USB a la tarjeta arduino uno, para que esta sea interpretada en el campo.
3	Processing	donde se hace una interfaz gráfica, de cómo llegan las ondas cerebrales y poder mandarlas por un puerto serial hacia el arduino uno.

4	Arduino Uno	Arduino uno dispone de varios puertos analogicos y digitales, en este caso se tomaron puertos analogicos para la comunicacion y tambien los puertos de GND, y del VIN.
5	Mindstorms	Es el programa donde se realiza la respectiva programación del lego EV3
6	Brazo Lego EV3	Es el encargado de ejecutar los movimientos.

2.5. Comunicación I2C

Será una de las bases de nuestro proyecto, por lo que es de suma importancia tener unos conocimientos básicos. Realizaremos la comunicación con el módulo I2C ya que según la hoja del fabricante LEGO EV3, los puertos de entrada y salida son compatible con este módulo.

2.5.1. Descripción de la comunicación I2C

Es un bus con múltiples maestros que facilita la conexión entre microcontroladores, Permite la comunicación entre dispositivos a una velocidad de entorno 100 Kbits/s.

La señal de datos, SDA (System Data) es la línea de los pulsos de reloj que sincronizan el sistema.La otra Señal de reloj, SCL (System Clock) es la línea por la que se mueven los datos entre los dispositivos y por ultima esta Masa, GND (Ground) común de la interconexión entre todos los dispositivos conectados al bus. **[Descripcion de comunicación I2C 0810]**

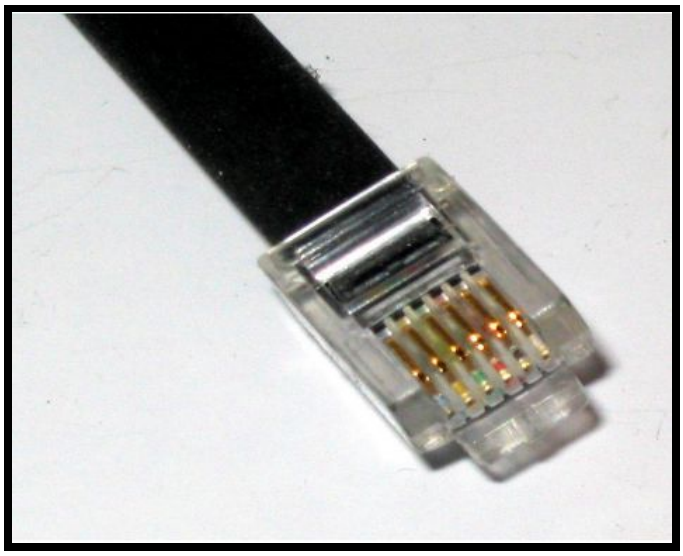
2.5.2. Interfaz de comunicación entre lego EV3 y arduino.

Empezaremos este proyecto analizando el conector que permite a LEGO Mindstorms comunicarse con las entradas (sensores) y salidas (motores).

En la hoja de fabricante de LEGO, nos indica que su comunicación se realiza con conectores del tipo RJ12. El conector RJ12 se utiliza con bastante frecuencia en comunicaciones telefónicas, dispone de 6 posiciones y 6 contactos (6P6C). Estos conectores se definen por el número de posiciones ‘’P6’’ y el número de contactos instalados dentro de estas posiciones ‘’6PxC’’ (en nuestro caso: 6P6C).

Del mismo modo, también podemos leer que este conector es un conector RJ12 modificado (la pestaña no la tienen en el centro si no, en un lateral).**[Conector]**

Figura 34. cable RJ12



Tomado de:https://es.wikipedia.org/wiki/RJ-12

Podemos apreciar los 6 colores de sus 6 pins, cuya función la podemos resumir en la siguiente tabla.

Tabla 2. Funciones pins

PIN	NOMBRE	COLOR	FUNCION
1	ANA	BLANCO	INTERFAZ ANALOGICA DE VOLTAJE 9V
2	GND	NEGRO	GND
3	GND	ROJO	GND
4	IPOWERA	VERDE	VIN
5	DIGIAI0	AMARILLO	SEÑAL DE DATOS (SCL)
6	DIGIALI1	AZUL	SEÑAL DE DATOS (SDA)

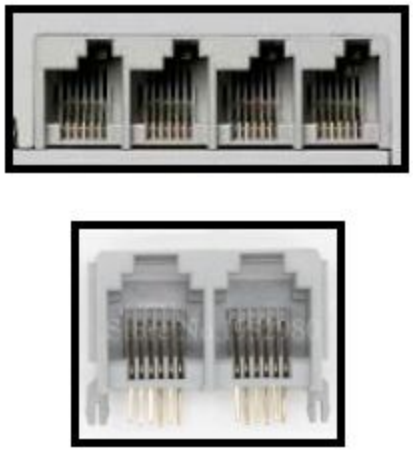
En el arduino uno, los pines I2C irán conectados en los pines analogicos A4(SDA) y A5(SCL) en el proyecto decidimos usar arduino uno, debemos tener en cuenta que los pines analogicos encargados de cotrolar el protocolo de comunicación I2C son los pines A4 y A5, con esta información podremos comunicar el lego EV3 y arduino con el protocolo I2C y teniendo en cuenta que el arduino obtenga la alimentación de lego también debemos conectar el cable rojo a la tierra y el verde a la entrada vin del arduino.

2.5.3. Fabricación del circuito, que sirve como adaptador.

También podemos diseñar nosotros mismos una sencilla placa, que permita la comunicación entre LEGO y Arduino.

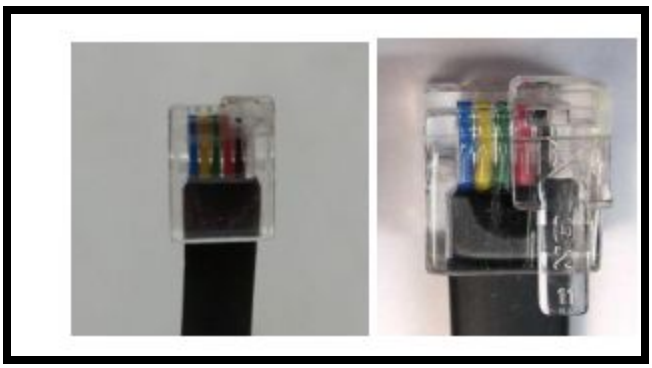
El principal problema es que no podemos comprar ningún conector hembra del cable de comunicación LEGO. Pero si podemos comprar un conector hembra de un cable del tipo RJ12 ya que presentan la misma dimensiones. La única diferencia consta en la posición de la pestaña, la de LEGO tiene el lateral y el cable RJ12 en posición es central. Podemos ver la diferencia en la siguiente imagen.

Figura 35. Puertos de Conectores RJ12.



En las siguientes figuras podemos ver la diferencias en los conectores, la solución que nosotros le dimos a este problema fue adaptar el cable del RJ12, fue retirarle la la pestaña y darle un poco de lija, para que se adaptara en el lego EV3, en la siguiente imagen podemos observar los cambios:

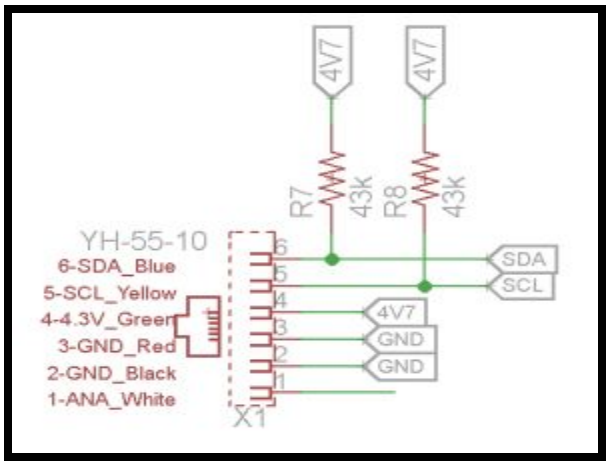
Figura 36. Cable RJ12.



Tomado de:https://www.alibaba.com/product-detail/factory-price-RJ11-RJ12-6P6C-6P4C_60687579580.html

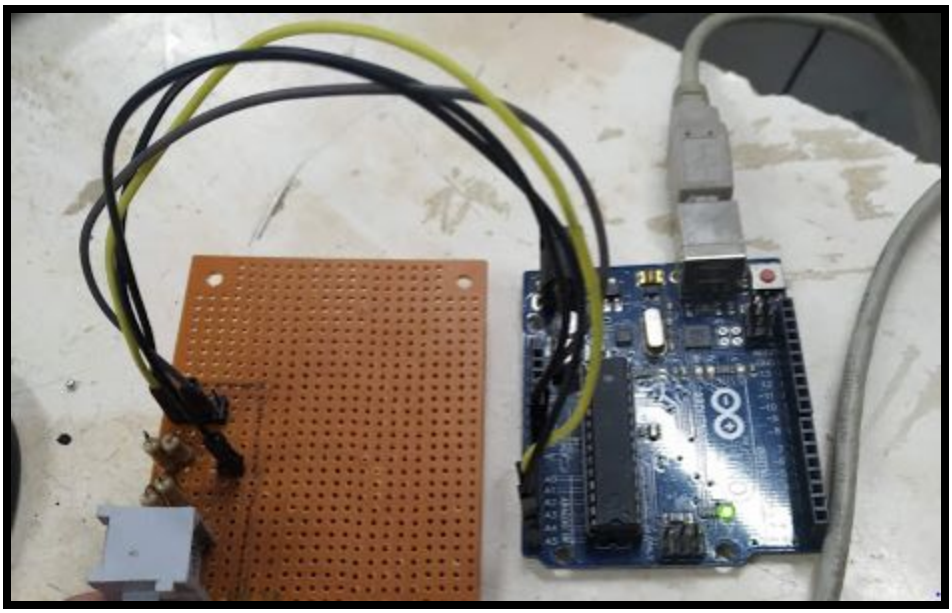
Ya solucionado ese problema vamos a diseñar el esquema a continuación que se muestra en la figura.

Figura. 37. Esquema del circuito.



Tomado de:https://www.dexterindustries.com/howto/connecting-ev3-arduino/

Figura. 38. Prueba del circuito I2C en plaqueta universal prueba



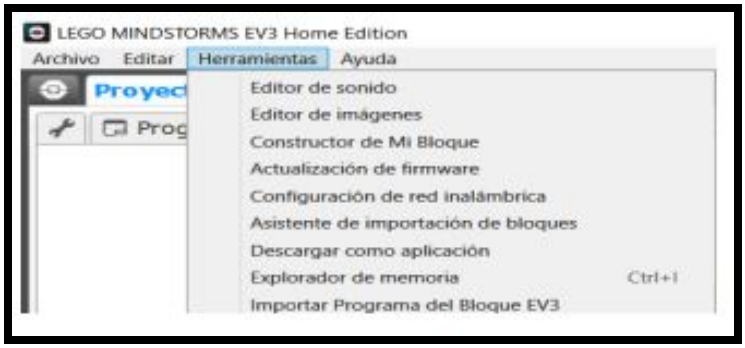
2.5.4. Configuración I2C en Lego EV3

Para poder programar con el software de LEGO Mindstorms debemos de utilizar unos bloques que permiten la comunicación I2C entre LEGO y Arduino que han sido desarrollados por la empresa Dexter Industries. Para utilizar dichos bloques, seguiremos los siguientes pasos.

1. Descargamos e instalamos el software LEGO Mindstorms disponible en la página web del fabricante.
2. Ahora descargamos un archivo llamado Dexter.ev3.
3. Una vez descargado, abrimos el programa LEGO Mindstorms y seguiremos la siguiente pasos para la instalación adecuada del bloque.

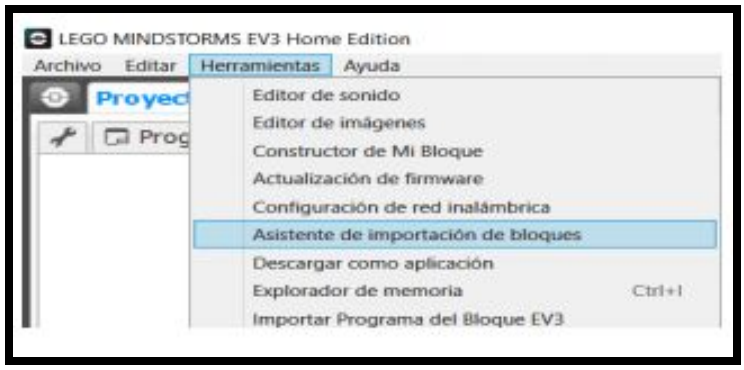
- Pulsamos herramientas.

Figura. 39. Programa LEGO.



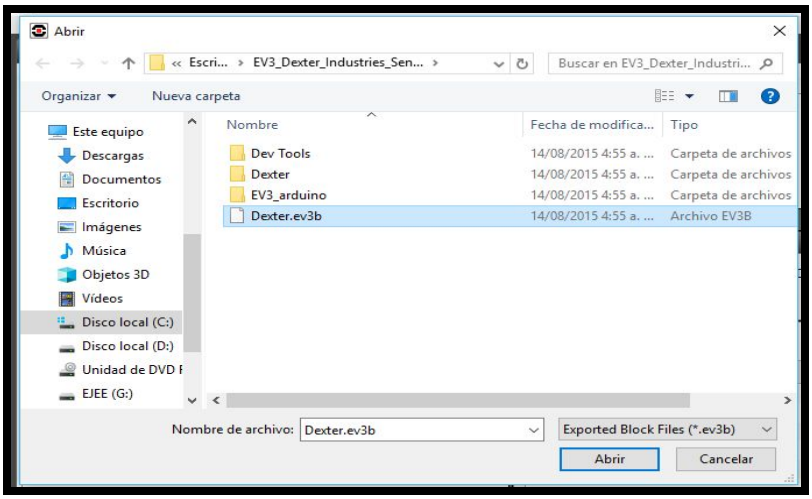
- Luego nos vamos a la opción asistente de importación de bloques.

Figura. 40. Asistente de bloques.



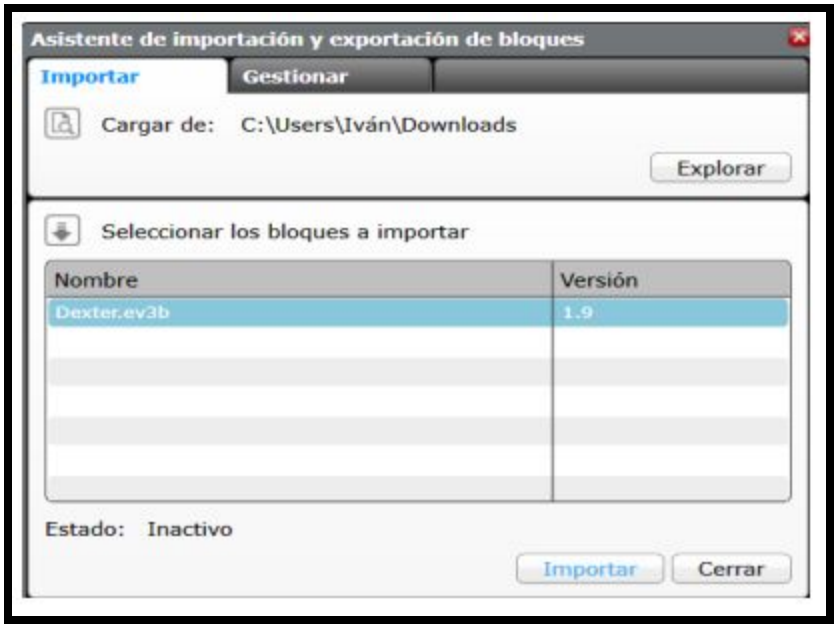
- Luego le damos explorar y buscamos el fichero Dexter. ev3

Figura. 41. Archivo dexter EV3



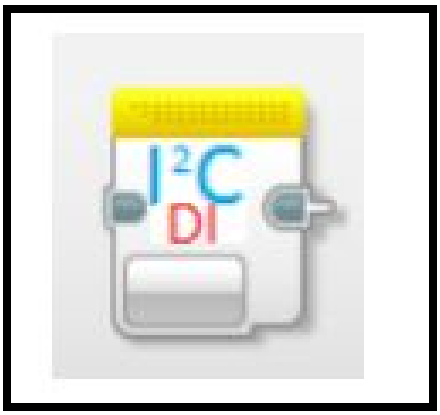
- Después de seleccionar el fichero, le damos importar

Figura. 42. Selección de fichero



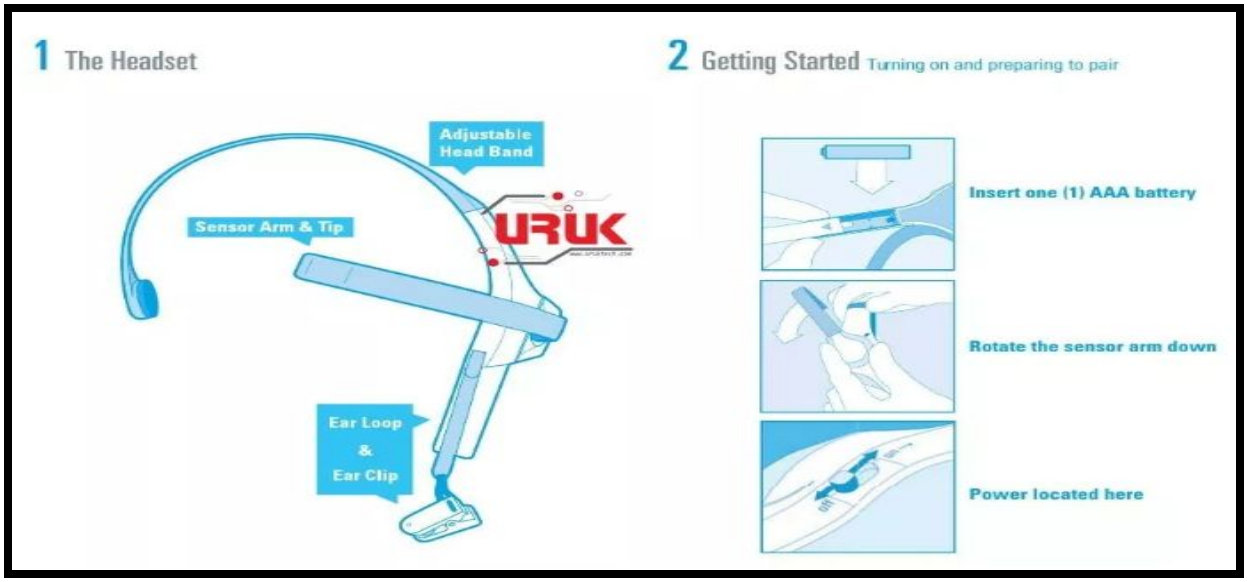
- Después después de esto podemos encontrar el bloque, se llama EV3_I2C y lo podemos encontrara en la pestaña amarilla de bloques de sensores, el bloque es el siguiente.

Figura. 43. Bloque I2C para LEGO



2.6. Descripción electrónica de la diadema MindWave

Figura. 44. Descripción de la diadema



La diadema mindwave lleva mucho tiempo en de investigación de las señales EEG y ponen en nuestras mano el alcance para poder estudiar estas ondas, ya que mide de una forma segura las ondas cerebrales donde supervisa el nivel de relajación y atención.

Esta diadema está compuesta por:

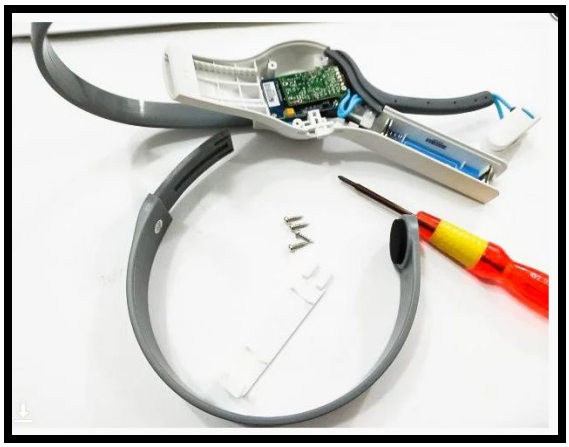
- Sensor arm up: Height: 225mm x Width:155mm x Depth: 92mm
- Sensor Arm down: height: 225mm x width:155mm x depth:165mm
- 30mW rate power; 50 mW max power
- 2.420 - 2.471GHz RF frequency
- 6dBm RF max power
- 250 kbit/s RF data rate
- 10m RF range
- 5% packet loss of bytes via wireless
- UART Baud rate: 57,600 Baud
- 1mV pk-pk EEG maximum signal input range
- 3Hz – 100Hz hardware filter range
- 12 bits ADC resolution
- 512 Hz sampling rate
- 1Hz eSense calculation rate

diagrama de bloque

2.6.1. Descripción del circuito interno

La diadema mindwave cuenta con la placa TGAM1 como se muestra en la siguiente imagen.

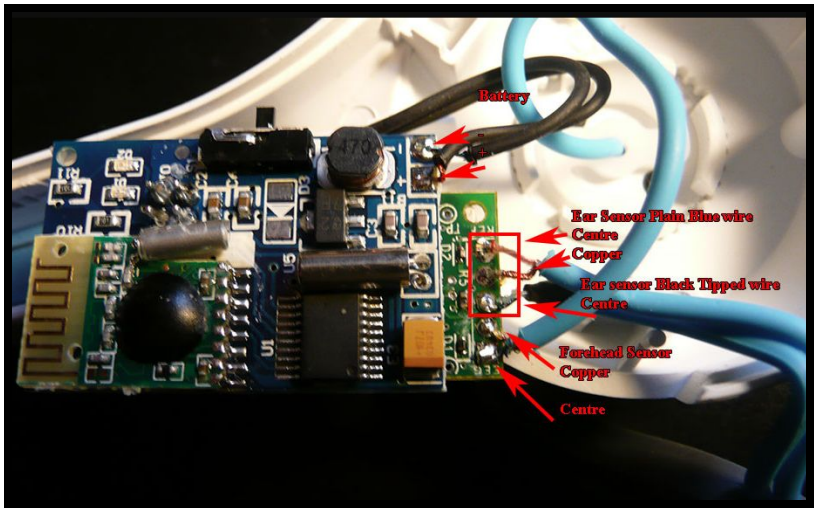
Figura. 45. Parte interna de la diadema mindwave



Tomado de:

https://www.instructables.com/id/The-Modifying-Course-of-MindWave-RF-to-MindWave-BL/

Figura. 46. TGAM1



Tomado de:https://lsdbase.files.wordpress.com/2012/12/moddedmindwave1.jpg

El biosensor EEG de NeuroSky digitaliza y amplifica señales cerebrales analógicas sin procesar para entregar entradas concisas a juegos, juguetes y dispositivos que ejecutan aplicaciones de salud y bienestar, educativas y de investigación.

Características TGAM1

- Conexión directa al electrodo seco
- Un canal EEG + Referencia + Tierra
- Detección de señal de nivel extremadamente bajo
- Filtro avanzado con alta inmunidad al ruido.
- EEG RAW a 512Hz

Salidas de datos

- Señal RAW EEG

- Atención
- Meditación
- Delta, Theta, baja apha, alta alfa, baja beta, alfa beta.
- Algoritmos adicionales disponibles en SDK

2.6.2. Comunicación directa por puerto serial

Es el proceso por el cual se hace la conexión entre la diadema mindwave y el computador por medio de RF Dongle, es una pieza de hardware que permite conectar dos dispositivos entre sí, sin necesidad de cable, en este caso la diadema y el PC. El dongle es un tipo de memoria USB como se muestra en la siguiente imagen.

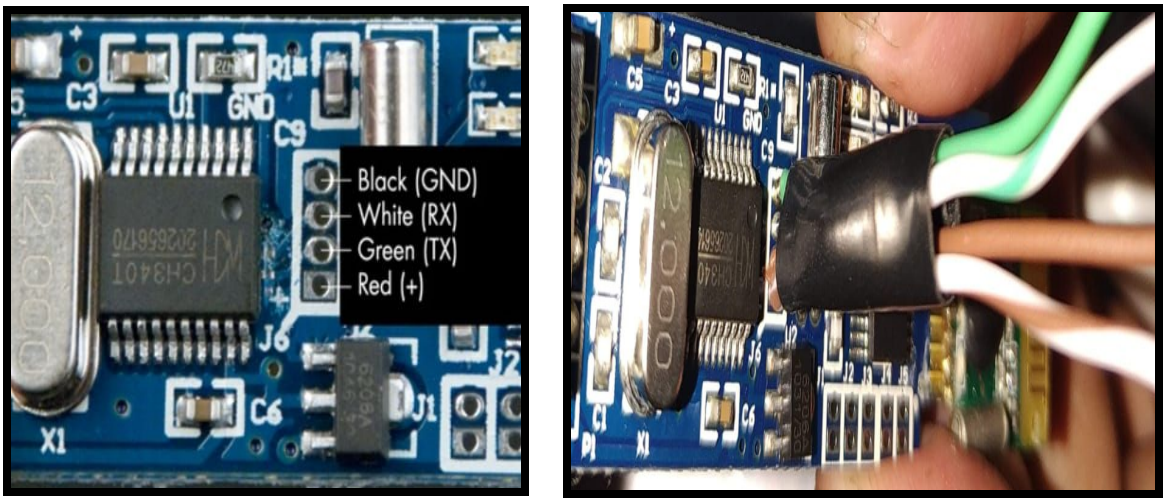
Figura 47 . Dongle USB RF

Tomado de:https://www.amazon.com/NeuroSky-80026-001-MindWave-RF-Dongle/dp/B00LEZBU40

2.6.3. Comunicación por Socket

Esta comunicación inicialmente se tuvo que usar para enlazar la diadema y el PC, también se modificó el Dongle para poder hacer la comunicación por radio frecuencia que lleva el nombre de socket, a la cual se le adaptaron 4 cables al Dongle ya que ella trae la opción de modificarla para soldar dos cables la alimentación, y los otros son solamente dos líneas, la de datos (SDA) y la de reloj (SCL).

Figura.48. Dongle modificada



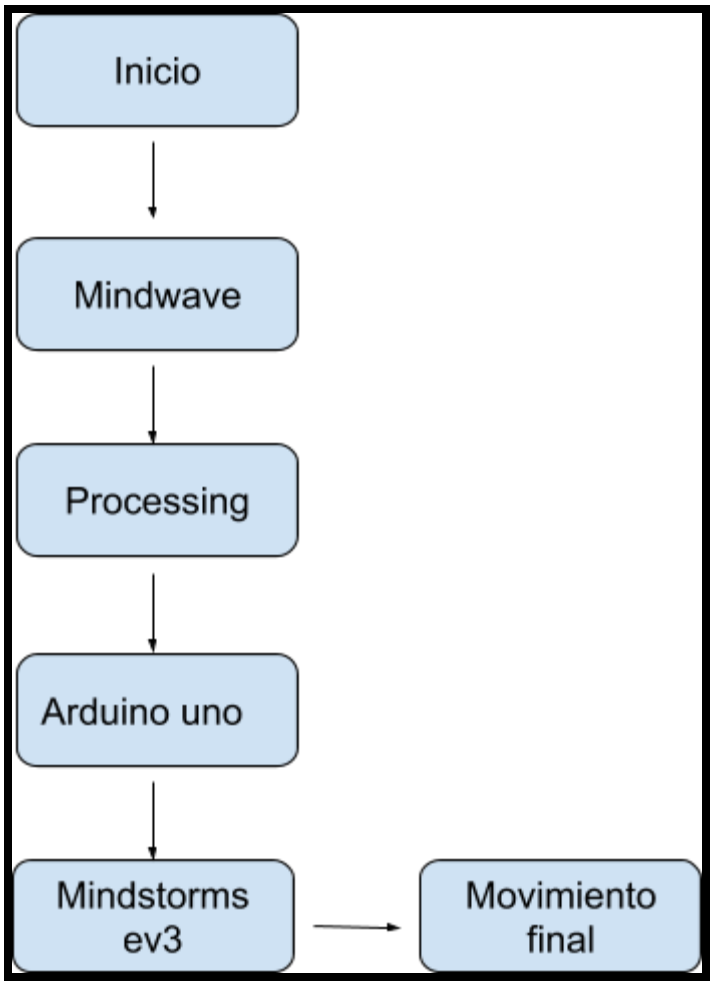
3. Programación y Validación del Sistema Robótico.

En este capítulo se describen los algoritmos y procedimientos de programación realizados para el control del brazo lego EV3 y Se explica cómo fue realizada la interconexión de control con la diadema Mindwave y los principales algoritmos probados para el control del brazo lego EV3.

3.1. Diagrama de control del sistema

En este diagrama muestra una idea simple de como es el orden en que están enlazados lo programas, para darle movimiento y control al brazo lego EV3.

Figura. 49. Diagrama de flujo control del sistema

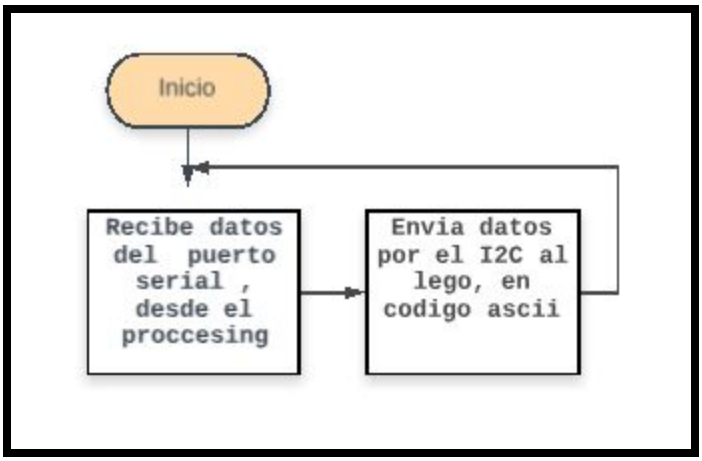


- Mindwave, es el principal componente de este proyecto por que es el encargado de leer las ondas cerebrales, y las lleva por medio de una conexión directa entre un Dongle y la diadema, para darme datos tipo serial.
- El processing es el encargado de recibir ese dato serial, y poder visualizarlo de manera interactiva, ya teniendo esta comunicación entre la diadema y processing podemos empezar a mandar datos al arduino
- En este punto lo que hace el arduino es servir de puente entre el processing y el lego EV3 con la comunicación I2C, el arduino me va a recibir un valor de processing y lo va a mandar en un lenguaje de programación llamado ascii.
- Cuando instalamos la librería I2C en el mindstorms, podemos recibir el dato que me esta dejando pasar el arduino y empezar a programar para darle acciones al brazo lego.
- Cuando todo esté compacto y enlazado podremos garantizar un óptimo funcionamiento del brazo EV3, dándole alguna secuencias de movimientos.

3.2. Programa de comunicación Arduino Lego EV3

Como se muestra en el diagrama de flujo, se simplifica de manera gráfica la programación del arduino que sirve como puente, para enviarle datos al mindstorms.

Figura.50. Diagrama de flujo Arduino LEGO EV3

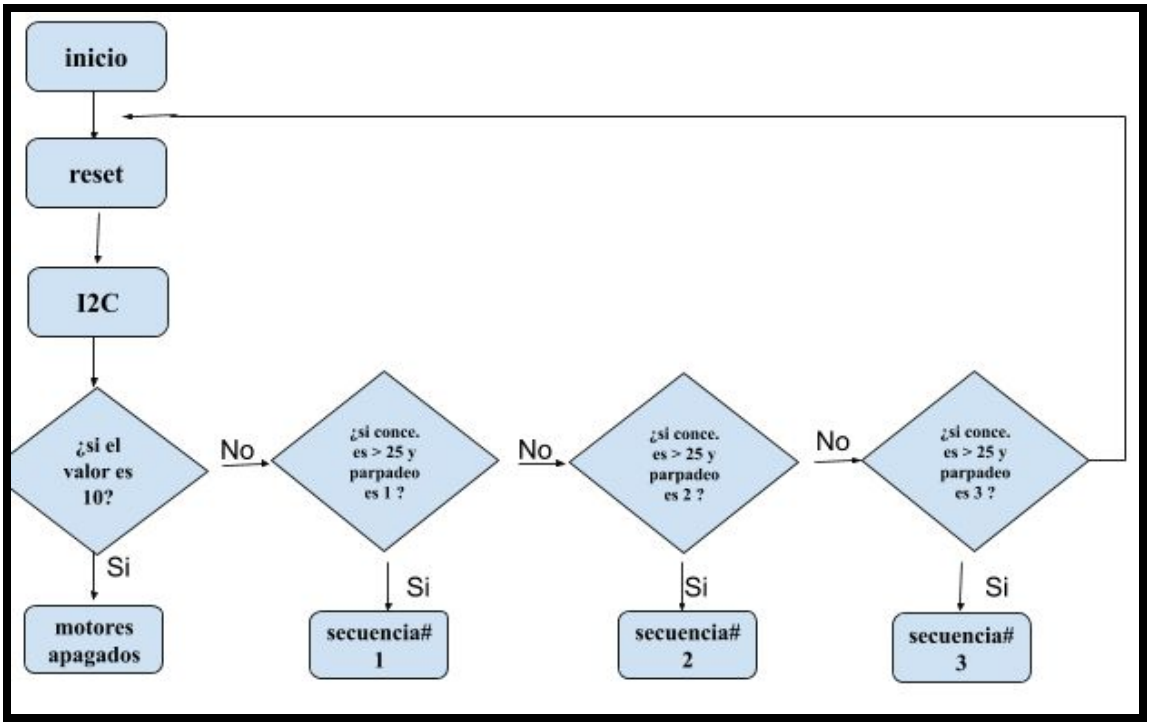


- En este punto se reciben datos desde el processing por el puerto serial, en el cual me permite enviarlos al mindstorms .
- cuando el arduino recibe estos valores, el me los convierte a código ascii, para que sean reconocidos en el mindstorms y puedan ser utilizado para programar el brazo lego.

3.3. Programa de bloques de control Lego EV3

Como se muestra en este diagrama de flujo, se simplifica de manera gráfica la programación que se emplea en brazo lego EV3.

Figura. 51. Diagrama de flujo control LEGO EV3



- Antes de iniciar con la ejecución de un movimiento cuento con un bloque de reset para que cargando el código siempre me deje el brazo lego en una posición inicial.
- Después de tener una posición inicial, pasamos al bloque I2C es el cual va a recibir el dato enviando desde el processing.
- cuando llegue el dato será mostrado en el bloque del EV3

- Cuando el dato llega al I2C sigue su paso a un interruptor que será encargado de ver el valor y poder ejecutar la secuencia.
- si llega un valor de 10, el brazo lego no ejecuta ningún movimiento.
- los movimientos los empieza a ejecutar, cuando logró tener una concentración >25 y parpadeo o frunzo la cara, por cada parpadeo me va incrementando una variable que me le garantiza movimiento diferentes, las condicion que siempre tendrá que cumplir es llevar nuestra concentración a un valor mayor a 25.

3.4. Interfaz de usuario en Processing

Se instaló una librería llamada(firmata) para poder leer los dato desde un puerto serial donde esta conectado el dongle el cual es el que cual hace la conexión de forma directa con la diadema, ya obteniendo los datos pasamos a la visualizado en el programa, lo que hace el programa es mostrar la meditación y concentración del individuo que esté usando la diadema, en la parte gráfica podemos observar cómo aparecen los valore medido en una escala de de 0 a 100 y podemos apreciar también cómo van creciendo de manera exponencial unos círculos mediante a la medición de estas ondas.

Figura. 52. Librería firmata

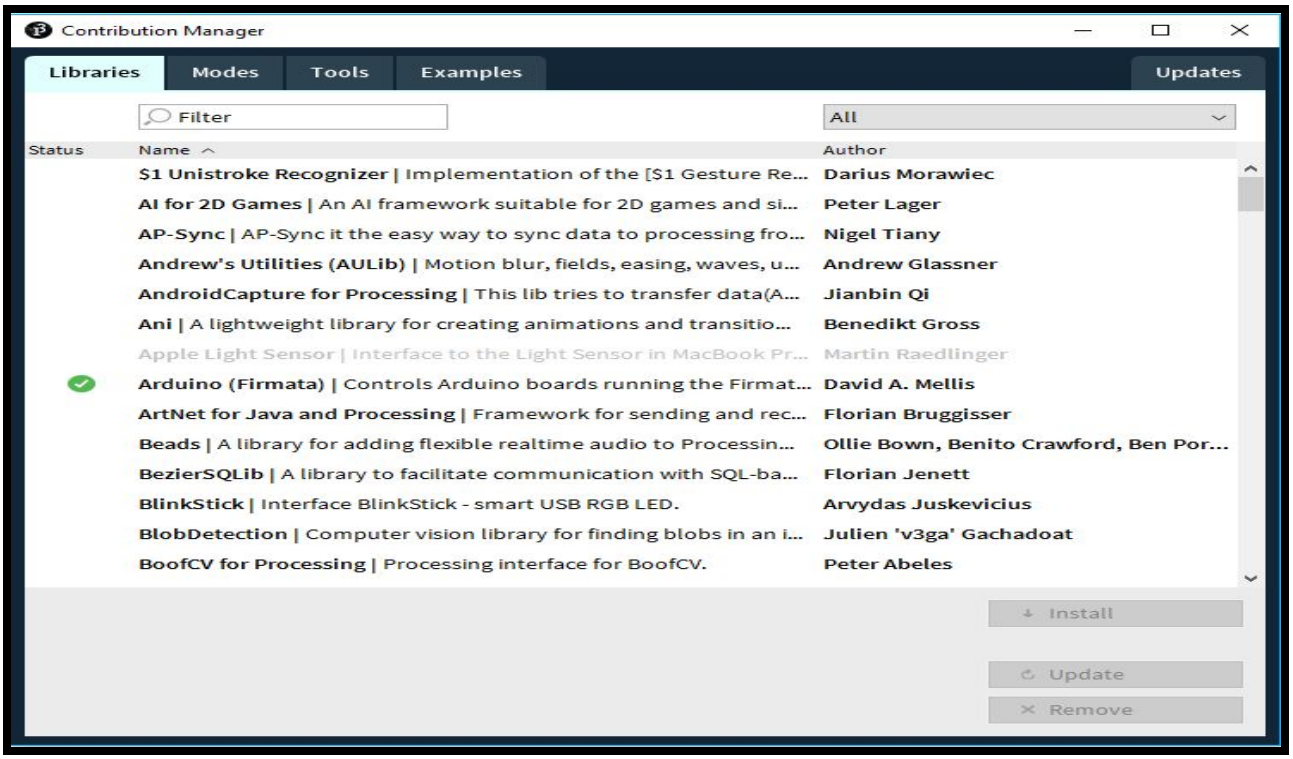
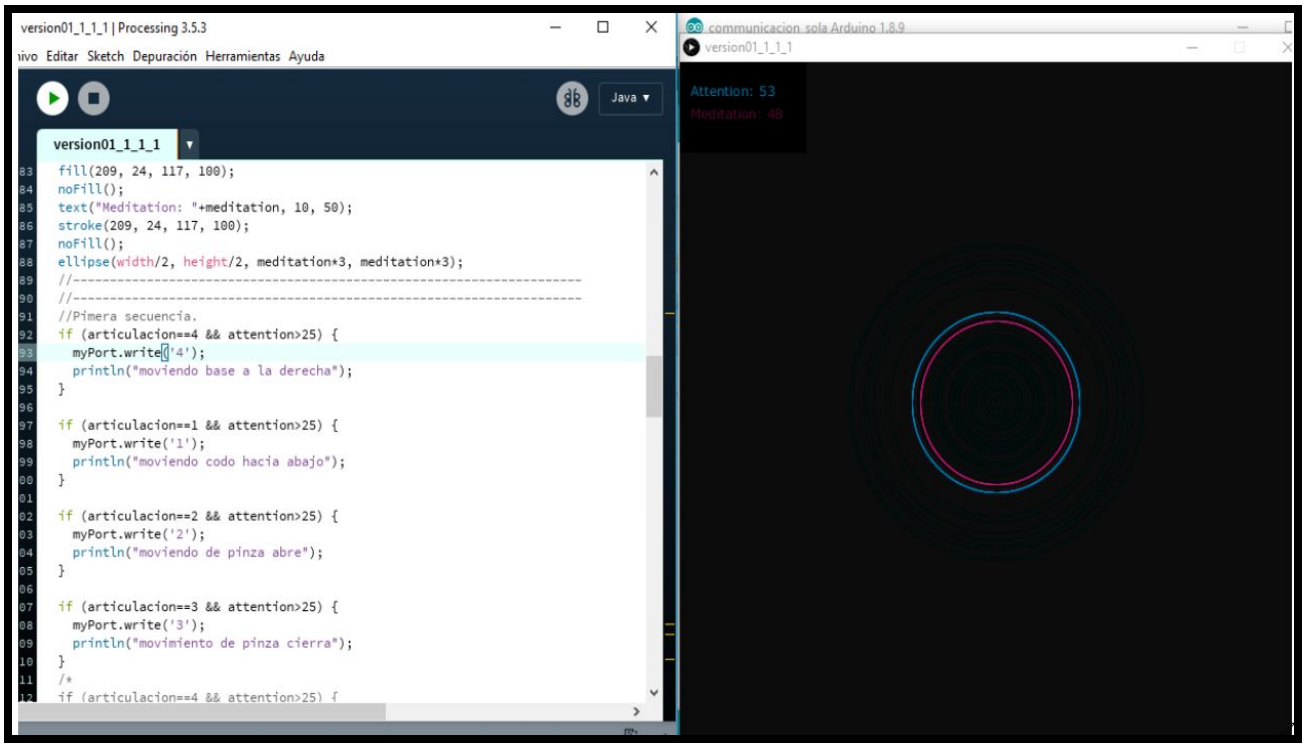


Figura.53. Interfaz processing



4. Pruebas y Resultados

En este capítulo, se presentan unas pruebas que son claves para comprobar el correcto funcionamiento de la diadema, los software utilizados, para el control del brazo lego EV3.

4.1. Pruebas con el software propio de la diadema.

4.1.1. Descripción de la prueba

Para esta prueba se empleó el software que se descarga de la página NeuroSky y uno que viene de fábrica con el instalador de la diadema store, esta prueba se realizó con el fin de entender el funcionamiento de la diadema y qué señales son mostradas y capturadas. En la Figura 54, se muestra la forma en que se realizó la prueba, esta prueba se realizó en diferentes personas.

4.1.2. Resultados de la prueba

Tabla 3. Prueba en persona 1.

Tipo de señal	Observación
Atención	Mantuvo un buen rango en la prueba realizada
Meditación	Mantuvo un buen rango en la prueba realizada
Parpadeo	Respondió de una manera rápida y sin problema.

Figura.54. Prueba parpadeo persona 1

Figura.55. Prueba gráfica 1

Tabla 4. Prueba en persona 2.

Tipo de señal	**Observación**
Atención	estuvo en un rango adecuado
Meditación	estuvo un poco mejor que la atención
Parpadeo	respondió bien, sin problema

Figura.56. Prueba parpadeo persona 2

Figura.57. Prueba gráfica 2

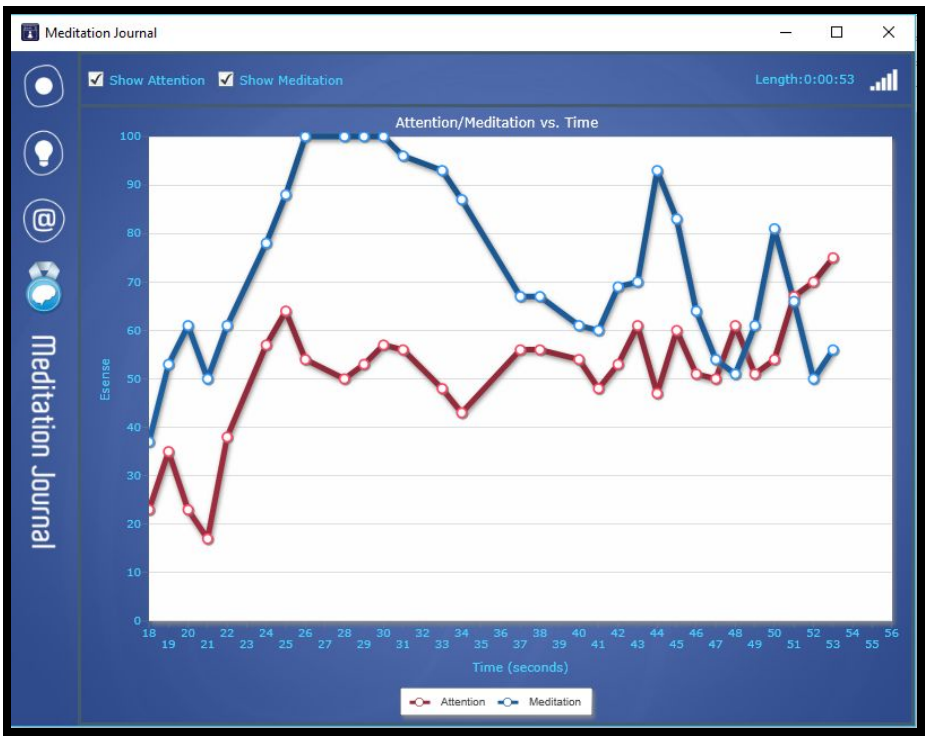
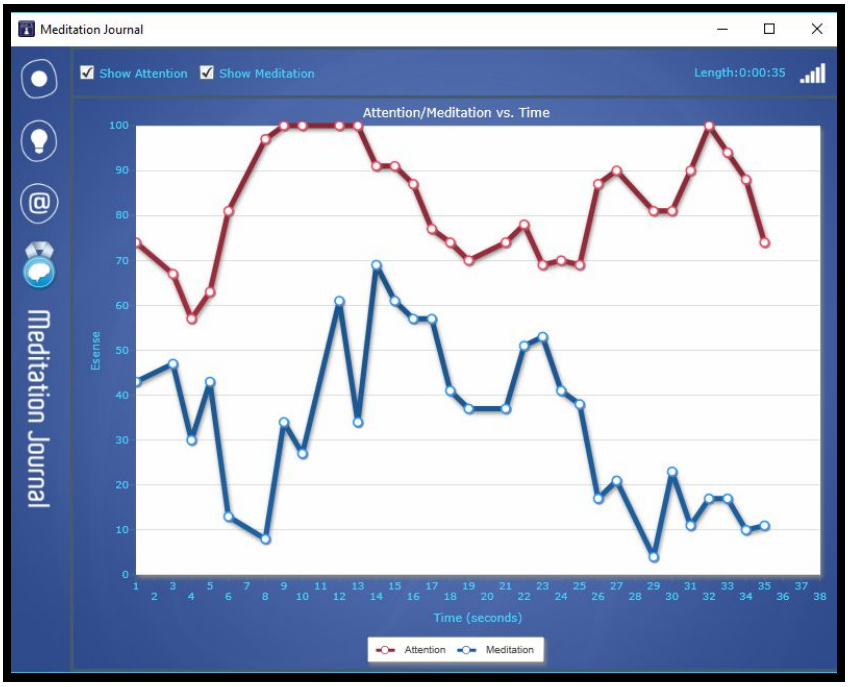


Tabla 5. Prueba en persona 3.

Tipo de señal	**Observación**
Atención	Se puede decir que fue uno de los mejores
Meditación	la mantuvo en un buen promedio
Parpadeo	tuvo un poco de retardo a la hora de llegar la señal

Figura.58. Prueba parpadeo persona 3

Figura.59. Prueba gráfica 3



4.1.3. Observación de la prueba

- En esta prueba se observó que para la persona 1 puede mantener la concentración y la meditación estable y con un buen tiempo en la llegada de la señal del parpadeo.
- La persona 2 se observó un poco más tranquila lo cual su meditación fue un poco más precisa que su atención, también tuvo un buen tiempo de llegada de la señal del parpadeo.
- La persona 3 fue la que mejor promedio tuvo en la concentración y meditación, el único problema fue que tuvo un breve retardo en la llegada de la señal del parpadeo.

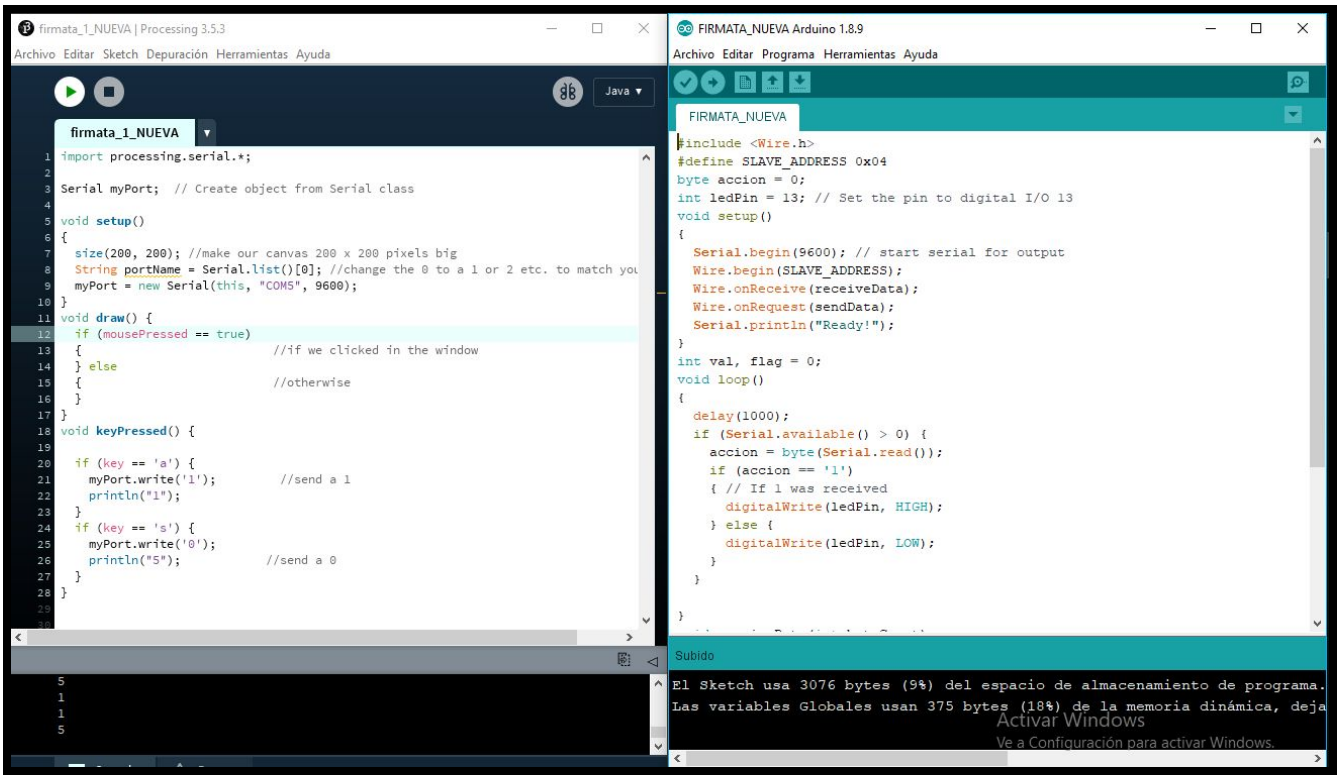
4.2. Pruebas de control de enlaces de programa

4.2.1. Descripción de la prueba

Para esta prueba se enlazaran los diferentes programas utilizados para hacer la respectiva comunicación, desde el processing hasta el lego EV3, consistirá en mandar un valor desde el processing, que lo reconozca el arduino, pueda ser enviado al lego para que el bloque I2C lo reconozca y me lo pueda mostrar en la pantalla principal.

4.2.2. Resultados de la prueba

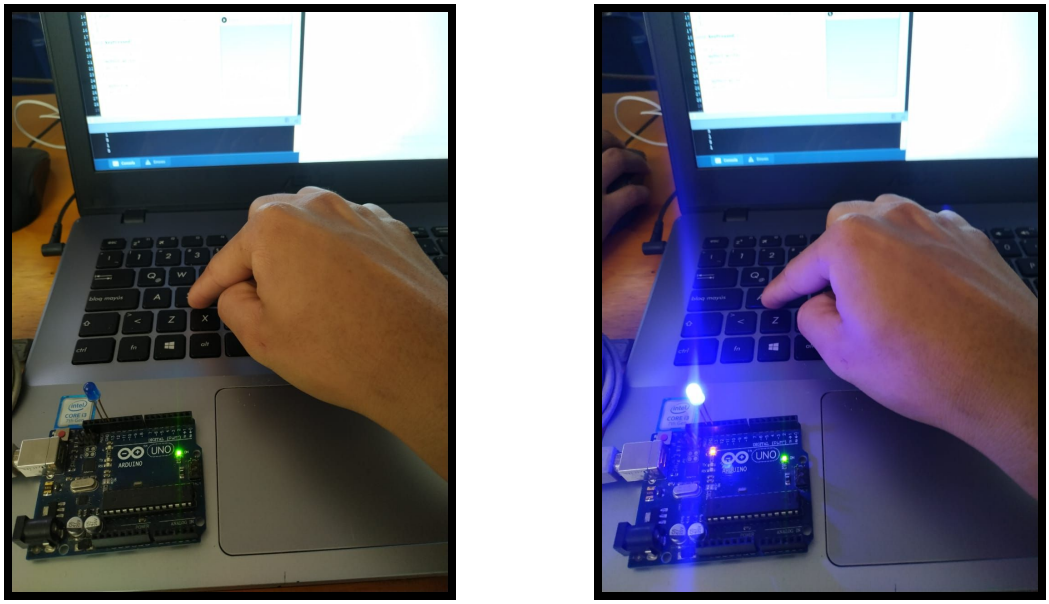
Figura.60. Resultados enlaces de programa



En nuestro draw(), enviamos lo que queramos por el puerto serie utilizando el myPort.write de la biblioteca de procesamiento en serie. Para este boceto, enviaremos un '1' cada vez que hagamos clic en la letra ‘a’ y enviaremos un ‘0’ cuando oprimimos la letra ‘s’ en la ventana Procesamiento. También lo imprimimos en la consola, solo para ver que en realidad estamos enviando algo

A continuación, en nuestro setup()método, configuraremos el pin del LED en una salida, ya que estamos alimentando un LED, y comenzaremos la comunicación en serie a 9600 baudios.
Finalmente, en el loop()método, veremos los datos seriales entrantes. Si vemos un '1', configuramos el LED en ALTO (o encendido), y si no lo hacemos (por ejemplo, vemos un '0' en su lugar), apagamos el LED. Al final del ciclo, demoramos un poco para ayudar al Arduino a mantenerse al día con la transmisión en serie.

Figura.61. Resultado enlace Arduino



Con este paso nos estamos asegurando que el valor desde el processing está llegando correctamente al arduino por qué me está cumpliendo la función básica que es prender el led cuando le llegue un’1’ y lo apaga cuando llegue un ‘0’.

Figura.62. Resultado Enlace Bloque EV3

cuando el valor ‘1’ llega al arduino el me sirve de puente para que pase directamente al lego en código ascii, en este lenguaje cada tecla maneja un valor diferente, esta prueba no está llegando un ‘1’ desde el processing que en este lenguaje el valor es de ‘49’ y eso es lo que me está garantizando que efectivamente si le esta llegando el valor indicado.

4.2.3. Observación de la prueba

- Tener en cuenta un tiempo de espera adecuado para que me muestre el valor en la pantalla principal, ya que al inicio de las pruebas teníamos dificultades, por que no nos mostraba el valor y esto ocasiona frustración pensando que estaba malo el proceso.
- después de darle el tiempo de espera adecuando podemos ver de una manera satisfactoria la comunicación entre todos los programas enlazados.

4.3. Pruebas de brazo LEGO con la Mindwave.

4.3.1. Descripción de la prueba

Para esta prueba se unificó todo los programas para poder garantizar el movimiento de brazo lego.

4.3.2. Resultados de la prueba

En esta prueba lo que debes tener en cuenta son las condiciones con en cual se garantizan los movimientos, para garantizarme que las la variable articulación vaya aumentando, tenemos que parpadear, por cada parpadeo irá incrementando.

- las condicicones, son si articulacion es ‘0’ y su concentración es >25 me importara un ‘inicio’
- las condicicones, son si articulacion es ‘1’ y su concentración es >25 me importara un ‘secuencia#1’
- las condicicones, son si articulacion es ‘2’ y su concentración es >25 me importara un ‘secuencia#2’
- las condicicones, son si articulacion es ‘3’ y su concentración es >25 me importara un ‘secuencia#3’

Figura.63. Resultado código final

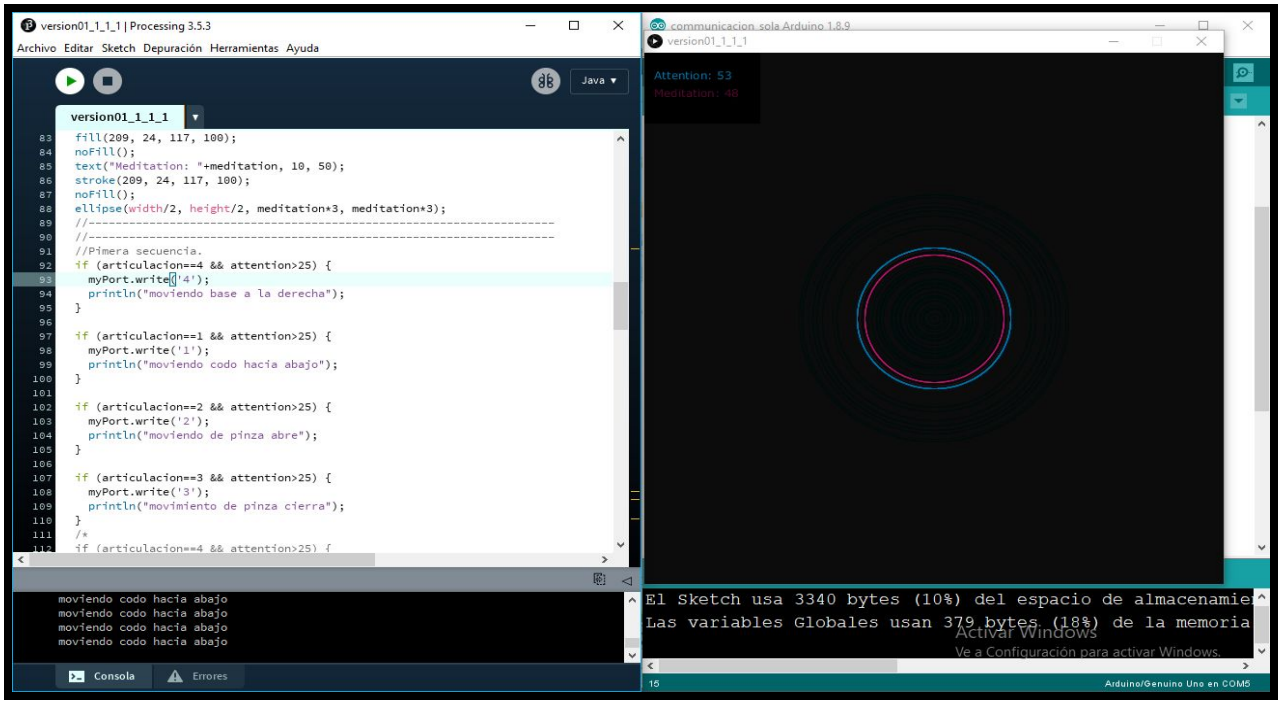
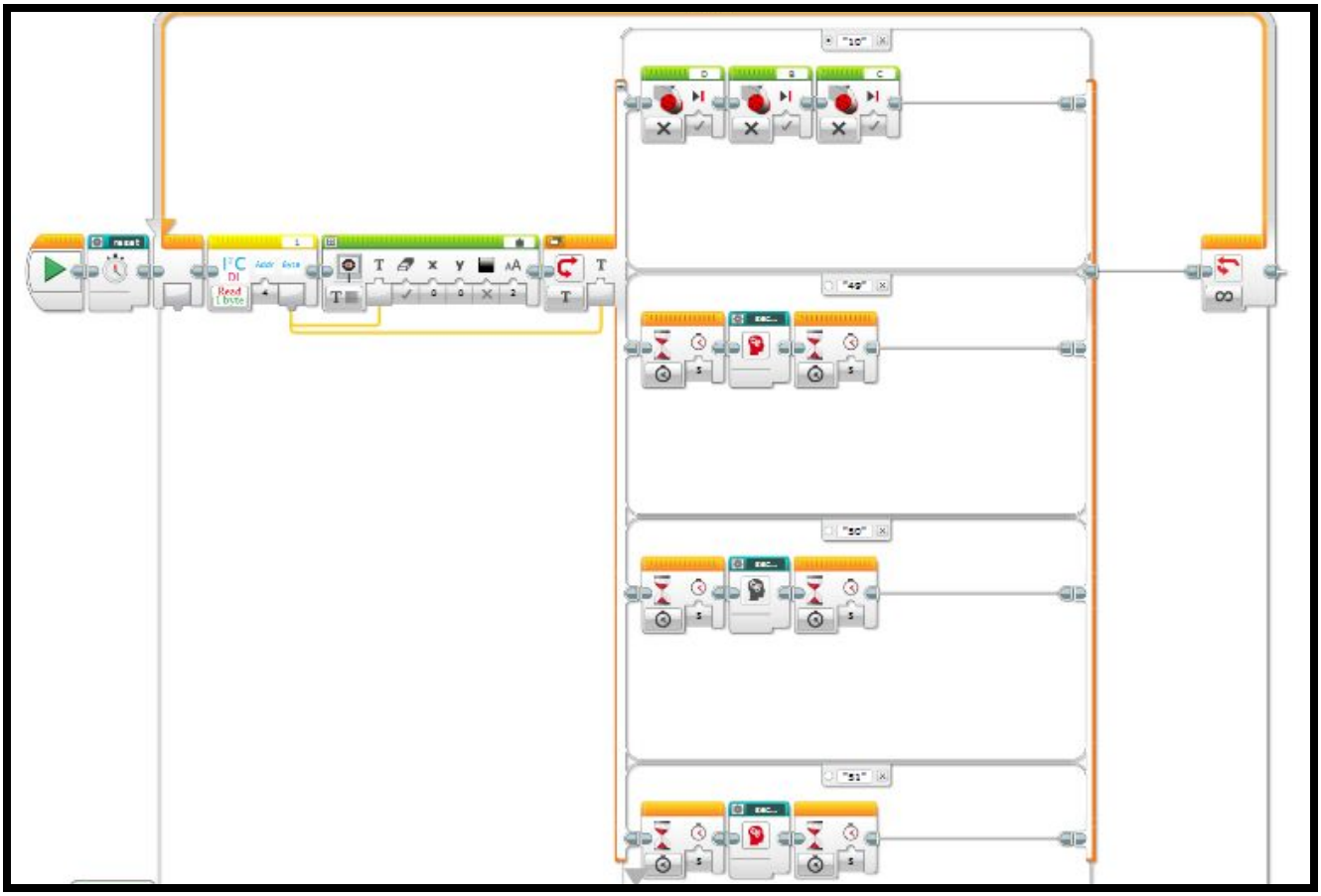


Figura.64. Resultado programación LEGO



Antes de iniciar con la ejecución de un movimiento cuento con un bloque de reset para que cargando el código siempre me deje el brazo lego en una posición inicial, después de tener una posición inicial, pasamos al bloque I2C es el cual va a recibir el dato enviando desde el processing, cuando llegue el dato será mostrado en el bloque del EV3, dependiendo el dato que llegue me ejecutará una secuencia que cada una tendrá un movimiento diferente y específico.

- secuencia#1: inicialmente contamos con un reset para garantizar siempre una posición inicial, esta secuencia comienza con un recorrido de 90 grados, inicia en la mitad y de desplaza hacia la derecha, baja recoge el objeto y vuelve al centro.

- secuencia#2: inicialmente contamos con un reset para garantizar siempre una posición inicial, esta secuencia comienza con un recorrido de 90 grados, inicia en la mitad y se desplaza hacia la izquierda, baja recoge el objeto y vuelve al centro.

- secuencia#3: inicialmente contamos con un reset para garantizar siempre una posición inicial, esta secuencia comienza con un recorrido de media luna, inicia en el centro de desplaza hacia la derecha, baja y recoge el objeto, después de recogerlo se desplaza hacia el otro extremo baja y suelta el objeto ya cuando hace este recorrido vuelve a la posición inicial.

Figura.65. Secuencia de movimiento brazo LEGO

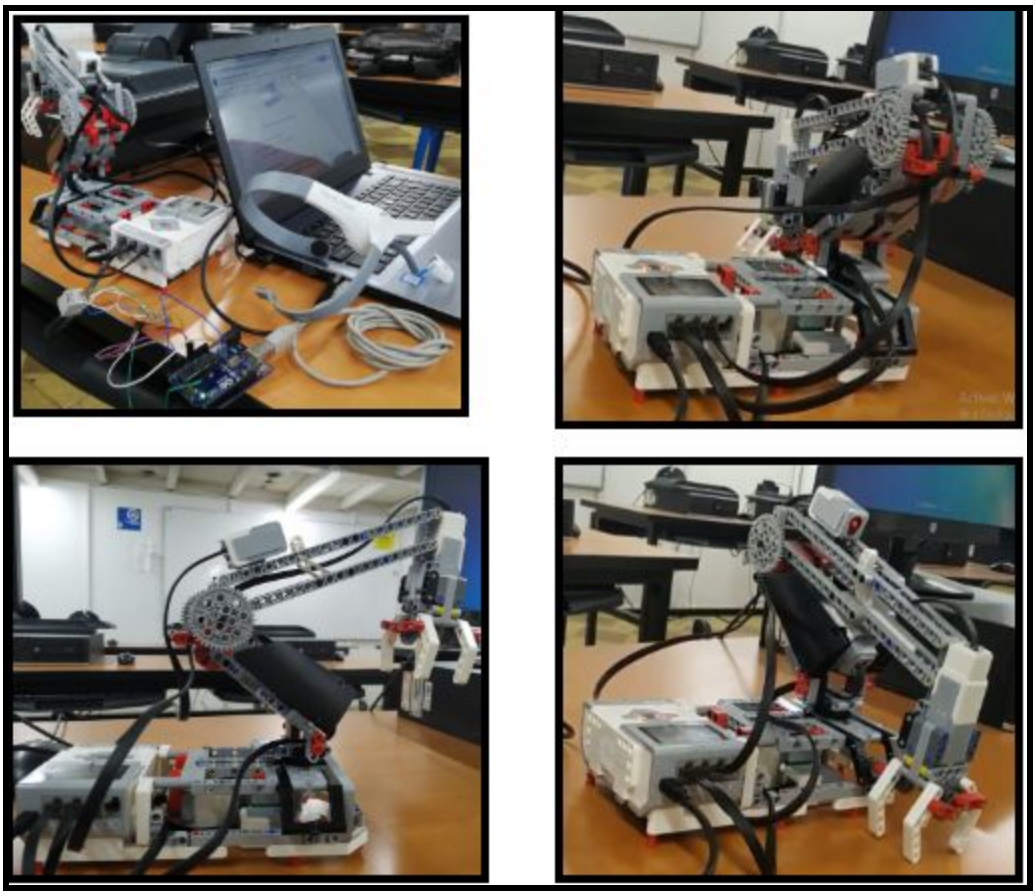


Figura.66. Secuencia 1

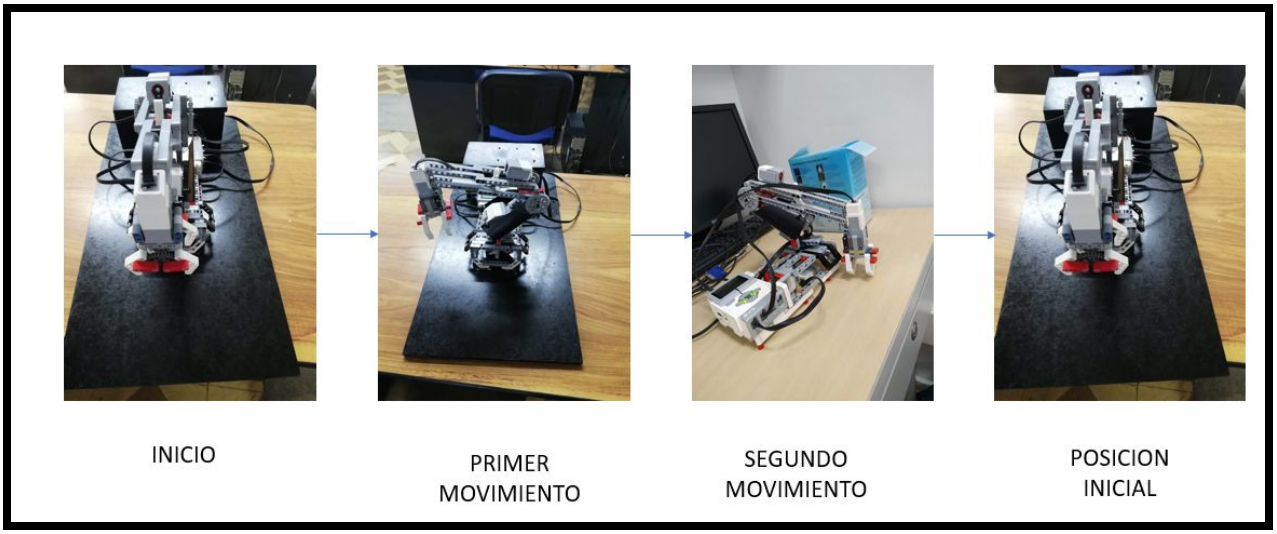


Figura.67. Secuencia 2

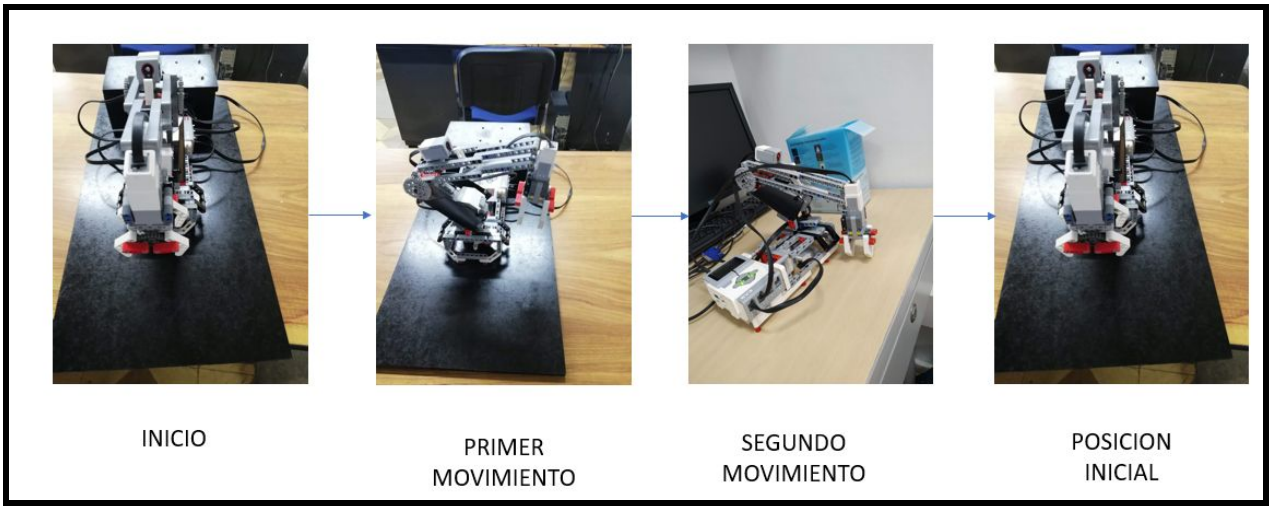
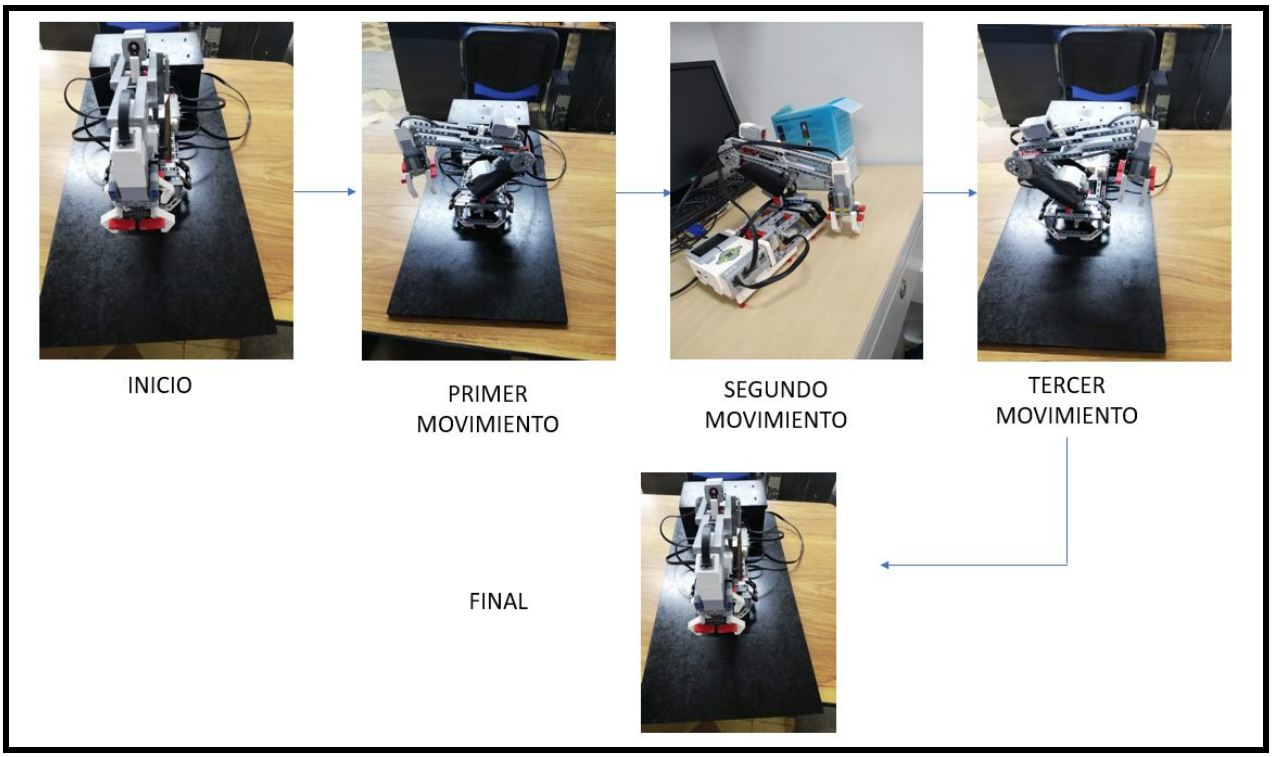


Figura.68. Secuencia 3



En esta imagen podemos ver como es el inicio de cada uno de los movimientos de brazo lego EV3.

4.3.3. Observación de la prueba

- Con esto concluimos que todo la parte de control está funcionando de una forma sincronizada y ordenada.

5. Conclusiones

Lo expuesto en el presente trabajo permite llegar a las siguientes conclusiones.

- Se presentaron problemas al momento de adquirir la diadema MindWave, y al instante de la llegada, por el motivo que no incluía la comunicación bluetooth, por lo que se procedió ha realizar una comunicación serial para poder comunicar el LEGO con la MindWave. Esta comunicación se hizo por medio del módulo I2C, Una vez realizado este paso se comenzó hacer las pruebas del funcionamiento entre el grupo y con diferente personas, lo cual nos permitió comprobar un correcto funcionamiento de la comunicación serial.
- En cuanto a los objetivos específicos propuestos se cumplio que en la captura de señales con la diadema se logre hacer una interfaz en processing que nos muestra el nivel en porcentaje con las variables de atención y meditación, dicho porcentaje va de 0 a 100, en donde esta va a la par con unas circunferencias de color roja y azul, que nos representa el nivel de las dos variables. Donde se puede destacar que el usuario tenga un panorama sobre qué variable tiene más control y en cual debe entrenarse.
- De los principales problemas encontrados se destacan la comunicación entre la diadema MindWave y el PC, el cual fue con la USB dongle, no enlazaban ni cumplia la funcion de puente entre los dispositivos, la solución fue investigar otra manera de conexión con el dongle, fue una exhaustivo análisis de ella, al final se decidió desarmarla para verificar su conexión, se pudo visualizar que una pista del circuito se había levantado y se procedió a reparar con soldadura.

6. Bibliografía

[Señales EEG 0810]. Explicación sobre la ondas EEG. Recuperado de: https://www.saludemia.com/-/prueba-electroencefalograma En 24/08/2018, pag 15

[**Señales ECG 0810].** Información sobre el examen ECG. Recuperado de: https://contenidos.bupasalud.com/salud-bienestar/vida-bupa/electrocardiograma-ecg#Qu%C3%A9%20sucede%20durante%20un%20EGC https://www.texasheart.org/heart-health/heart-information-center/topics/electrocardiograma/ En 24/08/2018, pag 16

[Señales EMG 0810). Procedimiento de diagnóstico que se utiliza para evaluar la salud de los músculos y las células nerviosas. Recuperado de: https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/emg/about/pac-20393913 En 17/06/2019, pag 17

[Características 0810] tipos de ondas que se utiliza y sus velocidades de comunicación. Recuperado de: http://www.ub.edu/pa1/node/130 En 18/06/2019, pag 18

[TIPOS DE SEÑALES 0810] Identificación de las ondas. Recuperado de: file:///C:/Users/estudiante02/Downloads/minndwave.pdf En 18/06/2019, pag 18

[Captura de señales 081]. Sistema que capta la actividad cerebral. Recuperado de: http://atc.ugr.es/pages/personal/propia/alberto_prieto/conferencias_pdfs/bci_aprieto_julio2013/%21 En 22/06/2019, pag 19

[Sistema BCI 0810] Es el proceso por medio en cual se mide la actividad cerebral. Recuperado de: http://www.fgcsic.es/lychnos/es_ES/articulos/Brain-Computer-Interface-aplicado-al-entrenamiento-cognitivo En 25/06/2019, pag 19

[Muse 2] Es un dispositivo de electroencefalograma. Recuperado de: https://choosemuse.com/es/how-it-works/ En 29/06/2019, pag 21

[Brainlink] Es un auricular EEG. Recuperado de: https://www.mindtecstore.com/Macrotellect-BrainLink-Lite-EEG-Headset-V20 En 29/06/2019, pag 21

[Emotiv 0810]. Recuperado de: https://www.emotiv.com/product/emotiv-epoc-14-channel-mobile-eeg/ En 01/07/2019, pag 22

[Mindwave 0810] Es un dispositivo capaz de recoger la actividad eléctrica del cerebro. Recuperada de: http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/7784/2/2018-implementacion-tarjeta-adquisicion..pdf En 01/07/2019, pag 24

[Ejemplo 1 del brazo robótico 0810] Recuperada de: https://www.heraldo.es/noticias/sociedad/2011/04/26/i3a-brazo-robotico-controlado-por-pensamiento-137415-310.html# En 01/07/2019, pag 25

[Ejemplo 2 del brazo robótico 0810]. Brazo robótico que se puede controlar parpadeando. Recuperada de: https://pdm.com.co/controlan-brazo-robotico-con-solo-parpadear/ En 01/07/2019, pag 27.

[Ejemplo 3 del brazo robótico 0810]. Prótesis controlada por el cerebro. Recuperada de: http://tecnoemergentes.foroactivo.com/t123-controlar-robots-con-la-mente En 02/07/2019, pag 29.

[Ejemplo 4 del brazo robótico 0810]. Robot humanoide de Baxter. Recuperada de: http://tecnoemergentes.foroactivo.com/t123-controlar-robots-con-la-mente En 02/07/2019, pag 30

[Motor grande 0810]. Recuperada de: https://ro-botica.com/Producto/Servo-motor-LEGO-MINDSTORMS-EV3 En 04/07/2019, pag 32

[Motor mediano 0810]. Es ideal para bajas cargas y con mayor velocidad. Recuperada de: https://ro-botica.com/Producto/Servo-motor-mediano-LEGO-MINDSTORMS-EV3/ En 04/07/2019, pag 33.

[Sensor de contacto 0810]. Es una herramienta simple detecta cuando se pulsa o se suelta. Recuperada de: https://ro-botica.com/Producto/Sensor-contacto-LEGO-MINDSTORMS-EV3/ En 04/07/2019, pag 33

[Sensor de color 0810]. Recuperada de: https://ro-botica.com/Producto/Sensor-color-luz-LEGO-MINDSTORMS-EV3/ En 04/07/2019, pag 34.

[Arduino 0810].es una placa electrónica basada en el microcontrolador.Recuperada de: http://www.iescamp.es/miarduino/2016/01/21/placa-arduino-uno/ En 12/07/2019, pag 36

[I2C 0810]. Interfaz de dos cables. Recuperado de: https://www.dexterindustries.com/howto/connecting-ev3-arduino/ En 12/07/2019, pag 37.

[Descripción de comunicacion I2C 0810]. Recuperado de: http://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/6532/tfg-her-sis.pdf?sequence=1&isAllowed=y En 13/07/2019, pag 47

[Conector].http://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/6532/tfg-her-sis.pdf?sequence=1&isAllowed=y En 13/07/2019, pag 48