

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL
MANIPULADOR MITSUBISHI RV-2AJ, MEDIANTE ONDAS CEREBRALES
EMPLEANDO EL SENSOR EMOTIV INSIGHT**

**AUTORES:
GÓMEZ PINEDA FRANCISCO ANDRÉS
YAGUANA TORRES STALIN GABRIEL**

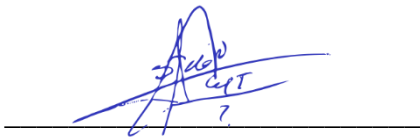
**TUTORA:
CELI SÁNCHEZ CARMEN JOHANNA**

Quito, Julio del 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Stalin Gabriel Yaguana Torres y Francisco Andrés Gómez Pineda, con documento/s de identificación N° 172359933-6 y N° 172308579-9 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL MANIPULADOR MITSUBISHI RV-2AJ, MEDIANTE ONDAS CEREBRALES EMPLEANDO EL SENSOR EMOTIV INSIGHT”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Stalin Gabriel Yaguana Torres

C.I. 172359933-6



Francisco Andrés Gómez Pineda

C.I. 172308579-9

Quito, Julio 2018

CARTA DE DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL MANIPULADOR MITSUBISHI RV-2AJ, MEDIANTE ONDAS CEREBRALES EMPLEANDO EL SENSOR EMOTIV INSIGHT”, realizado por Stalin Gabriel Yaguana Torres y Francisco Andrés Gómez Pineda, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, Julio del 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Carmen Johanna Celi Sánchez', is written over a horizontal line.

Ing. Carmen Johanna Celi Sánchez
C.I: 171743780-8

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación especialmente a mis padres Francisco y Gloria quienes en todo momento estuvieron para motivarme a seguir adelante con mis objetivos de vida y profesionales a pesar de las adversidades que tuvimos que afrontar juntos. A mi hermana Amparito y mi sobrino Lionel quienes con sus ocurrencias lograron hacer superar varios días difíciles. Un agradecimiento especial a mi novia Andrea, una mujer incondicional, amorosa y comprensiva que supo decir las palabras justas en el momento indicado. Y finalmente a mis grandes amigos y compañeros con los que compartí momentos especiales durante la vida universitaria.

Francisco Andrés Gómez Pineda

Dedico este proyecto de titulación a mis padres Miguel y Delmira, que gracias a su apoyo incondicional y sus valiosas enseñanzas me guiaron en el camino para alcanzar cada una de mis metas propuestas. A mis hermanos Edwin y Paola por ser mi motivación en momentos difíciles. Un agradecimiento especial a mi tío Jorge por enseñarme a ser solidario y a mi familia por sus invaluable consejos. Un total agradecimiento a mis amigos que me ayudaron a crecer como persona ya que gracias a ellos conozco el valor de la amistad, la reciprocidad y el trabajo en equipo.

Stalin Gabriel Yaguana Torres

ÍNDICE:

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	ii
CARTA DE DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE:	v
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN:.....	x
ABSTRACT:.....	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO 1	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	1
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	1
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	1
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	2
1.5. ALCANCE	3
CAPÍTULO 2	5
2.1. ELECTROENCEFALOGRAMA (EEG).....	5
2.2. CAPTACIÓN DEL EEG.....	6
2.3. SENSOR EMOTIV INSIGHT	7
2.4. TARJETA DE DESARROLLO LATTEPANDA.....	8
2.5. ROBOTS INDUSTRIALES - MANIPULADORES	9
2.6. ROBOT MITSUBISHI RV-2AJ	10
2.6.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	10

2.6.2.	CONTROLADOR DE ROBOT CR1-571	11
2.6.3.	BOTONERA DE MANDO – TEACHING BOX.....	13
2.7.	GRADOS DE LIBERTAD.....	14
2.8.	CINEMÁTICA DIRECTA.....	16
2.9.	CINEMÁTICA INVERSA.....	18
CAPÍTULO 3		21
3.1.	PROCESO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA BCI.....	21
3.2.	COMUNICACIÓN RS-232C.....	22
3.3.	ENVIO DE INSTRUCCIONES DE MOVIMIENTO	23
3.4.	ÁREA DE PRUEBA	26
3.5.	SOFTWARE EMOTIV XAVIER.....	27
3.5.1.	INTERFAZ DE COMANDOS MENTALES.....	27
3.5.2.	INTERFAZ DE EXPRESIONES FACIALES	28
3.5.3.	EMOTIV EMOKEY	29
3.6.	DISEÑO DE INTERFAZ GRÁFICA MEDIANTE MATLAB	30
3.6.1.	PANEL DE COMUNICACIÓN	30
3.6.2.	PANEL DE ESTIMULACIÓN VISUAL Y CONTROL	31
3.7.	COMUNICACIÓN ENTRE MATLAB Y CONTROLADORA DE BRAZO MITSUBISHI.....	32
3.8.	TRANSMISIÓN DE COMANDOS DE MOVIMIENTO	34
3.8.1.	COMANDOS DE MOVIMIENTO POR POSICIÓN	35
3.8.2.	COMANDOS DE MOVIMIENTO PARA JUNTAS.....	38
3.8.3.	FUNCIONES DESARROLLADAS PARA EJECUTAR SENTENCIAS DE MOVIMIENTO	40
CAPÍTULO 4		42
4.1.	PRUEBA DE EXACTITUD POR POSICIÓN SOBRE INTERFAZ DE MATLAB.....	43

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA PRUEBAS DE ACIERTOS VS POSICIÓN	45
4.3. TIEMPO DE REACCIÓN DEL SISTEMA.....	46
4.4. PRUEBA PARA DETECCIÓN DE SEÑAL EN ELECTRODOS DE EMOTIV INSIGHT	47
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXOS.....	54

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 2.1 Sistema internacional 10-20 para posicionamiento de electrodos.....	7
Figura 2.2 Sensor Emotiv Insight.....	8
Figura 2.3 Placa de desarrollo LattePanda.....	9
Figura 2.4 Juntas disponibles en manipulador Mitsubishi RV-2AJ.....	10
Figura 2.5 Controladora CR1-571.....	12
Figura 2.6 Vista frontal de Teaching Box.....	14
Figura 2.7 Grados de libertad y eslabones en manipulador RV-2AJ.....	15
Figura 2.8 Dimensiones de cada junta del Manipulador Mitsubishi.....	16
Figura 3.1 Esquema de Proceso de Sistema de Control de Movimiento.....	22
Figura 3.2 Diagrama de conexión de MAX232 y conector DB-9.....	23
Figura 3.3 Base de pruebas para movimientos de traslación.....	26
Figura 3.4 Interfaces de reconocimiento y aprendizaje de Emotiv.....	27
Figura 3.5 Entrenamiento bajo interfaz de comandos mentales.....	28
Figura 3.6 Interfaz de expresiones faciales.....	29
Figura 3.7 Interfaz de Emotiv Emokey.....	29
Figura 3.8 Interfaz gráfica en estado de edición en Matlab.....	30
Figura 3.9 Panel de comunicación diseñado en GUI de MATLAB.....	31
Figura 3.10 Implementación de interfaz de estimulación visual y control.....	32
Figura 3.11 Diagrama de flujo de comunicación entre Matlab y manipulador.....	33
Figura 3.12 Proceso establecido para la transmisión de comandos de movimiento..	34
Figura 3.13 Flujo de Información desde Emokey-Matlab para el movimiento del manipulador.....	35
Figura 3.14 Interpretación de caracteres en base a los datos recibidos en LattePanda	37
Figura 3.15 Proceso para secuencia de movimientos hacia posición Home desde el resto de puntos, dada la señal proporcionada por los sensores.....	38
Figura 3.16 Proceso de flujo de datos para enviar valores de slider hacia la controladora del brazo.....	39
Figura 3.17 Código implementado para ejecutar movimiento por juntas.....	40
Figura 4.1 Relación de aciertos respecto a la posición.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tabla comparativa de señales cerebrales	5
Tabla 2.2 Especificaciones técnicas robot Mitsubishi RV-2AJ	11
Tabla 2.5 Especificaciones técnicas de controladora CR1-571	13
Tabla 2.6 Características de Teaching Box.....	14
Tabla 2.7 Parámetros Denavit-Hartenberg para manipulador Mitsubishi RV-2AJ ...	16
Tabla 3.1 Parámetros de comunicación con manipulador Mitsubishi RV-2AJ	23
Tabla 3.2 Sintaxis de parámetros de instrucción por enviar al controlador	24
Tabla 3.3 Instrucciones para ejecución de acciones en el manipulador.....	25
Tabla 3.4 Ubicación de los sensores asociada a cada una de las posiciones e identificador de sensores	27
Tabla 3.5 Nombre de variables en IDE de Arduino de sensores asignados a las entradas del microcontrolador.....	34
Tabla 3.6 Caracteres y Acciones enviadas a Microcontrolador	36
Tabla 3.7 Funciones creadas en entorno Arduino, para formato ordenado y estructurado.	41
Tabla 4.1 Resumen de datos obtenidos durante la prueba de posición P1.....	43
Tabla 4.2 Resumen de datos obtenidos durante la prueba de posición P2.....	44
Tabla 4.3 Resumen de datos obtenidos durante la prueba de posición P3.....	44
Tabla 4.4 Resumen de datos obtenidos durante la prueba de posición P4.....	44
Tabla 4.5 Resultado en porcentaje de aciertos y no aciertos para cada posición.....	46
Tabla 4.6 Promedio de tiempo para cada una de las posiciones	46
Tabla 4.7 Resultados de la detección de señales sobre el cuero cabelludo de usuarios de género femenino.	48
Anexo 2.1: Tabla de datos de Aciertos vs Posición 1	58
Anexo 2.2: Tabla de datos de Aciertos vs Posición 2	59
Anexo 2.3: Tabla de datos de Aciertos vs Posición 3	60
Anexo 2.4: Tabla de datos de Aciertos vs Posición 4	61
Anexo 2.5: Tabla de datos de tiempos para cada una de las posiciones.	62

RESUMEN:

El sistema propuesto describe la factibilidad que tienen dispositivos comerciales, para asociarse en sistemas de interfaz cerebro-computador. Precisamente el sensor utilizado en el desarrollo de este sistema es la diadema cerebral Emotiv Insight, cuyo enlace lo realiza mediante comunicación Bluetooth y con la capacidad de reconocer patrones de señales proporcionadas por nuestro cerebro, o mediante el reconocimiento de patrones faciales. El sistema también dispone de una placa de desarrollo llamada LattePanda con ventajas semejantes a las proporcionadas por un ordenador portátil.

Esta ventaja permite al sistema utilizar software como Matlab y Arduino para configuración de comunicación y desarrollo de interfaz gráfica de usuario.

El estudio también demuestra inconvenientes que deben superarse para que el conjunto Cerebro-Computador funcionen de una manera óptima. La tecnología de Interfaces Cerebro-Computador (BCI), abre la posibilidad a ejecutar acciones en función de señales cerebrales por medio de actuadores, así el problema más notable es la motricidad de una persona que carece parcial o totalmente de ella después de un evento que haya afectado su sistema motor.

ABSTRACT:

The proposed system describes the feasibility that commercial devices have, to associate in brain-computer interface systems. Precisely the sensor used in the development of this system is the Emotiv Insight brain diadem, which is linked through Bluetooth communication and with the ability to recognize signal patterns provided by our brain, or through the recognition of facial patterns. The system also has a development board called LattePanda with advantages similar to those provided by a laptop.

This advantage allows the system to use software such as Matlab and Arduino for communication configuration and graphical user interface development.

The study also shows disadvantages that must be overcome in order for the Brain-Computer set to work in an optimal way. The Brain-Computer Interfaces (BCI) technology opens the possibility to execute actions based on brain signals by means of actuators, so the most notable problem is the motor skills of a person who partially or totally lacks it after an event that has affected your motor system.

INTRODUCCIÓN

El proyecto se ha redactado en cuatro capítulos que abarcan los siguientes temas:

Capítulo 1: Detalle de objetivos general y específicos, justificación y alcance del proyecto en base a propuesta de solución.

Capítulo 2: Los fundamentos teóricos utilizados en el desarrollo del proyecto se describen en esta sección además de incluir las tablas con parámetros técnicos de cada uno de los componentes utilizados en el sistema, esta información incluye teoría sobre los sistemas interfaces cerebro-computador, hasta el análisis de la cinemática directa e inversa del manipulador Mitsubishi RV-2AJ.

Capítulo 3: En esta sección se detalla la implementación del sistema tanto a nivel de hardware y software para la transmisión y recepción de datos para el manipulador Mitsubishi RV-2AJ, y la interpretación de las señales enviadas por el sensor hacia el software Emotiv Xavier Control Panel y el software Emotiv Emokey.

Capítulo 4: Pruebas, análisis y resultados del funcionamiento del sistema propuesto. Análisis de aciertos y errores e interpretación de resultados. Se incluye las conclusiones obtenidas durante el desarrollo y la implementación del sistema, además de las recomendaciones correspondientes al proyecto.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

En el presente capítulo se describe el problema de estudio, objetivos tanto general como específico, justificación, propuesta de solución y alcance del proyecto técnico de titulación.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los manipuladores deben ser previamente programados para ejecutar movimientos específicos por lo tanto su secuencia de movimiento como tal es invariable, en la actualidad hay dispositivos que abren la posibilidad a realizar este tipo de control utilizando tecnologías innovadoras. En la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Campus Sur los estudios que existen sobre ello fundamentan su problema en analizar el movimiento de estos manipuladores, dejando de lado la posibilidad de que personas que no tienen conocimientos sobre la programación de estos elementos o personas con discapacidad motriz se mantengan al margen de usar nuevas tecnologías para el manejo de este tipo de robots.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema para controlar el manipulador Mitsubishi RV-2AJ mediante ondas cerebrales adquiridas por el EEG Emotiv Insight, utilizando como interfaz de comunicación una tarjeta de desarrollo.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Interpretar la información proporcionada por el sensor EEG Emotiv Insight para el desarrollo del control de movimiento mediante el software seleccionado durante la investigación.

Comunicar el sensor EEG Emotiv Insight con la tarjeta de desarrollo LattePanda para la transmisión de las instrucciones de movimiento hacia el manipulador.

Desarrollar una interfaz gráfica que indique al usuario los iconos sobre el movimiento que desea realizar.

Ejecutar los movimientos de traslación de un objeto de un lugar a otro, a partir de una coordenada inicial y un punto final de llegada previamente establecidos.

Realizar pruebas de campo para analizar el sistema y sus aplicaciones.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Los datos proporcionados por el CONADIS en Ecuador muestra que existen alrededor de doscientas mil personas con discapacidad física de las cuales el 66% corresponde a una discapacidad severa (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, 2018) , en contraste si se toma en cuenta los datos mostrados en el informe mundial de la salud realizado por la OMS en el año 2011 mostraba que alrededor de doscientos millones de personas experimentaban algún tipo de dificultad física (Organización Mundial de la Salud), lo que supone desarrollar e implementar en base a tecnología soluciones que permitan a estas personas reincorporarse a la sociedad.

La implementación de un sistema de control de movimientos, mediante la interpretación de señales cerebrales para el manipulador Mitsubishi RV-2AJ, da la apertura al desarrollo de aplicaciones asociadas a Interfaces Cerebro-Computador o Brain Computer Interface (BCI), para este caso específico relaciona el control inalámbrico de elementos robóticos con usuarios que han sufrido lesiones graves en su sistema motor y que requieren ejecutar acciones de forma autónoma o para aquellos usuarios cuya seguridad requiere mantener cierta distancia de un proceso.

Los estudios y resultados del sistema a ser implementado, brindarán tanto a profesores como a estudiantes un nuevo enfoque teórico-práctico sobre las posibilidades de control de los manipuladores con respecto al área de la bioingeniería, además permitirá que los estudiantes apliquen sus conocimientos de manera práctica en temas relacionados a la robótica.

1.4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

En el campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito se cuenta con dos manipuladores Mitsubishi RV-2AJ en el laboratorio de Robótica. Sobre estos manipuladores se han realizado varios estudios y proyectos basado en el análisis de la cinemática y el control netamente manual de los mismos, la solución planteada para este proyecto es implementar un sistema que permita controlar los movimientos del brazo robótico Mitsubishi RV-2AJ de la marca Festo mediante la interpretación de señales cerebrales, el estudio requiere analizar y comprender conceptos relacionados

a interfaces cerebro-computador, ya que se utilizará la diadema EEG Emotiv Insight con el fin de recopilar la información proporcionada por señales cerebrales para su posterior interpretación y procesamiento a través de la tarjeta LattePanda, dispositivo que dispone de características propias de un micro computador y sobre el cual se puede instalar software para desarrollo de aplicaciones, posee conectividad inalámbrica.

La comunicación entre el sensor y la tarjeta de desarrollo será posible mediante el protocolo Bluetooth Low Energy (BLE) en su versión 4.0, dada la tecnología de comunicación con la que cuenta el sensor. Durante el desarrollo de la investigación de este proyecto se hará uso del software proporcionado por Emotiv, para la interpretación de las señales. La comunicación entre manipulador y LattePanda se realizará por medio de comunicación serial.

El sistema constará con una interfaz gráfica proyectada en un monitor que permitirá observar al usuario iconos que representarán las instrucciones para los movimientos de traslación del brazo, y además servirán como método de estimulación visual para generar las señales que el sistema reconocerá para ejecutar los movimientos. El manipulador y el monitor que se utilizarán se encuentran disponibles en los laboratorios de robótica. Los movimientos que realizará el brazo se harán sobre un área de prueba de 35x35 cm. La placa LattePanda, y el sensor Emotiv Insight son propiedad de los desarrolladores, los cuales utilizarán estos dispositivos para sentar las bases de conocimiento sobre este tipo de tecnologías en este proyecto y el desarrollo del mismo, al finalizar el proyecto se utilizarán estos dispositivos en la investigación y desarrollo de nuevas aplicaciones.

1.5. ALCANCE

El sistema propuesto para ser implementado con la diadema Emotiv Insight y la tarjeta de desarrollo LattePanda constituyen en si una Interfaz Cerebro-Computador capaz de ejecutar las siguientes acciones:

A través del software proporcionado por la empresa Emotiv interpretar las señales eléctricas tomadas sobre el cuero cabelludo del usuario y por patrones faciales que este es capaz de detectar, la acción de mouse será comandada por el sensor giroscopio que el sensor dispone.

Las señales interpretadas por el Software Emotiv Xavier Control Panel, se expresarán en caracteres por medio del software Emotiv Emokey que se enviarán al microcontrolador interno de la tarjeta LattePanda.

La Interfaz gráfica se desarrollará en Matlab, software que cumple la función de puente entre los datos recibidos por Emotiv Emokey y el micro controlador de LattePanda, además de indicar iconos que funcionan como estímulo visual para ejecutar las acciones de movimiento.

El sistema interfaz cerebro computador propuesto utiliza como medio de comunicación los protocolos Bluetooth versión 4.0 entre el sensor Emotiv Insight y la tarjeta LattePanda; la comunicación entre la tarjeta LattePanda y el controlador del Brazo robótico Mitsubishi RV-2AJ se ejecutará por el protocolo RS-232.

La interfaz limita a dos opciones el movimiento del brazo, la primera opción ejecuta la traslación de objetos dada una posición inicial y final. La segunda forma de funcionamiento ejecuta el movimiento de cada una de las juntas por medio de barras deslizantes mostradas en la interfaz gráfica.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. ELECTROENCEFALOGRAMA (EEG)

Un electroencefalograma (EEG) permite detectar de forma efectiva la actividad fisiológica del cerebro, generada principalmente por la corteza cerebral (Bento, y otros). Un EEG detecta las diferencias de potencial eléctrico tomadas a través de electrodos colocados sobre el cuero cabelludo, estas señales se generan por la actividad neuronal en el cerebro, la amplitud manejada por estas señales abarca el orden de los micro volts (μV), (Palaniappan, 2014). Así mismo los potenciales generados se deben a estímulos específicos generados durante el EEG, que usualmente son de tipo visual, auditivo entre otros. Los canales de un EEG se clasifican en función de la frecuencia de las ondas y cada una asociada a ciertos estímulos (Ramadan & Vasilakos, 2016), tal como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Tabla comparativa de señales cerebrales

Ondas	Frecuencia (Hz)	Propiedades	Actividad Mental Relacionada
Delta (Δ)	< 4	Sección frontal en Adultos. Sección posterior en niños. Ondas de alta amplitud.	Ondas lentas relacionadas a la etapa de sueño profundo.
Theta (Θ)	4 – 7	Sección Frontal Media (Fz a Cz)	Inconciencia, meditación y somnolencia.
Alpha (α)	7- 12	Región posterior de la cabeza, ambos lados, amplitud alta en el lado dominante.	Relajación y concentración.
Mu (μ)	8 – 13	Corteza sensorial-motora	Indicador de que las neuronas se encuentran trabajando.
Beta (β)	12 – 30	Corteza sensorial – motora, entre C3 y C4, distribución simétrica, más evidente en la parte frontal, ondas de amplitud baja.	Estado de alerta, pensativo y concentración activa.
Gamma (γ)	>30	Corteza somato sensorial	Procesos somato-sensoriales. Mostrada durante cortos periodos, cuando la memoria reconoce objetos, sonidos o sensaciones táctiles.

Características de las ondas cerebrales en función a su frecuencia, propiedades y la actividad cerebral relacionada. Fuente: (Neurocomputing, 2017)

2.2. CAPTACIÓN DEL EEG

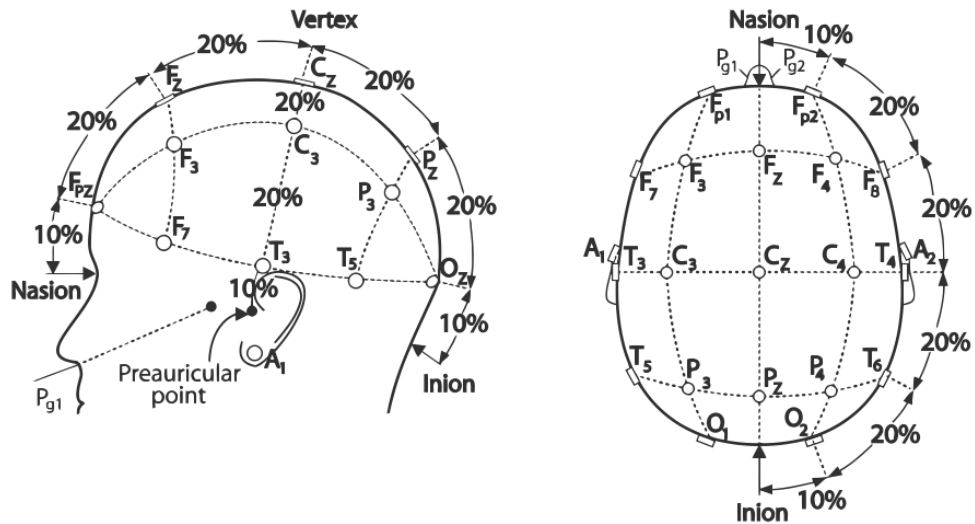
La adquisición de datos proporcionados por el cerebro dentro de un sistema BCI (Brain Computer Interface), se puede realizar usando distintos métodos en función de las capacidades del usuario y el enfoque para el que se utilizará los sistemas BCI, (Abdulkader, Atia, & Mostafa, Brain computer interfacing: Applications and challenges, 2015), usualmente el tipo de adquisición se clasifica en:

- Métodos invasivos: Conocidos también como tecnología invasiva, cuyos resultados dependen de la implantación quirúrgica de electrodos sobre el cerebro expuesto a través de electrodos quirúrgicos corticales o a través de localización cerebral profunda mediante electrodos quirúrgicos intracraneales. Los métodos más conocidos son técnica de adquisición Intracortical y Electroencefalografía (ECoG).
- Métodos no invasivos: La actividad neuronal se mide con sensores externos. Los métodos no invasivos son: imágenes por resonancia magnética (fMRI), Espectroscopía por infrarrojo cercano funcional (fNIRS), magnetoencefalografía (MEG), y electroencefalograma (EEG).

El método no invasivo electroencefalograma (EEG), para referencias de posición de los sensores utiliza el sistema internacional 10-20 que fundamenta la ubicación de los electrodos en base a una subdivisión iterativa de arcos sobre el cuero cabelludo, empezando su ubicación en puntos particulares del cráneo (obsérvese Figura 2.1).

El sistema original disponía de 19 electrodos, que posteriormente se extendieron a 70, las posiciones T7, P7, T8 y P8 son usualmente utilizadas como posiciones de electrodos de referencia, esta sección corresponde en ocasiones al lóbulo de la oreja o la mastoides (G. Schalk, 2010).

Figura 2.1 Sistema internacional 10-20 para posicionamiento de electrodos



Sistema Internacional 10-20, utilizado como standard para posición de electrodos sobre el cuero cabelludo. Fuente: A Practical Guide to Brain-Computer Interfacing with BCI2000, Brain Sensors and Signals Chapter 2.

2.3. SENSOR EMOTIV INSIGHT

La diadema Emotiv Insight, permite registrar y expresar las ondas cerebrales en datos que el usuario puede comprender y utilizar. Se clasifica como un electroencefalograma móvil (EEG), con un amplio conjunto de aplicaciones en el campo de las interfaces cerebro computadores (Brain-Computer Interface o BCI), área cuyo objetivo primordial es permitir la comunicación entre usuarios y sistemas informáticos, sin el requerimiento de dispositivos externos, ni de la intervención muscular para ejecutar comandos (Abdulkader, Atia, & Mostafa, Brain computer interfacing: Applications and challenges, 2015).

Tanto el Emotiv EPOC+, como el modelo Emotiv Insight (Figura 2.2) disponen de algoritmos de detección de ondas cerebrales proporcionadas por patrones faciales, acciones mentales y métricas de rendimiento. Incluye además un sensor giroscopio, para la detección de movimiento de la cabeza, utilizado en la mayoría de casos para funcionar como mouse. Las características del sensor Emotiv Insight se muestran de forma más detallada en su sitio web, bajo el siguiente link: <https://www.emotiv.com/product/emotiv-insight-5-channel-mobile-eeeg/#tab-description>

Figura 2.2 Sensor Emotiv Insight



Diadema EEG Emotiv Insight, en ella se observan los canales de adquisición de señal.

Fuente: EMOTIV Inc.

2.4. TARJETA DE DESARROLLO LATTEPANDA

LattePanda forma parte del conjunto de ordenadores de placa reducida (RBC), cuyas prestaciones se extienden desde aplicaciones relacionadas a robótica, internet de las cosas y comunidades Maker para proyectos DIY. Desarrollada bajo los principios y funcionalidades de un ordenador a bajo costo, inició su campaña con de financiamiento a través de Kickstarter. Proporciona ventajas para el desarrollo de aplicaciones e investigación de datos, ya que sus prestaciones como computador permite instalación de este tipo de programas, tal es el ejemplo de software como Matlab, LabView, Python, Visual Studio, Java, entre otros (KICKSTARTER, s.f.). Presenta algunas ventajas y mejoras a nivel de hardware y software con respecto a sus competidores tales como Raspberry, Ordroid C2, Jaguar One, Pin A64, el análisis más detallado entre cada una de las tarjetas se puede verificar en el siguiente sitio web: <http://www.sabien.upv.es/presente-los-mini-ordenadores-raspberry-pi-3-otras-alternativas/>

Además la tarjeta LattePanda (Figura 2.3) cuenta con un procesador Intel Quad Core, un micro-procesador, y conexiones mediante USB, Bluetooth y WiFi (LATTEPANDA, 2015). Las especificaciones completas de la placa LattePanda son:

- Procesador: Intel Cherry Trail Z8300 Quad Core 1.8GHz
- Sistema operativo: edición completa preinstalada de Windows 10
- RAM: 4GB DDR3L
- Capacidad de almacenamiento: 64 GB
- GPU: Intel HD Graphics, 12 EUs @ 200-500 MHz, memoria de un solo canal

- 1 puerto USB3.0 / 2 puertos USB 2.0
- WiFi y Bluetooth 4.0
- Coprocesador Arduino incorporado: ATmega 32u4
- Salida de video: HDMI / MIPI-DSI
- Conector superpuesto del panel táctil integrado

Entradas y salidas de propósito general:

- 6 GPIO del procesador Cherry Trail
- 20 GPIOs de Arduino Leonardo
- 6 Conectores de sensor de gravedad Plug & Play
- Potencia: 5v / 2 A
- Dimensión de la Placa: 88 * 70 mm

Figura 2.3 Placa de desarrollo LattePanda



Placa de desarrollo LattePanda, en la cual se observan los puertos e interfaces de entrada y salida. Fuente: Lattepanda, 2016

2.5. ROBOTS INDUSTRIALES - MANIPULADORES

Un robot industrial se define como un manipulador de tipo reprogramable, capaz de ejecutar acciones de forma repetitiva, con la capacidad de mover piezas, herramientas, componentes, entre otros, bajo trayectorias que pueden ser previamente establecidas por un operario para llevar a cabo distintas tareas. El término que caracteriza a un robot por poseer varios grados de libertad se denomina manipulador. A nivel de industrias el uso de estos robots se ha encaminado a ser tendencia dentro de las líneas de producción ya que ofrece eficiencia, precisión, velocidad, además de reemplazar a

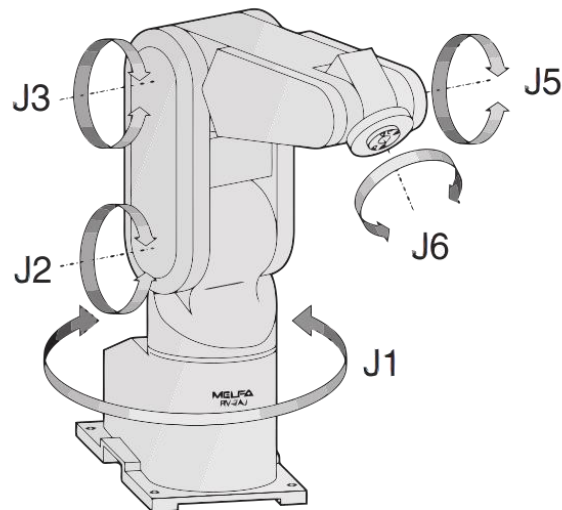
humanos en procesos que son repetitivos (How, Keat, Anuar, & Sahari, 2016) (Ö & H, 2010).

2.6. ROBOT MITSUBISHI RV-2AJ

El brazo Mitsubishi RV-2AJ, es un robot manipulador articulado de tipo industrial con 5 grados de libertad de tipo antropomorfo (Figura 2.4). Está compuesto por servomotores AC característica que le atribuye alta precisión y que reduce al mínimo su mantenimiento.

Este tipo de robot es ideal para aplicaciones en las cuales se debe colocar o remover objetos pequeños, así también como control de calidad o manejo de muestras tanto en laboratorios médicos y otro tipo de laboratorios. (MITSUBISHI ELECTRIC FACTORY AUTOMATION, 2018)

Figura 2.4 Juntas disponibles en manipulador Mitsubishi RV-2AJ



Brazo manipulador Mitsubishi RV-2AJ con sus correspondientes grados de libertad, y la dirección de cada una.

2.6.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

El brazo Mitsubishi RV-2AJ, es parte de la familia de manipuladores MELFA RV de tipo industrial, las características técnicas de este modelo se observan en la Tabla 2.2:

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas robot Mitsubishi RV-2AJ

Características / Funciones		Especificaciones	
Grados de Libertad (No de Ejes)		5	
Estructura		Tipo Vertical Multi-Juntura	
Sistema de Manejo		Servos AC (J1, J2, J3, J5 con freno), J6 sin freno.	
Método de detección de posición		Encoder Absoluto	
Rango de Operación	waist (J1)	300 (-150 a +150)	Grados
	shoulder (J2)	180 (-60 a +120)	
	elbow (J3)	230 (-110 a 120)	
	wrist twist (J4)	-	
	wrist pitch (J5)	180 (-90 a +90)	
	wrist roll (J6)	400 (-200 a +200)	
Velocidad máxima	waist (J1)	180	Grados /segundo
	shoulder (J2)	90	
	elbow (J3)	135	
	wrist twist (J4)	-	
	wrist pitch (J5)	180	
	wrist roll (J6)	210	
Velocidad máxima del conjunto		2200 mm/s	
Capacidad de carga	Mínimo	1.5	Kg
	Máximo	2	
Repetitividad de posición		+/- 0.02 mm	
Herramientas de cableado		4 Líneas para señales de entrada 4 Líneas para señales de salida Fuente de alimentación para conexión en el área de gripper.	
Herramientas de conexión neumática		4 conectores en el área de gripper.	
Suministro de presión neumática		0.5 +/- 10%	MPa (bar)
Standard de Protección		IP30	
Controlador de Robot		CR1	

Características técnicas de manipulador Mitsubishi RV-2AJ. Fuente: Autores

2.6.2. CONTROLADOR DE ROBOT CR1-571

El controlador CR1-571 es el servo controlador del robot a través del cual se ejecuta el comando de posición y con el cual se puede monitorear la posición actual.

Contiene la electrónica para alimentación y control del brazo, es un módulo que se caracteriza por su tamaño reducido, su área no supera las dimensiones de una hoja A4. (Figura 2.5)

Trabaja con su propio lenguaje de programación denominado MELFA BASIC IV, dispone además de un procesador de 64-bit con arquitectura RISC con un procesador digital de señal el cual permite ejecutar programas multitarea soportando la ejecución hasta 32 programas corriendo de forma paralela, además de operaciones de interpolación lineal 3D y circular. Se puede agregar una amplia gama de opciones y tarjetas de expansión para adaptar al robot a requisitos precisos de entorno y aplicación. Por ejemplo hay opciones de tarjetas controladoras para diferentes redes y controlar ejes adicionales del robot Incluye un puerto de comunicación RS-232C para conectar computadores personales, lo cual habilita el desarrollo de programas con un potente paquete de software para PC con una interfaz fácil de utilizar. (MITSUBISHI ELECTRIC FACTORY AUTOMATION, 2018, págs. 19-20)

Figura 2.5 Controladora CR1-571



Panel frontal de controlador CR1-571, en él se observa el panel indicador, así como los controles principales. Fuente: Autores

El controlador dispone de 16 entradas y salidas que pueden ser expandidas hasta un máximo de 240. En la Tabla 2.5 se observa las características técnicas proporcionadas por el proveedor.

Tabla 2.5 Especificaciones técnicas de controladora CR1-571

Características / Funciones		CR1-571
Número de Ejes controlables		6 Ejes de robot + 2 Ejes de Interpolación + 6 Ejes Independiente
Tipo de Procesador (CPU)		CPU Principal: 64-Bit RISC ; CPU de servos: DSP
Capacidad de Memoria	Números de puntos de enseñanza y pasos de programa	Máx. 25000 Puntos de Enseñanza Máx. 5000 Pasos
	Números de programas	88
Lenguaje de Programación		MELFA BASIC IV / MPVEMASTER COMMAND
Entradas y Salidas Externas	I/O's de Propósito General	16 Entradas / 16 Salidas
	I/O's Dedicados	Asignables por el usuario de los puertos de propósito general.
	Apertura / Cierre de Gripper	8 Entradas 0 Salidas
	I/O's de Emergencia	1
	Puerta de entrada a Interruptor	1
Interfaces	RS232C	1 Interface para PC
	RS422	1 Interface para Teaching Box
	Slots dedicados para Gripper	1 Interface para Gripper de tipo neumático
	Slot de Extensión	Para 3 opciones de expansión
	Slot de Memoria de Expansión	-
	Enlaces de I/O al Robot	1 Canal (Con expansión máxima de hasta 240 entradas y 240 salidas)
Fuente de Alimentación		1 Fase 90 – 132 V AC; 50/60Hz 1 Fase 180 – 253 V AC; 50/60Hz
Dimensiones (WxHxD)		212 mm x 166 mm x 290 mm

Características técnicas de controladora CR1-571. Fuente: (Mitsubishi Electric Factory Automation, 2018)

2.6.3. BOTONERA DE MANDO – TEACHING BOX

El Teaching Box, se utiliza para mover el brazo o para enseñar las posiciones (Figura 2.6). Permite además controlar los movimientos del brazo tanto por junta como por coordenadas X, Y, Z. Las señales de entradas, salidas y datos de posición se pueden consultar en tiempo real, el sistema está provisto de verificación de enseñanza por medio de un botón de tres etapas (MITSUBISHI ELECTRIC FACTORY

AUTOMATION, 2018, pág. 22). Los datos técnicos del Teaching Box se observan en la Tabla 2.6.

Figura 2.6 Vista frontal de Teaching Box



Sección frontal de Teaching Box, la cual permite controlar, programar y revisar parámetros de movimiento de brazo. Fuente: Autores.

Tabla 2.6 Características de Teaching Box

Especificaciones	R28TB
Rango de Aplicación	Enseñanza de Posición, Edición y Control de Programa
Dimensiones (WxHxD)	153 mm x 203 mm x 70 mm
Peso	Aprox. 0.5 Kg, sin Cable
Longitud del cable de conexión	7 m
Interface	RS422
Método de Visualización	LCD de 4 Líneas x 16 Caracteres
Sección de Operación	28 Letras
Rango de Protección	IP 65

Elaborado por: Autores

2.7. GRADOS DE LIBERTAD

Los grados de libertad corresponden a parámetros que permiten determinar la posición de cada uno de los elementos que conforman un mecanismo en el espacio en cada instante. El método de Kutzbach-Grubler es utilizado para calcular los grados de libertad (Jiménez, 2007), su fórmula está dada por la ecuación 2.1, la Figura 2.7 muestra los grados de libertad del manipulador RV-2AJ:

$$GDL = 3(n - 1) - 2j_1 - j_2$$

Ec. (2.7.1)

Donde:

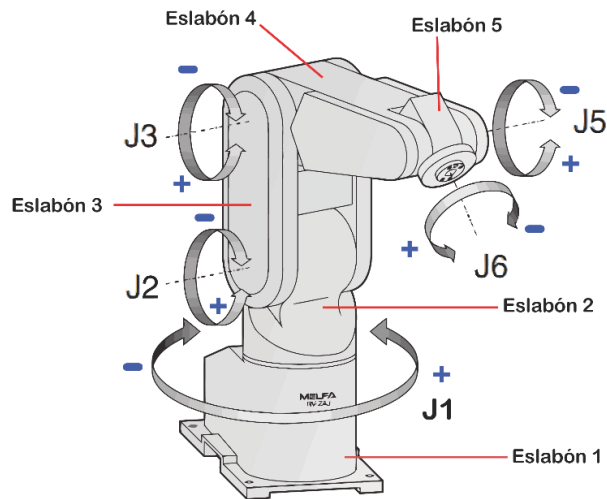
n: Número de elementos del mecanismo (eslabones)

j_1 : Número de pares de un grado de libertad

j_2 : Número de pares de dos grados de libertad

El manipulador Mitsubishi RV-2AJ posee 5 grados de libertad y que se obtienen del siguiente análisis:

Figura 2.7 Grados de libertad y eslabones en manipulador RV-2AJ



Grados de libertad y eslabones correspondientes a manipulador RV-2AJ, necesario para cálculo de cinemática directa. Fuente: Autores

El número de eslabones y uniones de uno y dos grados de libertad sobre el manipulador son:

Número de eslabones (N): **5**

Uniones de un grado de libertad (j_1): **3**

Uniones de dos grado de libertad (j_2): **1**

Utilizando la ecuación de Kutzbach-Grubler se tiene que:

$$GDL = 3(n - 1) - 2j_1 - j_2$$

$$GDL = 3(5 - 1) - 2(3) - (1)$$

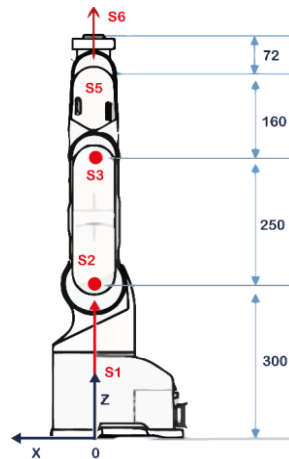
$$GDL = 5$$

2.8. CINEMÁTICA DIRECTA

La cinemática se relaciona con la geometría de los mecanismos que actúan como pivotes y que generan una relación mecánica entre cada uno de los eslabones, su importancia radica en que expresa las coordenadas de posición y orientación del efector final, en términos de grados de libertad por cada una de las juntas (Figura 2.8).

El problema a resolver por la cinemática directa es encontrar la posición y orientación del efector final con respecto a un sistema de referencia, dadas los grados de libertad (DOF) de las articulaciones y las variables de cada una de las juntas (Vepa, 2009). El método estándar mayormente utilizado para la resolución de parámetros se fundamenta en los criterios Denavit-Hartenberg. Las ecuaciones de movimiento se obtuvieron en base a los parámetros de Denavit-Hartenberg, en posición referencial del brazo Mitsubishi RV-2AJ.

Figura 2.8 Dimensiones de cada junta del Manipulador Mitsubishi.



Las dimensiones se utilizan como parámetros para los criterios de Denavit-Hartenberg

Los parámetros de Denavit-Hartenberg se han tomado en la posición de referencia y se presentan en la Tabla 2.7:

Tabla 2.7 Parámetros Denavit-Hartenberg para manipulador Mitsubishi RV-2AJ

N	Θ	d	a	α
1	θ_1	300	0	90°
2	θ_2	0	250	0
3	θ_3	160	0	90°
4	θ_4	72	0	0
5	θ_5	0	0	90°

Parámetros de Denavit-Hartenberg. Fuente: Cajamarca Andrés, 2016

Las matrices de transformación se muestran a continuación:

$$A_0^1 = \begin{pmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \sin \theta_1 & 0 \\ \sin \theta_1 & 0 & -\cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 300 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{Ec.(2.2)}$$

$$A_1^2 = \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & 250 \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 250 \sin \theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{Ec.(2.3)}$$

$$A_2^3 = \begin{pmatrix} \cos \theta_3 & 0 & \sin \theta_3 & 0 \\ \sin \theta_3 & 0 & -\cos \theta_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 160 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

$$A_3^4 = \begin{pmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 & 0 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 72 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{Ec. (2.5)}$$

$$A_4^5 = \begin{pmatrix} \cos \theta_5 & -\sin \theta_5 & 0 & 0 \\ \sin \theta_5 & \cos \theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

$$A_0^5 = A_0^1 * A_1^2 * A_2^3 * A_3^4 * A_4^5 \quad \text{Ec. (2.7)}$$

El resultado del producto de las matrices es:

$$A_0^5 = \begin{pmatrix} a & d & g & j \\ b & e & h & k \\ c & f & i & l \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{Ec. (2.8)}$$

Donde:

$$\begin{aligned}
 a &= \sin \theta_1 \sin \theta_4 + \cos \theta_1 \cos \theta_5 \cos(\theta_2 + \theta_3) \\
 b &= -\cos \theta_1 \sin \theta_4 + \sin \theta_1 \cos \theta_4 \cos(\theta_2 + \theta_3) \\
 c &= \cos \theta_4 \sin(\theta_2 + \theta_3) \\
 d &= \sin \theta_1 \cos \theta_4 + \cos \theta_1 \sin \theta_4 \cos(\theta_2 + \theta_3) \\
 e &= -\cos \theta_1 \cos \theta_4 - \sin \theta_1 \sin \theta_4 \cos(\theta_2 + \theta_3) \\
 f &= -\sin \theta_4 \sin(\theta_2 + \theta_3) \\
 g &= \cos \theta_1 \sin(\theta_2 + \theta_3) \\
 h &= \sin \theta_1 \sin(\theta_2 + \theta_3) \\
 i &= -\cos(\theta_2 + \theta_3) \\
 j &= 250 \cos \theta_1 [\cos \theta_2 + 2 \sin(\theta_2 + \theta_3)] \\
 k &= 250 \sin \theta_1 [\cos \theta_2 + 2 \sin(\theta_2 + \theta_3)] \\
 l &= 250 \sin \theta_2 - 72 \cos(\theta_2 + \theta_3) + 300
 \end{aligned}$$

Por último se relaciona la última columna de la matriz resultante con las coordenadas X, Y, Z. De esta manera las ecuaciones resultantes para el modelo cinemático es:

$$X = 250 \cos \theta_1 [\cos \theta_2 + 2 \sin(\theta_2 + \theta_3)] \quad \text{Ec.(2.9)}$$

$$Y = 250 \sin \theta_1 [\cos \theta_2 + 2 \sin(\theta_2 + \theta_3)] \quad \text{Ec.(2.10)}$$

$$Z = 250 \cos \theta_2 - 20 \cos(\theta_2 + \theta_3) + 15 \quad \text{Ec.(2.11)}$$

2.9. CINEMÁTICA INVERSA

A diferencia de la cinemática directa, el problema que afronta la cinemática inversa es hallar los valores de las variables conjuntas en términos de la posición y orientación del efector final. En general la obtención de los valores para cinemática inversa es más complejo que la cinemática directa ya que se puede tener más de una solución que cumpla los requerimientos de posición y orientación.

Para el análisis de la cinemática inversa se realiza el análisis de los grados de libertad $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, de forma independiente dejando momentáneamente el análisis de la muñeca. Además se considera a θ_4, θ_5 como pitch y roll respectivamente.

En la ecuación 2.12, se ha analizado desde la junta 0 hasta 3 y se ha reemplazando los valores de las ecuaciones antes analizadas se tiene la ecuación 2.12.

$${}^3_0A = {}^1_0A \times {}^2_1A \times {}^3_2A = T \quad \text{Ec. (2.12)}$$

De la ecuación 2.12, se tiene lo siguiente:

$$({}^1_0A)^{-1} * T = {}^2_1A \times {}^3_2A$$

Remplazando se obtiene la matriz representada en la ecuación 1.31:

$${}^3_1A = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & \sin\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -300 \\ \sin\theta_1 & -\cos\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} nx & ox & ax & X \\ ny & oy & ay & Y \\ nz & oz & az & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ec.(2.13)}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos(\theta_2 + \theta_3) & -\sin(\theta_2 + \theta_3) & 0 & 250 \cos\theta_2 + 160 \cos(\theta_2 + \theta_3) \\ \sin(\theta_2 + \theta_3) & \cos(\theta_2 + \theta_3) & 0 & 250 \sin\theta_2 + 160 \sin(\theta_2 + \theta_3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Operando la fila 3 por la columna 4 de la ecuación 2.13, se calcula θ_1 , así:

$$X \sin\theta_1 - Y \cos\theta_1 = 0$$

$$\frac{\sin\theta_1}{\cos\theta_1} = \frac{Y}{X}$$

$$\tan\theta_1 = \frac{Y}{X}$$

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right)$$

Posteriormente, se forma un sistema de ecuaciones 2x2, utilizando la matriz de la ecuación 2.13 con la segunda fila y cuarta columna; y la primera fila y cuarta columna, quedando así.

Primera ecuación: $Z - 300 = 250 \sin\theta_2 + 160 \sin(\theta_2 + \theta_3)$

Segunda ecuación: $X \cos \theta_1 + Y \sin \theta_1 = 250 \cos \theta_2 + 160 \cos(\theta_2 + \theta_3)$

Elevando al cuadrado las dos ecuaciones encontradas y sumándolas, se eliminan los términos $(\theta_2 + \theta_3)$, agrupando los término del $\sin \theta_2$ y los del $\cos \theta_2$, se tiene el resultado:

$$\theta_2 = \arccos\left(\frac{250^2 + (X \cos \theta_1 + Y \sin \theta_1)^2 - 160^2}{2 \times 250(X \cos \theta_1 + Y \sin \theta_1)}\right) + \arcsin\left(\frac{Z - 300}{\sqrt{X^2 + Y^2 + (Z - 300)^2}}\right) - 90^\circ$$

$$\theta_3 = \theta_2 - 180^\circ + \arccos\left(\frac{160^2 - (X \cos \theta_1 + Y \sin \theta_1)^2 + 250^2}{2 \times 250 \times 160}\right)$$

Los ángulos de Euler conocidos como roll, pitch y yaw establecen que el brazo robot Mitsubishi sólo posee 2 movimientos: pitch: θ_4 y roll: θ_5 en la muñeca,

$$R = T(1:3, 1:3) \times Rot(z, 90^\circ) \quad \text{Ec.(2.14)}$$

La ecuación 2.14 se determina por medio de la rotación en Z, de la siguiente forma:

$$R = {}_0^3A * \begin{bmatrix} \cos 90^\circ & -\sin 90^\circ & 0 \\ \sin 90^\circ & \cos 90^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

El resultado de la matriz de rotación R, mostrada en la ecuación 2.8 proporciona los elementos para el cálculo de pitch y roll:

$$\sin \theta_4 = -R_{3,1}$$

$$\sin \theta_4 = -\cos \theta_2 \cos \theta_3 + \sin \theta_2 \sin \theta_3 + 1$$

$$\theta_4 = 90^\circ + \arcsin(1 - \cos(\theta_2 + \theta_3))$$

$$\tan \theta_5 = \frac{R_{3,2}}{\cos \theta_4}$$

$$\theta_5 = \arctan\left(\frac{-\sin(\theta_2 + \theta_3)}{\cos \theta_4}\right)$$

Los valores encontrados de $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ y θ_5 se programarán en la tarjeta de desarrollo para que envíe la información de movimiento hacia el controlador del brazo robot Mitsubishi RV-2AJ.

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

El sistema desarrollado expresa los datos proporcionados por el sensor Emotiv Insight para utilizarlos como método de control de movimiento para el manipulador. Los datos que adquiere la diadema Emotiv corresponden a las señales eléctricas generadas en el cerebro ante la reacción a un estímulo externo siendo este de tipo visual, auditivo, táctil, entre otros. En particular para este caso se fundamenta en el uso de estímulos de tipo visual y patrones faciales y cuyo resultado en el sistema se muestra como la traslación de un objeto de una posición a otra, tomando en cuenta que el punto inicial se ha preestablecido.

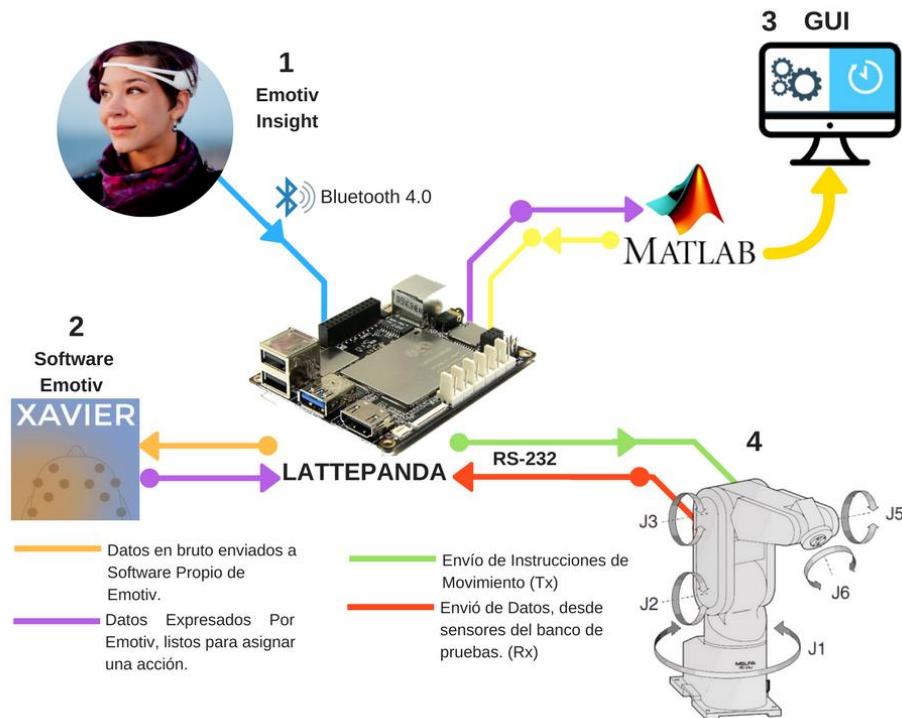
3.1. PROCESO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA BCI

El sistema de control implementado, está compuesto por los elementos Emotiv Insight, diadema que cumple con los requisitos fundamentales de un EGG y que se encarga de la adquisición de las señales por medio de sus cinco canales. La comunicación de este con la tarjeta LattePanda se da a través del protocolo Bluetooth, específicamente la versión 4.0 de bajo consumo de energía (Bluetooth LE).

La tarjeta LattePanda, se encarga de realizar la adquisición y expresión de los datos utilizando para ello Emotiv Xavier, software con el cual se entrena previamente la diadema y que relaciona para ello un evento cognitivo o un patrón facial para ejecutar una acción específica a través de Emotiv Emokey y que va desde enviar letras, palabras, eventos de mouse, entre otros por medio del host interno hacia la aplicación que deseemos controlar.

Los datos que se adquieren en Emotiv Xavier son interpretados y enviados a Matlab para ser mostrados en la interfaz gráfica que se ha desarrollado para este propósito y a la vez enviar instrucciones de movimiento al brazo por medio de la interfaz de comunicación RS-232. El proceso que sigue el sistema se observa en la Figura 3.1:

Figura 3.1 Esquema de Proceso de Sistema de Control de Movimiento



Esquema de proceso para funcionamiento del sistema en el cual se observa detalles de comunicación en cada uno de los componentes, a nivel de software y hardware. Fuente: (Autores)

3.2. COMUNICACIÓN RS-232C

La comunicación entre la placa y el brazo se da mediante la interfaz de comunicación RS-232C, estándar que permite el intercambio de señales a través de comunicación serie por medio de transmisión de “tres hilos” y además considerado como comunicación de punto a punto entre dispositivos que utilizan este protocolo y un ordenador. Para ello debe tomarse en cuenta cuando se inicia y finaliza la transmisión de datos, para determinar cuándo se inicia la comunicación se envían parámetros de control que indican al ordenador si tiene que transmitir o no. Con los últimos avances referentes a este protocolo, se ha mejorado algunas características, relacionadas a la velocidad y distancia del protocolo.

Entre las opciones de hardware el chip que permite realizar la comunicación es el MAX232. En la Tabla 3.1 se indica los parámetros de configuración tanto en la tarjeta LattePanda, como en los parámetros de conexión correspondientes Matlab, en el Anexo 1.1 se observa el código correspondiente a la configuración de puerto serial en Matlab.

Tabla 3.1 Parámetros de comunicación con manipulador Mitsubishi RV-2AJ

Parámetro	Valor
Bits Por Segundo	9600
Bits de Datos	8
Paridad	Espacio
Bits de Parada	1
Control de Flujo	Ninguno

Los parámetros indicados permiten establecer la comunicación, para esta aplicación. Fuente:

(Autores)

El diagrama del circuito para comunicación, construido con el chip MAX232 se observa en la Figura 3.2 nótese que se han habilitado los pines RXT, TXD y DTR en el conector DB9. Los canales de comunicación Tx2, Rx2 se han habilitado para la comunicación con la tarjeta LattePanda.

Figura 3.2 Diagrama de conexión de MAX232 y conector DB-9

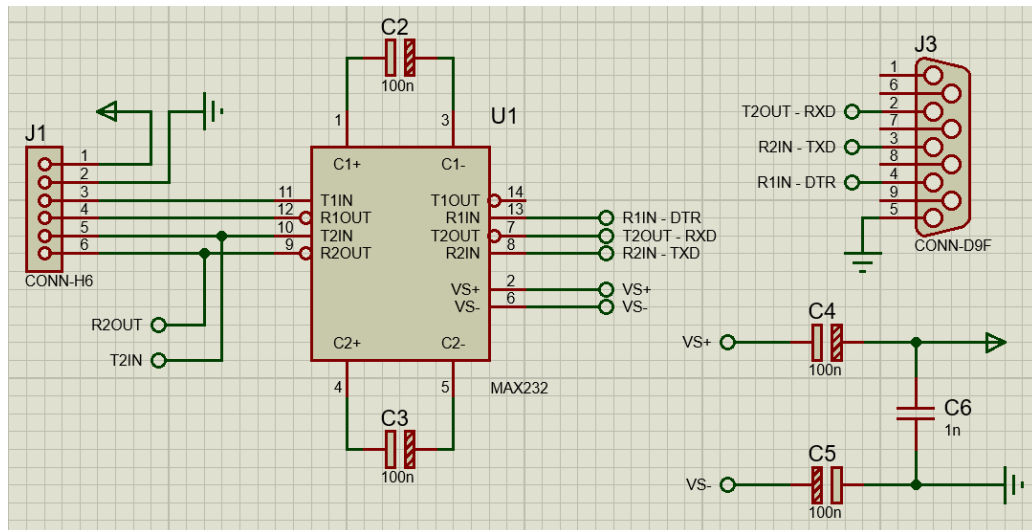


Diagrama de conexión para chip RS-232 con salida a conector DB9. Fuente: (Autores)

3.3. ENVÍO DE INSTRUCCIONES DE MOVIMIENTO

Para que el brazo ejecute los movimientos deseados depende del tipo de comandos que recibe la controladora CR1-571, estos deben cumplir con la sintaxis mostrada en la Tabla 3.2.

El envío de los datos desde el microcontrolador de la tarjeta LattePanda hacia la controladora, debe cumplir con parámetros de velocidad de transmisión establecidos en la sección “3.2 Comunicación RS-232C” y representados en código en el Anexo

1.2. En el Anexo 1.3 se muestra el código utilizado para ejecutar el movimiento hacia la posición “Home” utilizando los comandos antes mencionados.

Tabla 3.2 Sintaxis de parámetros de instrucción por enviar al controlador

1 ; 1	Instrucción;	/r
1	2	3
Parámetro que define enviar un comando de control	Comando que se enviará al controlador y que expresa una acción concreta ejecutar.	Salto de línea para finalizar envío.

Elaborado por: Autores

Enviar estos datos sin la sintaxis correspondiente puede activar las alarmas y generar mensajes de error que se muestran en el display de la controladora CR1-571. La consideración para realizar un correcto movimiento del brazo robótico es activar de forma secuencial los siguientes eventos:

- **Encender controladora CR1-571:** habilita la transmisión y recepción de instrucciones.
- **Encender servomotores:** se activan en cada una de las juntas del manipulador.
- **Instrucciones de movimiento:** se relaciona al tipo de acción que ejecutará el brazo, siendo esta con cinemática directa o inversa, en la Tabla 3.3 se muestra un listado de comandos de instrucción, con los cuales el brazo puede mover sus articulaciones, activar alarmas, abrir y cerrar la pinza, entre otros.
- **Apagar servomotores:** se deshabilitan en cada una de las juntas del manipulador.
- **Apaga controlador:** finaliza la transmisión de datos hacia la controladora.

Tabla 3.3 Instrucciones para ejecución de acciones en el manipulador

SENTENCIA	DESCRIPCIÓN	OBSERVACION
1;1;CNTLON	Inicia el controlador, para enviar instrucciones de movimiento.	
1;1;CNTLOFF	Apaga el controlador, detiene envío de instrucciones de movimiento.	
1;1;SRVON	Enciende los Servos en el Brazo.	
1;1;SRVOFF	Apaga los Servos en el Brazo.	
1;1;EXECHOPEN 1	Apertura de Pinza	
1;1;EXEHCLOSE 1	Cierra la Pinza	
1;1;STOP	Detiene la ejecución del programa que se encuentra en proceso sobre la controladora	
1;1;RSTALARM	Resetea todas las alarmas	
1;1;PPOSF	Solicita información por parte de la controladora la posición actual del brazo.	Respuesta: QoKX;178.20;Y;3.04;Z;631.88; A:0.62;B;63.79;;6,0;70;0.00; 00000000
1;1;EXECJOVRD X	Establece la velocidad para movimientos lineales de articulación	La velocidad configurada puede ser hasta el 100%
1;1;EXECJCOSIROP=(J1,J2,J3,0.000,J5,J6)	Define el valor de posición por cada una de las juntas.	Ejemplo: 1;1;EXECJCOSIROP=(5.00,-40.00,0.00,0.00,10.0,10.00)
1;1;EXECMOVJ_CURR+JCOSIROP	Ejecuta el movimiento mediante juntas con las coordenadas ingresadas anteriormente	
1;1;EXECSPD X	Establece la velocidad para X,Y,Z	La velocidad configurada está en el rango de 1-100%
1;1;EXECMOVPCOSIROP	Ejecuta el movimiento en el espacio, bajo coordenadas X,Y,Z	
1; 1; IOSIGNAL0; 0	Solicita a la controladora la información de los sensores que se encuentran activos.	Respuesta del Brazo Qok820000 indica que el sensor de la pinza está activado
1;1;NEW	Indica que se creará un nuevo programa	
1;1;LOAD	Permite asignar un nombre al programa	1;1;LOAD=NOMBRE_DEL_PROGRAMA
1;9;LISTL<	Crea lista para asignar slots de programación	
1;9;EMDAT	Envía las posiciones ingresadas en el programa	1;9;EMDAT 10\v20\v30\v40
1;1SAVE	Guarda el programa en la controladora	

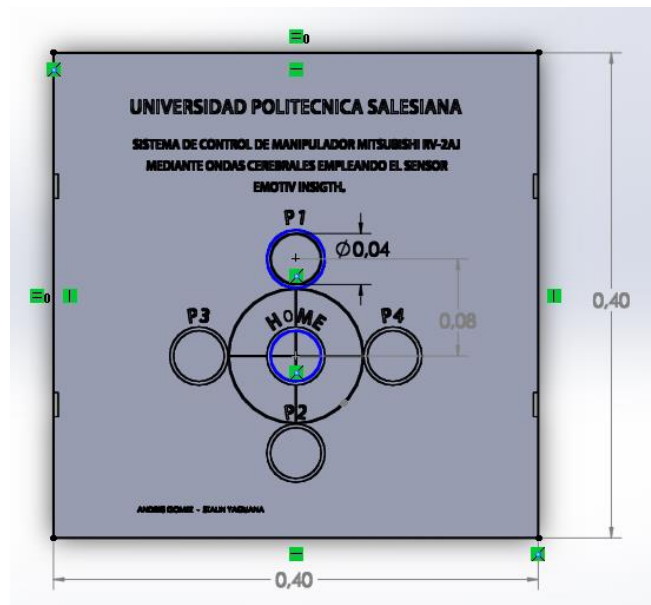
Elaborado por: Autores

3.4. ÁREA DE PRUEBA

Con el objetivo de mostrar el funcionamiento del sistema BCI, se construyó en madera la sección sobre la cual se mostrará la traslación que debe ejecutar el brazo en las distintas posiciones, la base mide 0.40 [m] en cada uno de sus lados, las posiciones están diseñados para que ingrese las fichas utilizadas en el Sistema de Producción Modular (MPS) de FESTO y con una separación de 0.08 [m] entre ellas.

Como se observa en la Figura 3.3 la base muestra 5 posiciones, de las cuales la posición central corresponde a la ubicación inicial denominada “posición Home” y desde donde inicia la traslación de los elementos a las distintas posiciones.

Figura 3.3 Base de pruebas para movimientos de traslación



La base de pruebas dispone de cuatro posiciones implementadas para comprobar la traslación de objetos, cada una con sensores que permiten discriminar las posiciones que se encuentran ocupadas.

Fuente: (Autores)

Además en cada aro se han colocado sensores que permiten reconocer cuando una posición ha sido ocupada, para restringir los próximos movimientos únicamente a las posiciones que están libres. En la Tabla 3.4 se detalla la ubicación de cada una de las posiciones utilizadas para pruebas así como el identificador del sensor que se utiliza en el IDE de Arduino donde se realiza la programación que envía los comandos con la respectiva sintaxis.

Tabla 3.4 Ubicación de los sensores asociada a cada una de las posiciones e identificador de sensores

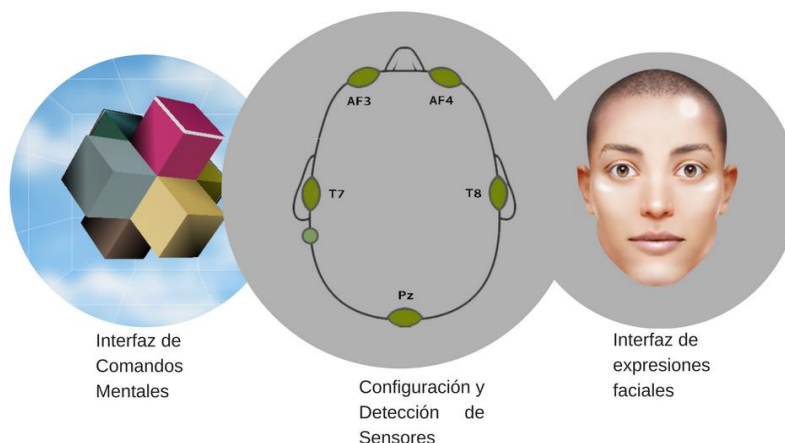
Posición	Identificador de Sensor en programación	Ubicación respecto Posición "Home"
Home	S0	Sección central
P1	S1	Sección superior
P2	S2	Sección inferior
P3	S3	Sección izquierda
P4	S4	Sección derecha

Elaborado por: Autores

3.5. SOFTWARE EMOTIV XAVIER

Los datos proporcionados por la diadema Emotiv Insight deben ser expresados en información útil y accesible por el usuario, para ello la empresa Emotiv provee del software de entrenamiento e interpretación de datos. En la Figura 3.4 se observa las interfaces que maneja el software Emotiv Xavier, ya que sus métodos de interpretación dependen de la lectura de datos y el entrenamiento correspondiente.

Figura 3.4 Interfaces de reconocimiento y aprendizaje de Emotiv



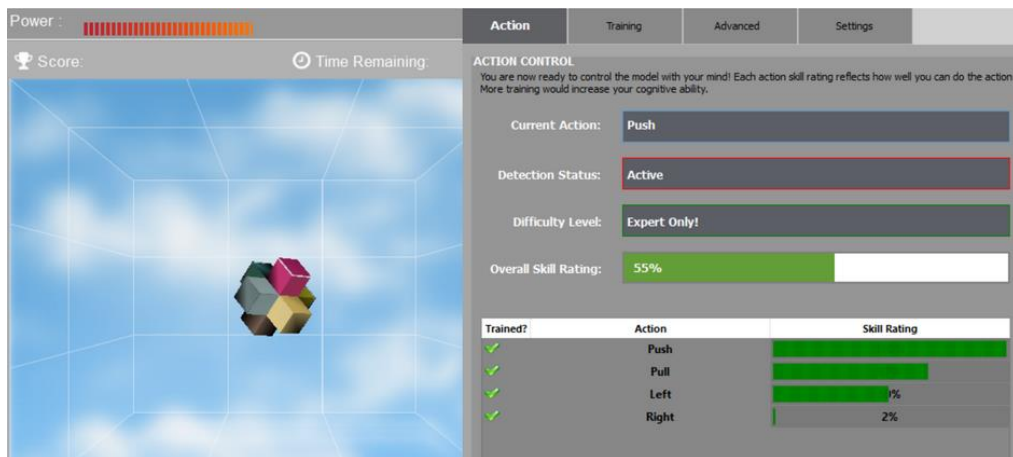
Las interfaces proporcionadas por Emotiv, permiten detectar e interpretar patrones. Fuente: (Autores)

3.5.1. INTERFAZ DE COMANDOS MENTALES

La interfaz de comandos mentales permite entrenar la adquisición de señales de actividad cerebral bajo la detección de reacciones conscientes frente a estímulos visuales o físicos, procesados posteriormente para ejecutar una acción sobre un objeto real o virtual. La interfaz tiene la posibilidad de interpretar 13 acciones distintas, siendo estas 6 tipos de movimientos rotacionales y 6 tipos de movimiento de traslación y una acción extra correspondiente relacionada con la visibilidad del objeto virtual de prueba.

Entre las opciones que muestra Emotiv Xavier para el entrenamiento cognitivo asociado a una acción se tienen: empujar, halar, levantar, bajar y rotar el objeto virtual representado por un cubo en seis ejes. Para que el porcentaje de entrenamiento incremente, el número de pruebas debe repetirse por varias ocasiones. En la Figura 3.5 se observa la interfaz de comandos mentales y sus respectivos porcentajes de entrenamiento mostrados en la parte derecha del gráfico, así se observa que para una de las pruebas realizadas el “Overall Skill Rating” o “Calificación de habilidad general” se expresa en porcentaje.

Figura 3.5 Entrenamiento bajo interfaz de comandos mentales



El entrenamiento sobre la interfaz de comandos mentales debe llevarse a cabo durante varias iteraciones, para incrementar el porcentaje de reconocimiento. Fuente: (Autores)

3.5.2. INTERFAZ DE EXPRESIONES FACIALES

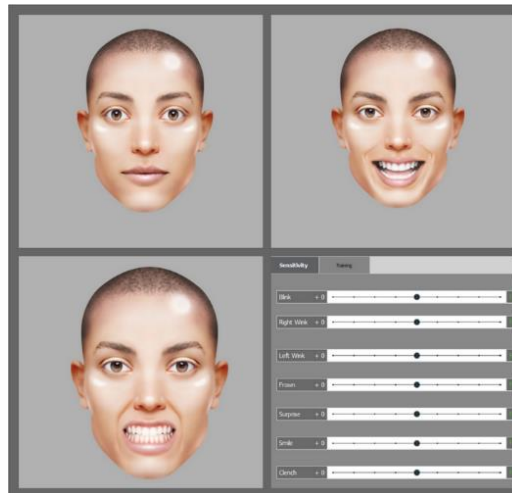
En la interfaz de expresiones faciales se destaca la posibilidad de reconocer acciones como:

- Parpadear
- Sonreír
- Sorpresa
- Fruncir Cejas
- Expresión de Enojo
- Muecas

Sobre esta interfaz también se lleva a cabo un entrenamiento similar al realizado con comandos mentales. En la Figura 3.6 se observa los resultados obtenidos en varios

instantes de entrenamiento, además de los parámetros de sensibilidad que se puede variar para la detección de expresiones.

Figura 3.6 Interfaz de expresiones faciales

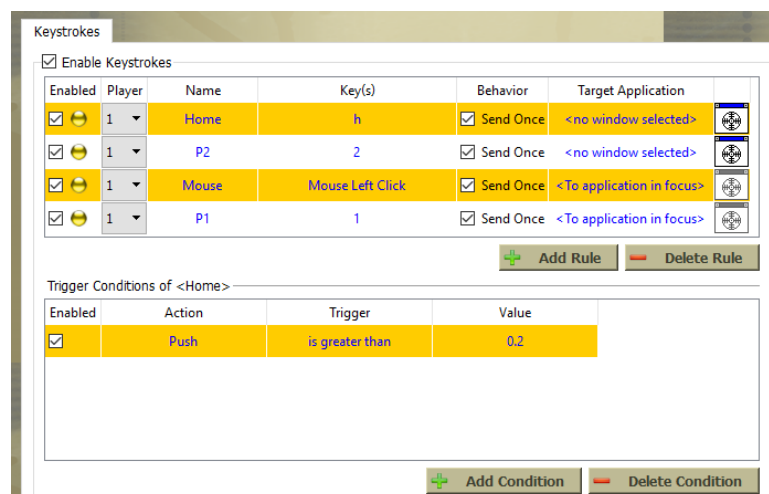


Las expresiones faciales deben entrenarse en base a los patrones que Emotiv reconoce. Fuente: (Autores)

3.5.3. EMOTIV EMOKEY

Emotiv Emokey, es la interfaz que permite asignar una acción a un evento específico que se haya guardado en el entrenamiento. En ella se puede asignar los rangos entre los cuales una señal puede ser reconocida, además de la posibilidad de asignar los eventos a aplicaciones en concreto.

Figura 3.7 Interfaz de Emotiv Emokey



En la interfaz de Emotiv Emokey, actúa como puente entre el sensor y la aplicación desarrollada.

Fuente: (Autores)

En la Figura 3.7 se observa la interfaz de configuración de Emotiv Emokey. Cada nueva acción se la debe añadir como una nueva regla “Add Rule” y a cada nueva regla debe añadirse una nueva condición “Add Condition”.

3.6. DISEÑO DE INTERFAZ GRÁFICA MEDIANTE MATLAB

La detección de ondas cerebrales parte de la reacción del cuerpo ante un estímulo que puede ser de tipo visual, físico, auditivo. El diseño de la interfaz gráfica tiene como objetivo ayudar al usuario a ejecutar una acción sobre el brazo robótico a través de la selección de opciones de movimiento mostradas en forma de iconos y que actúan como estímulo visual, además se ha implementado una ventana que permite observar el movimiento del brazo a través de video. El entorno de trabajo se observa en la Figura 3.8.

Figura 3.8 Interfaz gráfica en estado de edición en Matlab



Edición de interfaz gráfica de Matlab, se observa los comandos disponibles. Fuente: (Autores)

La interfaz de divide en las siguientes secciones:

3.6.1. PANEL DE COMUNICACIÓN

En este panel se habilita o deshabilita la comunicación entre MATLAB y el Brazo Mitsubishi. La conexión se establece al seleccionar el respectivo puerto COM, específicamente el puerto de comunicación interno de la tarjeta LattePanda corresponde al COM 6. La transmisión de datos no se ejecuta a menos que se seleccione el puerto COM 6 y el botón “Conectar”. El panel de comunicación se muestra en la Figura 3.9.

Figura 3.9 Panel de comunicación diseñado en GUI de MATLAB

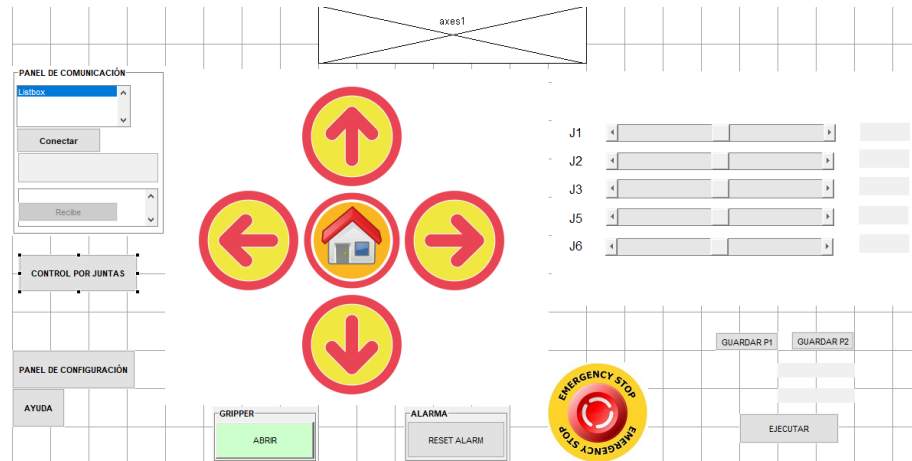


Panel de comunicación de interfaz gráfica, debe habilitarse el puerto COM correspondiente. Fuente: (Autores)

3.6.2. PANEL DE ESTIMULACIÓN VISUAL Y CONTROL

El sistema BCI implementado requiere que el sensor reconozca patrones que se han entrenado previamente, dicha práctica utiliza la interfaz propia de Emotiv, sin embargo el usuario notará como tal la Interfaz desarrollada en MATLAB, por ello se han colocado iconos que indican la posición a la cual se desea mover el objeto y se activan como un botón. Es decir activarán la ejecución de una acción sobre el manipulador una vez que se detecte el patrón de señal cerebral correspondiente al entrenamiento. Además se ha incluido botones que permiten activar o desactivar la pinza y resetear las alarmas. Incluye un botón de acceso para ejecutar el movimiento por juntas de forma individual y que puede realizarse por medio de barras deslizantes "Slider". En la figura 3.10 se observa el desarrollo de la interfaz de estimulación visual y control.

Figura 3.10 Implementación de interfaz de estimulación visual y control



La interfaz permite además controlar elementos como la pinza, o las alarmas. Fuente: (Autores)

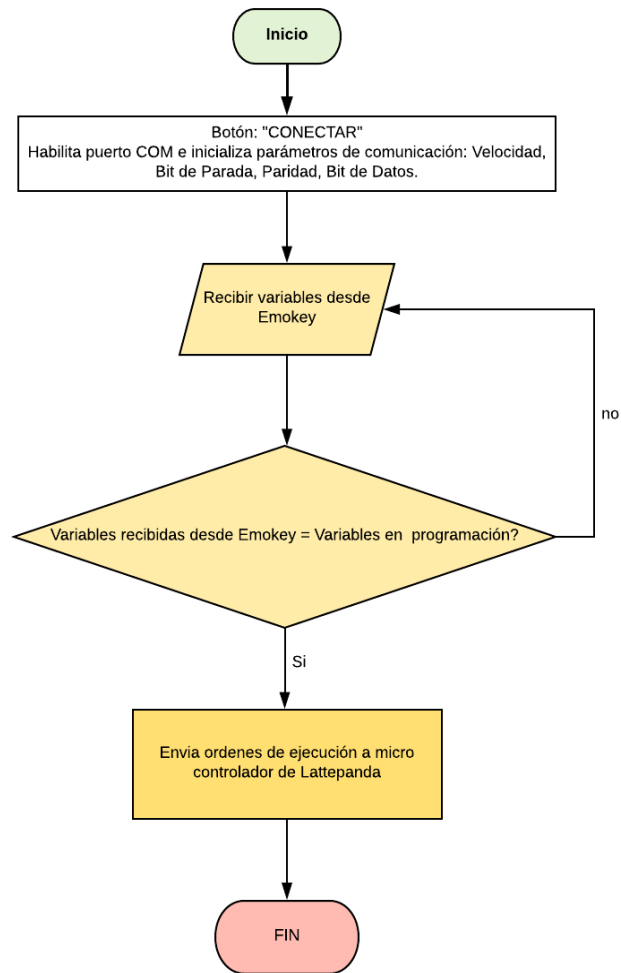
3.7. COMUNICACIÓN ENTRE MATLAB Y CONTROLADORA DE BRAZO MITSUBISHI

El procedimiento de comunicación inicia con la recepción de datos enviados por Emotiv Emokey en la interfaz desarrollada en Matlab. En esta etapa Matlab compara los datos recibidos con las variables almacenadas en la programación, si dichos datos no son válidos espera la recepción de la siguiente entrada de datos. Para la comunicación entre la controladora del brazo y el software Matlab se debe habilitar el puerto COM de la tarjeta LattePanda.

Según los datos de la tarjeta se indica que el puerto correspondiente es el puerto COM6, el resto de parámetros de configuración de comunicación como velocidad de transmisión, bit de parada, bit de datos y paridad se establecen una vez que el usuario presiona el botón “Conectar” en la interfaz gráfica.

En la Figura 3.11 se muestra el diagrama de flujo del proceso de comunicación entre Matlab y el manipulador Mitsubishi. Para que la interfaz de Matlab reciba caracteres de Emotiv Emokey, utiliza el código utilizado en el Anexo 1.4.

Figura 3.11 Diagrama de flujo de comunicación entre Matlab y manipulador.



Una vez que se ha configurado los mismos parámetros de comunicación tanto en Matlab como en la placa de desarrollo se inicia la comunicación. Fuente: (Autores)

La placa LattePanda, internamente posee un microcontrolador AVR ATmega32u4, el cual funciona en base al IDE de Arduino y en el cual hay que colocar los mismos parámetros de comunicación. En él se han habilitado la sesión de dos puertos COM el primero de ellos corresponde a la sesión interna entre el procesador de la placa LattePanda y el microcontrolador AVR y el segundo puerto habilita la comunicación del microcontrolador con dispositivos externos que trabajen en base a comunicación serial.

Los datos mostrados en la Tabla 3.5, indican los nombres de las variables utilizadas en el IDE de Arduino y la relación con cada uno de los sensores en la base de prueba.

Tabla 3.5 Nombre de variables en IDE de Arduino de sensores asignados a las entradas del microcontrolador.

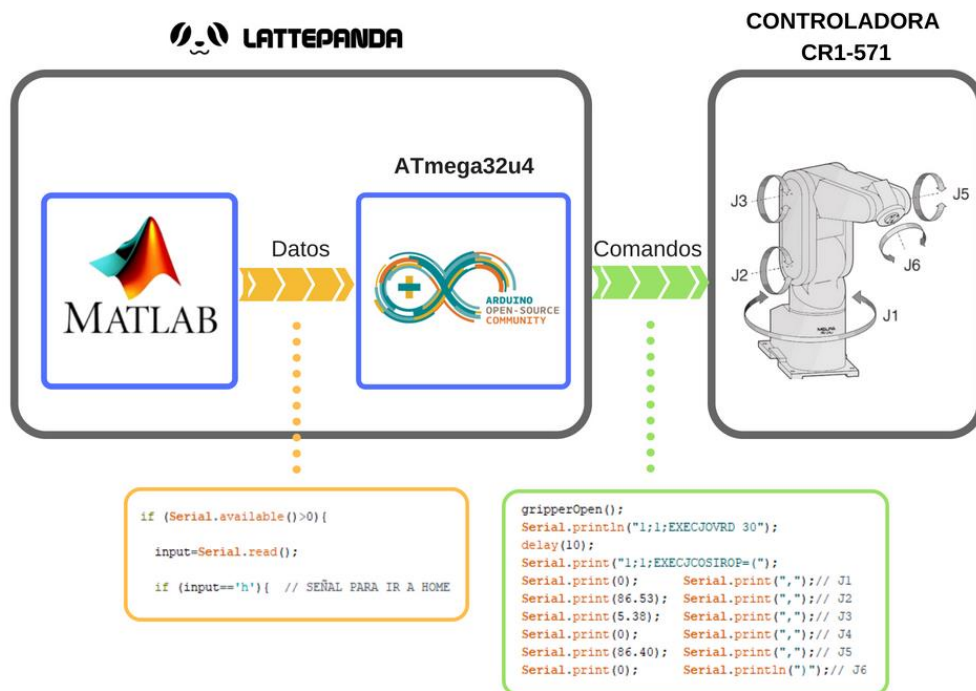
Nombre de variable en IDE de Arduino	Correspondencia
S0	Sensor correspondiente a la posición Home
S1	Sensor correspondiente a la posición 1 (P1)
S2	Sensor correspondiente a la posición 2 (P2)
S3	Sensor correspondiente a la posición 3 (P3)
S4	Sensor correspondiente a la posición 4 (P4)

Tabla correspondiente a los sensores ubicados en la base de prueba. Fuente: (Autores)

3.8. TRANSMISIÓN DE COMANDOS DE MOVIMIENTO

La transmisión de comandos se habilita cuando el micro controlador ATmega32u4 de la placa LattePanda recibe los datos enviados por Matlab. Una vez que se ha detectado el dato, el programa interno del micro controlador envía el comando respectivo hacia la controladora bajo la sintaxis establecida en la Tabla 3.2. En la Figura 3.12 se observa el proceso para transmisión de datos desde Matlab a la controladora del manipulador.

Figura 3.12 Proceso establecido para la transmisión de comandos de movimiento.



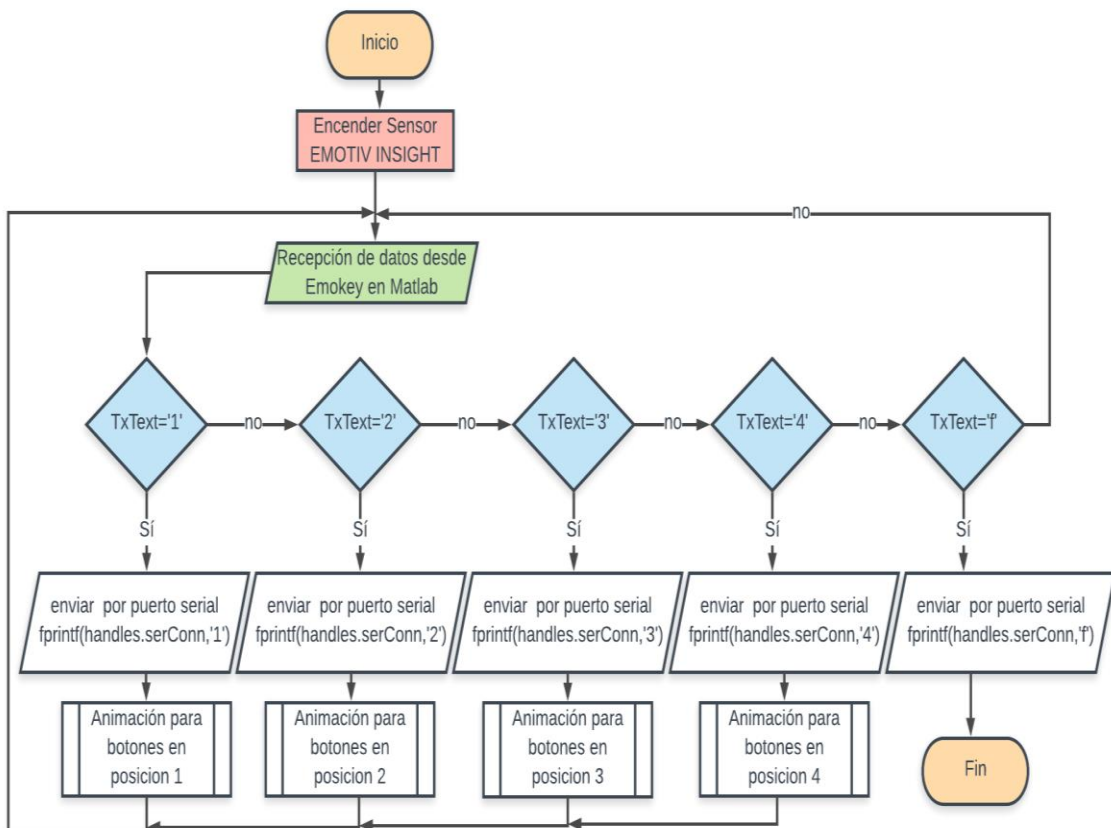
Los datos recibidos desde Matlab en el ATmega32u4 se interpretan y se envía los respectivos comandos a la controladora. Fuente: (Autores)

3.8.1. COMANDOS DE MOVIMIENTO POR POSICIÓN

Al encender el sensor Emotiv Insight el software Emokey envía los diferentes caracteres que se utilizan para animar los botones que representan la posición final a la que el brazo se posicionará, todo esto se consigue por medio de un Text Box (TxText) dispuesto en la interfaz gráfica diseñada en Matlab. Después de activar los botones los mismos datos son enviados a LattePanda para que se encargue de relacionar los caracteres recibidos, con una instrucción de movimiento que se enviará a la controladora del manipulador. El comando encargado de realizar la transmisión de datos hacia el microcontrolador es: `fprintf(handles.serConn, TxText)`. El diagrama de flujo de la Figura 3.13 muestra cómo se evalúa la información para generar un movimiento a una posición requerida.

Figura 3.13 Flujo de Información desde Emokey-Matlab para el movimiento del manipulador.

Los caracteres interpretados en esta parte de código permiten observar la interacción con los botones



de posición de la Interfaz Gráfica. Fuente: (Autores)

Los caracteres que se han asignado para las posiciones y acciones correspondientes se muestran en la Tabla 3.6.

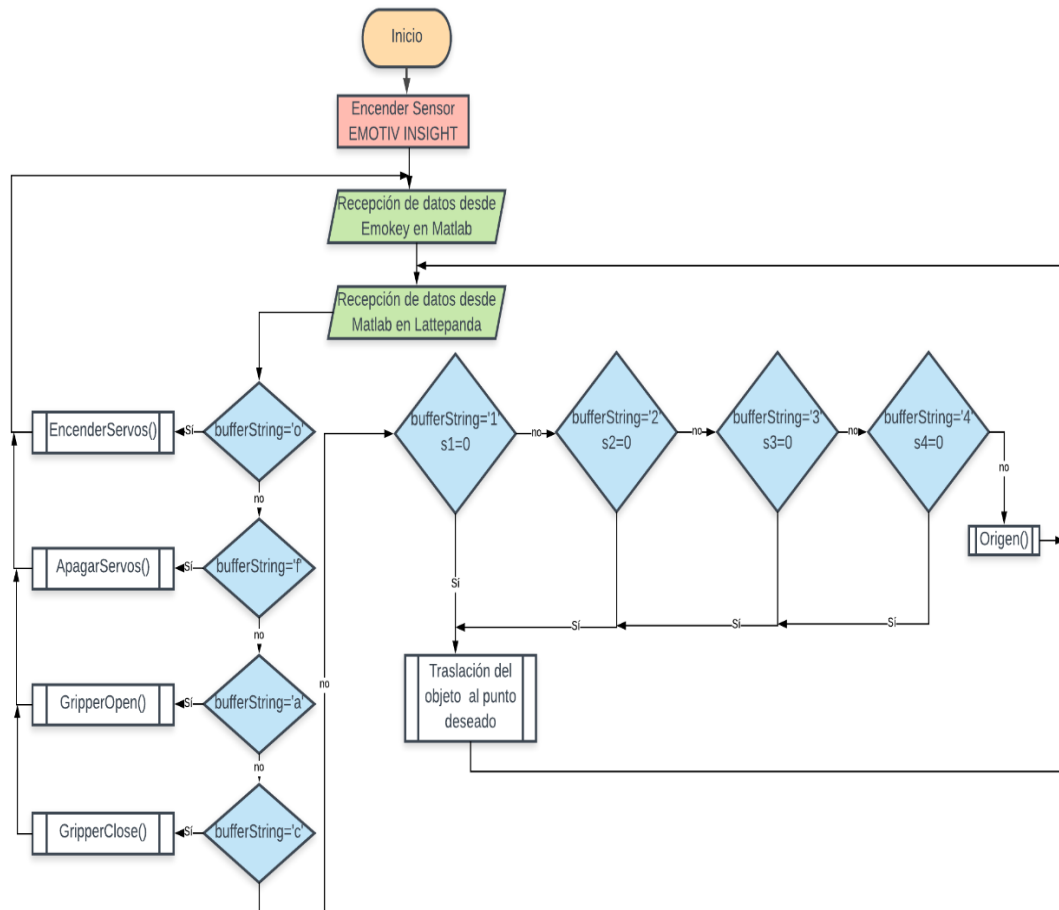
Tabla 3.6 Caracteres y Acciones enviadas a Microcontrolador

Carácter Recibido de Emokey	Acción
H	Animación de Botón Home Envío de Dato de Posición Home a Microcontrolador
1	Animación de Posición 1 Envío de Dato de Posición 1 a Microcontrolador
2	Animación de Posición 2 Envío de Dato de Posición 2 a Microcontrolador
3	Animación de Posición 3 Envío de Dato de Posición 3 a Microcontrolador
4	Animación de Posición 4 Envío de Dato de Posición 4 a Microcontrolador
O	Envía instrucción de Encender Servos
F	Envía instrucción de Apagar Servos
A	Animación de Botón de Apertura de Pinza Envío de Dato de apertura de Pinza
C	Animación de Botón de Cierre de Pinza Envío de Dato de Cierre de Pinza
S	Animación de Botón de Emergencia Envío de Dato de para detener Proceso

Los datos se envían a través de las instrucciones mostradas en el anexo 1.4 Fuente: (Autores)

En IDE de Arduino se configura la interpretación de caracteres en comandos de movimiento que se enviarán por puerto serial a la controladora mediante comunicación RS-232C. Inicialmente se envían datos para activar y desactivar los servomotores del brazo, el proceso de movimiento requiere que se compare los datos enviados desde Emotiv Emokey- Matlab hasta los datos almacenados en la LattePanda. En la Figura 3.14 se observa el proceso de comprobación de datos y las acciones asociadas a cada uno de ellos.

Figura 3.14 Interpretación de caracteres en base a los datos recibidos en LattePanda

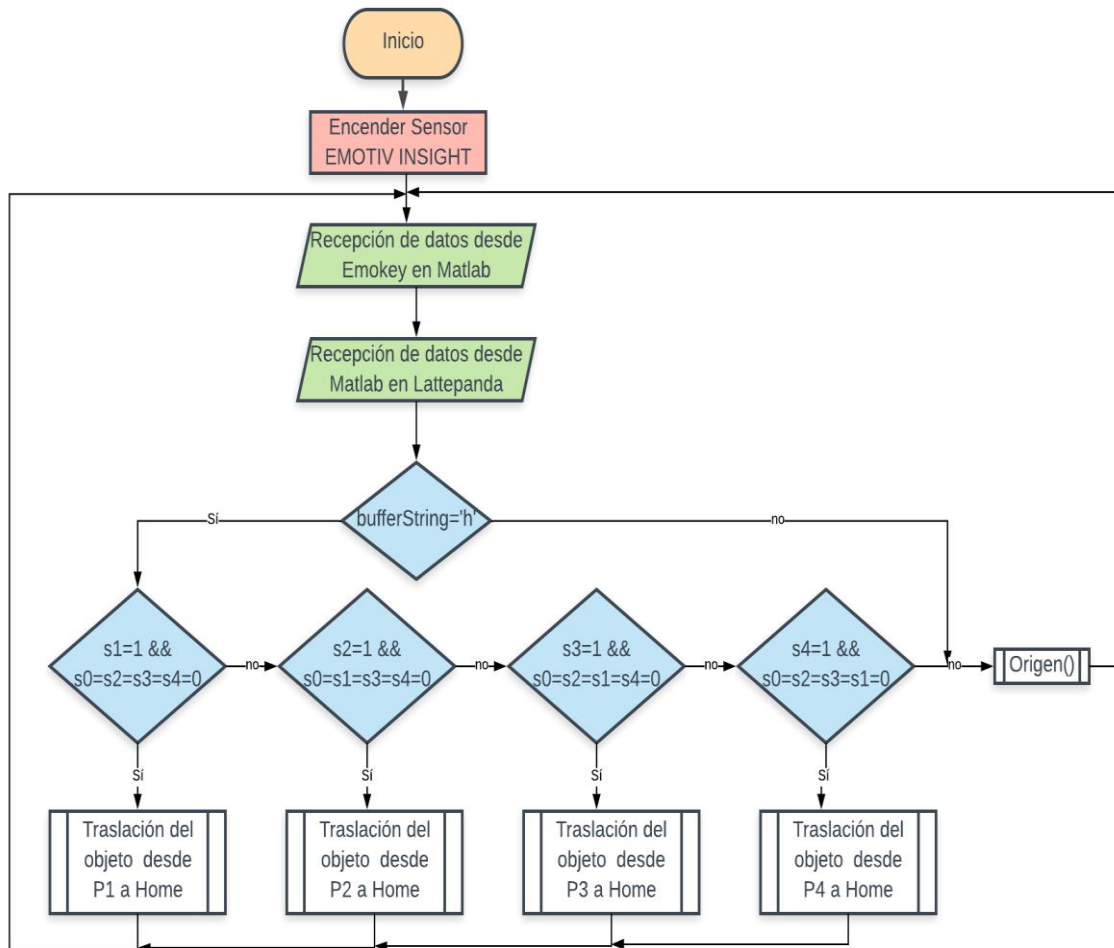


La interpretación de los datos requiere, que siempre se esté leyendo los datos del buffer en el puerto serial. Fuente: (Autores)

Inicialmente se reciben los datos desde Emokey hacia Matlab, en donde se realiza las animaciones correspondientes a los movimientos del brazo, a continuación la transmisión del bufferString (variable que recibe los caracteres desde Text Box de la interfaz de Matlab), hacia la LattePanda se la debe realizar verificando que los caracteres recibidos estén acompañados de los caracteres \n, como se muestra en el Anexo 1.7.

Para la ubicación del objeto de prueba se utilizó sensores de contacto, los mismos que ayudan a condicionar durante la programación los diferentes movimientos del manipulador. Para realizar cualquier movimiento de traslación se determinó una posición de origen (posición inicial del brazo con coordenadas adecuadas), la función para este fin se denomina Origen (), como se observa en el Anexo 1.8. El proceso que sigue el sistema con respecto a la posición Home se observa en la Figura 3.15.

Figura 3.15 Proceso para secuencia de movimientos hacia posición Home desde el resto de puntos, dada la señal proporcionada por los sensores.



El código mostrado relaciona los caracteres recibidos desde Matlab y la información proporcionada por los sensores. Fuente: (Autores)

Para trasladar el objeto de un lugar a otro el sistema evalúa la información proporcionada por los sensores (s_0, s_1, s_2, s_3, s_4), correspondientes a cada una de las posiciones (Home, P1, P2, P3, P4) respectivamente en el área de prueba, en base a ello determina si las posiciones se encuentran ocupadas y de esta manera habilitar o no el movimiento del manipulador hacia el objeto a ser trasladado.

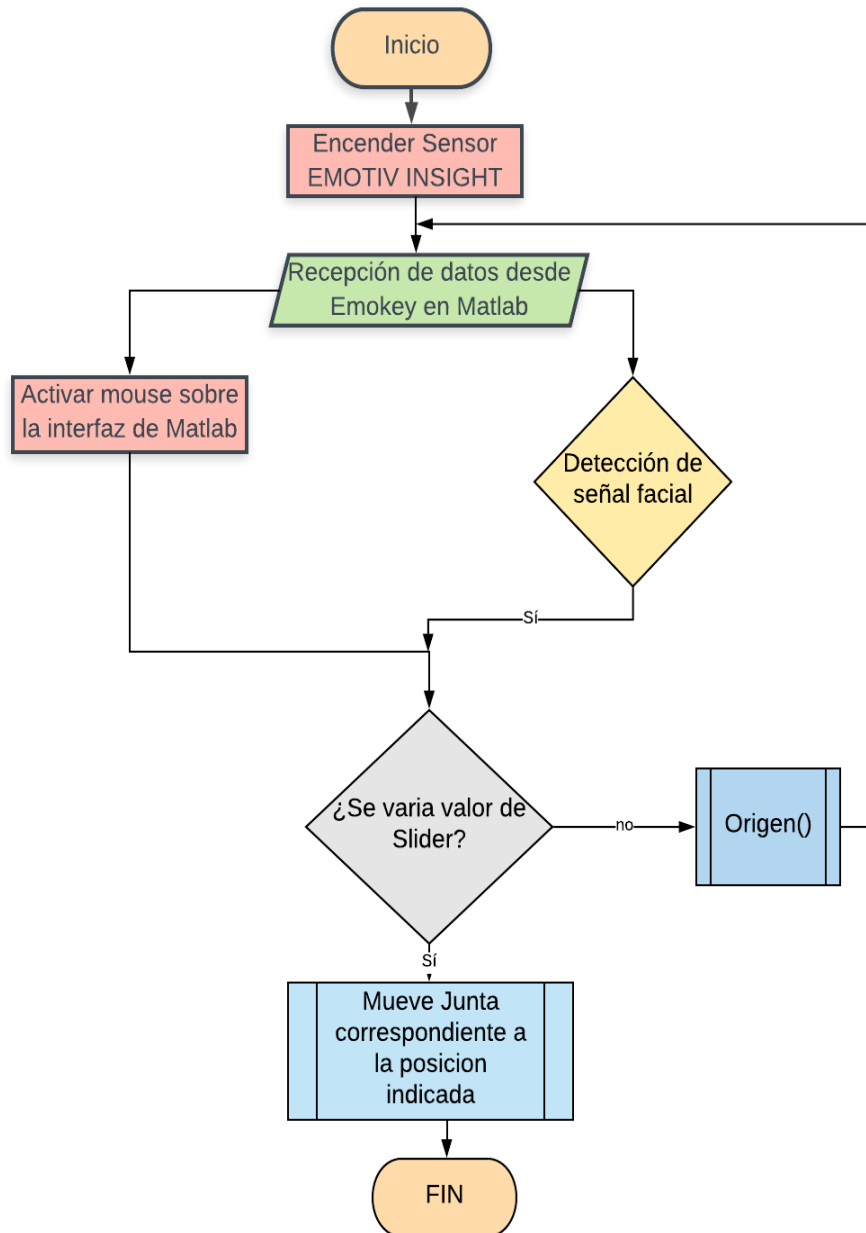
3.8.2. COMANDOS DE MOVIMIENTO PARA JUNTAS

Esta opción permite al usuario controlar directamente al robot sin necesidad de enviar el dato de una posición específica, su diseño a nivel de interfaz gráfica utiliza Slider para mover sus juntas de forma independiente.

El proceso de movimiento por juntas (Figura 3.16), requiere utilizar la herramienta mouse de la diadema Emotiv, los datos de movimiento se los utiliza para colocar el cursor sobre la interfaz gráfica, además para seleccionar el movimiento de las juntas

y enviar el respectivo comando se utiliza el reconocimiento de una expresión facial para que habilite la transmisión de dato. El código utilizado en la interfaz desarrollada en Matlab para ejecutar estos movimientos se muestra en el Anexo 1.5.

Figura 3.16 Proceso de flujo de datos para enviar valores de slider hacia la controladora del brazo.



Proceso para habilitar movimiento mediante señal proporcionada por mouse Emotiv y Emokey.

Fuente: (Autores)

Los datos se envían mediante una cadena compuesta de 5 parámetros, cada dato se asocia a las juntas y tienen el siguiente orden J1, J2, J3, J5, J6. El objetivo de esta trama se debe a que el microcontrolador usará esta información para colocarlo dentro

de una instrucción de movimiento que se enviará a la controladora. El código utilizado en el microcontrolador se muestra en la Figura 3.17:

Figura 3.17 Código implementado para ejecutar movimiento por juntas

```

/////////////////////////////////Movimiento por Juntas////////////////////////////////////////
if(cont==1) { //condición para mover brazo por juntas
  if(bufferString=="a\n"){ //condición para abrir pinza
    gripperOpen();
  }
  else if(bufferString=="c\n"){ //condición para cerrar pinza
    gripperClose();
  }

  else if(bufferString != "x\n") //condición para recibir datos de slider desde matlab
  {
    Serial1.println("1;1;EXECJOVRD 30"); //comando para establecer velocidad del brazo
    delay(10);
    Serial1.print("1;1;EXECJCOSIROP="); //comando para establecer una posicion por juntas
    Serial1.print(bufferString); //buffer recibido por desde slider de matlab
    Serial1.println("");
    Serial1.println("1;1;EXECMOV JCOSIROP"); //comando para mover el brazo a la posicion establecida
    delay(10);
  }
  else {}
  } // Fin de condición movimiento por juntas
} // Fin condición para recibir datos por puerto serie
} // Fin de void loop

```

Los datos recibidos, pasan a formar parte de la trama que especifica la posición por juntas.

Fuente: (Autores)

3.8.3. FUNCIONES DESARROLLADAS PARA EJECUTAR SENTENCIAS DE MOVIMIENTO

Con el objetivo de tener una programación ordenada sobre el IDE de Arduino se utilizó funciones para ejecutar las distintas acciones en cualquier momento, de esa manera se creó las funciones mostradas en la Tabla 3.7.

El tipo de estructura por funciones además permite que el código pueda ser modificado de forma rápida ya que el nombre de dichas funciones identifica a la acción que ejecuta dicha parte del código.

Tabla 3.7 Funciones creadas en entorno Arduino, para formato ordenado y estructurado.

Nombre de Función	Acción
EncenderServos()	Función dedicada a encender los servos
ApagarServos()	Función dedicada a apagar los servos
gripperOpen()	Apertura de Pinza
gripperClose()	Cerrar Pinza
resetAlarm()	Resetear Alarmas
Stop()	Parada de Emergencia
HomeAbajo()	Función para mover el brazo a la posición Home a nivel de base de prueba
HomeArriba()	Función para mover el brazo a la posición Home a de forma vertical en coordenadas x,y,z.
PrimeraAbajo()	Función para mover el brazo a la posición P1 a nivel de base de prueba
PrimeraArriba()	Función para mover el brazo a la posición P1 a de forma vertical en coordenadas x,y,z.
SegundaAbajo()	Función para mover el brazo a la posición P2 a nivel de base de prueba
SegundaArriba()	Función para mover el brazo a la posición P2 a de forma vertical en coordenadas x,y,z.
TerceraAbajo()	Función para mover el brazo a la posición P3 a nivel de base de prueba
TerceraArriba()	Función para mover el brazo a la posición P3 a de forma vertical en coordenadas x,y,z.
CuartaAbajo()	Función para mover el brazo a la posición P4 a nivel de base de prueba
CuartaArriba()	Función para mover el brazo a la posición P4 a de forma vertical en coordenadas x,y,z.

Las funciones corresponden a las acciones que deben ejecutarse según los comandos recibidos por

Emokey-Matlab. Fuente: (Autores)

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas realizadas sobre este proyecto han permitido determinar el grado de efectividad y respuesta por parte del sistema. El resultado de éstas proporcionan información para establecer las conclusiones y recomendaciones que podrán ser usadas en investigaciones posteriores.

Para realizar el estudio se han establecido las condiciones que se muestran a continuación:

Las interfaces que deben estar habilitadas para todas las pruebas son:

- Emotiv Xavier: Mental Commands, para realizar el entrenamiento.
- Emotiv Emokey
- Interfaz de programa BCI Matlab

Los parámetros de comunicación establecidos son:

- Velocidad de transmisión: 9600 Baud
- Bit de Parada: 1
- Paridad: Espacio
- Control de flujo: Ninguno
- Bit de datos: 8
- Puerto Com: COM 6

El porcentaje de entrenamiento “Overall Skill Rating” de la interfaz Emotiv “Mental Commands” corresponde al rango aproximado de: 55% tal como se observa en la Figura 3.6.

La base de pruebas cuenta con 5 aros sobre los cuales se colocará el objeto, cada aro está asociado a una posición específica, la ubicación de estos sensores se observa en la Figura 3.3. Los datos registrados se muestran en las tablas correspondientes al Anexo 2. Los resultados se han rellenado con una letra “x”, para indicar si el movimiento del brazo se ejecutó de forma correcta o no.

4.1. PRUEBA DE EXACTITUD POR POSICIÓN SOBRE INTERFAZ DE MATLAB

La prueba consiste en contar el número de aciertos y no aciertos cada vez que el usuario piensa en ejecutar una acción específica al observar en la interfaz cualquiera de los iconos de flecha (arriba, abajo, izquierda, derecha) y que representa dirigir al brazo desde la posición “Home” hasta las posiciones P1, P2, P3 o P4 mostrada tanto en la interfaz como en el área de prueba. Para realizar esta prueba el usuario debe entrenar previamente la diadema utilizando Emotiv Mental Commands. Las pruebas se realizaron sobre tres personas, para cada una se ha tomado un total de 20 muestras por cada posición, en la Tabla 4.1 se muestra el resumen de resultados obtenidos para la posición P1.

Tabla 4.1 Resumen de datos obtenidos durante la prueba de posición P1.

TABLA DE RESULTADOS DE LA POSICIÓN 1			
Aciertos		48	Veces
No Aciertos		12	Veces
Ejecutó	P2	12	Veces
	P3	0	Veces
	P4	0	Veces
Tiempo Máximo		8,740	[s]
Tiempo Mínimo		1,120	[s]
Tiempo Promedio		3,894	[s]

Resumen de resultados para posición P1 obtenidos después de tabular los datos de la tabla general mostrada en el Anexo 2.1. Fuente: (Autores)

Los resultados de la prueba de posición P2 se obtuvieron cuando el usuario observa sobre la interfaz el icono de flecha abajo. Cada vez que el usuario tenga un acierto el brazo se moverá desde la posición central “Home” hasta dicha posición, el resumen de resultados se observa en la Tabla 4.2.

El proceso se ha repetido tanto con las pruebas de posición P3 y P4, es decir el usuario que ha realizado la prueba se ha fijado tanto en los iconos de flecha izquierda y derecha respectivamente, los resultados se observan en la Tabla 4.3 para prueba a posición P3 y en la Tabla 4.4 para posición P4.

Tabla 4.2 Resumen de datos obtenidos durante la prueba de posición P2.

TABLA DE RESULTADOS DE LA POSICIÓN 2		
Aciertos	21	Veces
No Aciertos	39	Veces
Ejecutó	P1	35 Veces
	P3	3 Veces
	P4	1 Veces
Tiempo Máximo	6,480	[s]
Tiempo Mínimo	0,220	[s]
Tiempo Promedio	3,522	[s]

Resumen de resultados para posición P2 obtenidos después de tabular los datos de la tabla general mostrada en el Anexo 2.2. Fuente: (Autores)

Tabla 4.3 Resumen de datos obtenidos durante la prueba de posición P3.

TABLA DE RESULTADOS DE LA POSICIÓN 3		
Aciertos	35	veces
No Aciertos	25	veces
Ejecutó	P1	3 veces
	P2	5 veces
	P4	17 veces
Tiempo Máximo	7,830	[s]
Tiempo Mínimo	0,750	[s]
Tiempo Promedio	2,801	[s]

Resumen de resultados para posición P3 obtenidos después de tabular los datos de la tabla general mostrada en el Anexo 2.3. Fuente: (Autores)

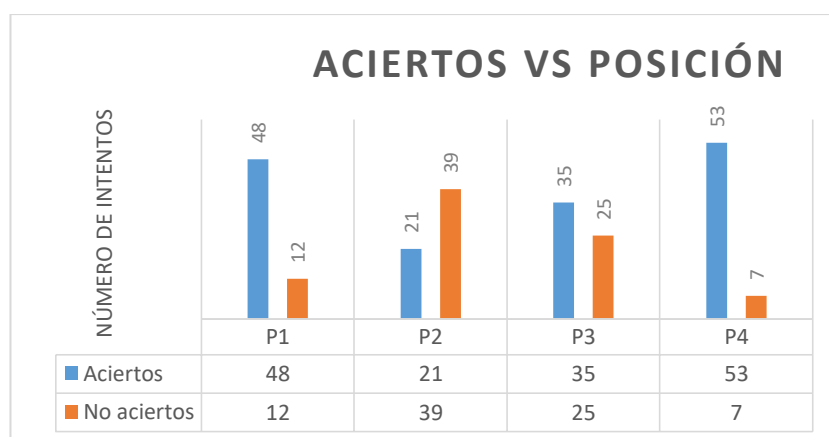
Tabla 4.4 Resumen de datos obtenidos durante la prueba de posición P4.

TABLA DE RESULTADOS DE LA POSICIÓN 4		
Aciertos	53	veces
No Aciertos	7	veces
Ejecutó	P1	3 veces
	P2	0 veces
	P3	4 veces
Tiempo Máximo	5,440	[s]
Tiempo Mínimo	0,430	[s]
Tiempo Promedio	2,191	[s]

Resumen de resultados para posición P4 obtenidos después de tabular los datos de la tabla general mostrada en el Anexo 2.4. Fuente: (Autores)

Los datos tabulados, se expresan de forma gráfica en la Figura 4.5 e indican el resultado de aciertos para cada una de las posiciones, en ella se observa que hay una mayor cantidad de aciertos para posición P1 y P4.

Figura 4.1 Relación de aciertos respecto a la posición.



Los resultados se han expresado de forma gráfica para contrastar la información y expresar los debidos resultados. Fuente: (Autores)

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA PRUEBAS DE ACIERTOS VS POSICIÓN

El resumen de datos mostrados en las Tablas 4.1 a 4.4, indica el número de aciertos que demostró el sistema con respecto a la ejecución de movimientos para cada una de sus posiciones, el resultado se expresa de forma porcentual en la Tabla 4.5

En forma general los resultados muestran que el sistema proporciona una eficiencia de 65,41%, este porcentaje se ha obtenido de un total de 240 muestras realizadas para todas las posiciones.

De estas pruebas se puede verificar que el número de aciertos para trasladar el objeto de una posición a otra incrementa en mayor razón en las posiciones P1 y P4. Mientras que en la posición P2 el resultado alcanza un 35% de acierto, el rendimiento mostrado por esta prueba en específico se asocia con la acción que los usuarios utilizaron para entrenar esta acción y que ciertamente se ve afectada por patrones faciales.

Las razones que se relacionan directamente con el grado de efectividad tienen que ver con el número de ocasiones en las que se ha entrenado el sensor, el tiempo de autonomía del sensor y el tiempo durante el cual el usuario ha estado utilizando el sensor.

Tabla 4.5 Resultado en porcentaje de aciertos y no aciertos para cada posición

	Número de Aciertos /60 muestras	Número de No aciertos/60 muestras	Porcentaje de Aciertos por posición (%)	Porcentaje de No aciertos (%)
P1	48	12	80,00	20,00
P2	21	39	35	65
P3	35	25	58,33	41,67
P4	53	7	88,33	11,67
Porcentaje total de aciertos / 240 muestras	65,41%	34,58%		

El sistema muestra un 65,41% de efectividad, considerando el número de aciertos totales con respecto al número de muestras totales. Fuente: (Autores)

4.3. TIEMPO DE REACCIÓN DEL SISTEMA

El tiempo de reacción del sistema depende de la velocidad con la cual la tarjeta LattePanda puede conllevar varios procesos, es decir su capacidad para ejecutar simultáneamente programas como Emotiv y Matlab. Aunque posee características similares a un ordenador portátil, el hecho de ejecutar varios procesos a la vez puede alterar el resultado de recepción y envío de comandos hacia la controladora CR1-571. En la Tabla 4.6 se muestra los resultados de las pruebas con la interfaz gráfica de Matlab.

Para registrar el tiempo que tarda el usuario en generar el patrón de señal para una acción específica se utilizó el cronómetro de la interfaz Emotiv. Para determinar dicho tiempo se registró el tiempo inicial y final para posteriormente obtener la diferencia entre estos valores y determinar el valor de tiempo correspondiente para cada muestra.

En la Tabla 4.6 se observa el resumen de los datos mostrados en el Anexo 2.5

Tabla 4.6 Promedio de tiempo para cada una de las posiciones

	Promedio	Tiempo Máximo	Tiempo Mínimo
Tiempo P1	3,894	8,740	1,120
Tiempo P2	3,522	6,480	0,220
Tiempo P3	2,801	7,830	0,750
Tiempo P4	2,191	5,440	0,430

Los registros de tiempo se tomaron con el cronómetro mostrado por interfaz Emotiv.

El rango promedio de tiempo entre 2 y 3 segundos permite al sistema que pueda recibir tranquilamente los comandos y ejecutarlos sin mayor problema. En los casos donde el

tiempo ha superado los 5 segundos se relaciona con factores como el nivel de batería del sensor o síntomas de cansancio generados por el uso extendido del sensor.

4.4. PRUEBA PARA DETECCIÓN DE SEÑAL EN ELECTRODOS DE EMOTIV INSIGHT

En las pruebas realizadas se observó el comportamiento del sensor cuando este era portado por mujeres y como la detección de la señal se ve afectada por la cantidad de cabello en los puntos donde se coloca los electrodos.

Cabe señalar que esta prueba se la realizó sobre tres usuarios de género femenino y consiste en colocar la diadema sobre la cabeza del usuario y comprobar la actividad de los electrodos en la interfaz de Emotiv, es decir verificar si los puntos de contacto de los electrodos muestran una calidad de adquisición de señal aceptable y que permita llevar a cabo el entrenamiento respectivo.

Las consideraciones necesarias para esta sección son:

- La interfaz Emotiv debe colocarse en el panel Set Up, ventana sobre la cual se puede observar la ubicación de los electrodos en la cabeza del usuario y además se verifica la calidad de adquisición de señal representada por colores.
- Una señal con mucho ruido o de baja calidad se representa por indicador de color rojo.
- Una señal con ruido y semi-estable se representa por indicador de color naranja.
- La señal de buena calidad y estable se representa por indicador de color verde.
- Cuando no se detecta ningún tipo de señal se observa el indicador en color gris.

Los resultados se muestran en la tabla 4.7 y en la cual se muestra la actividad de los electrodos detectados por la interfaz Emotiv y los mensajes mostrados durante el entrenamiento, además se indica la calidad de la señal detectada a través de sus respectivos colores. Analizando los resultados se determina claramente que el sensor ha detectado de mejor manera las posiciones en las cuales existe una menor cantidad de cabello siendo estas las ubicaciones AF3, AF4. Para el resto de posiciones el indicador de color gris muestra que no hay una adquisición de señal que permita llevar a cabo el entrenamiento de forma normal y como consecuencia los mensajes de error mostrados en la ventana Emotiv Mental Commands.

Tabla 4.7 Resultados de la detección de señales sobre el cuero cabelludo de usuarios de género femenino.

Usuario/a	Electrodos Activados en panel Set Up	Indicador	Mensaje Mostrado en Panel de Entrenamiento
Diana Solórzano (Anexo 3.1 y 3.2)	AF3	<i>Naranja</i>	Updating current profile with training data, please wait....
	AF4	<i>Naranja</i>	
	T7	<i>Gris</i>	
	T8	<i>Gris</i>	
	Pz	<i>Gris</i>	
Estefanía Zurita (Anexo 3.3 y 3.4)	AF3	<i>Rojo</i>	Last training section failed as signal was noisy.
	AF4	<i>Rojo</i>	
	T7	<i>Verde</i>	
	T8	<i>Gris</i>	
	Pz	<i>Gris</i>	
Zaira Calvopiña (Anexo 3.5 y 3.6)	AF3	<i>Naranja</i>	Last training section failed as signal was noisy.
	AF4	<i>Naranja</i>	
	T7	<i>Gris</i>	
	T8	<i>Naranja</i>	
	Pz	<i>Gris</i>	

El color de cada uno de los indicadores muestra la calidad de la señal que adquiere el sensor por cada uno de los canales. Fuente:(Autores)

CONCLUSIONES

El brazo robot Mitsubishi RV-2AJ fue controlado mediante ondas cerebrales adquiridas a través de la diadema Emotiv Insight e interpretadas en el software de desarrollo Matlab embebido en una tarjeta LattePanda.

La investigación desarrollada para la implementación del proyecto determinó que los programas necesarios para la interpretación de datos e interfaz gráfica son Emotiv Xavier y Matlab, Emotiv permite la interpretación rápida de las señales detectadas, además incluye la licencia cuando se realiza la compra de la diadema; por su parte la elección de Matlab para el desarrollo de interfaz gráfica se debe a la adaptabilidad y la posibilidad de implementar mejoras en próximas investigaciones que requieran hacer análisis sobre las señales analógicas de la diadema.

Se estableció los parámetros de comunicación entre el robot Mitsubishi RV-2AJ, Matlab y la tarjeta LattePanda, entre ellos se determina obligatoriamente una paridad “Espacio” diferente a otras aplicaciones que se comunican con el brazo robot y que utilizan tipo de paridad “ninguna” o “none”.

Se desarrolló la interfaz gráfica en Matlab que mejora la experiencia de usuario a través de un entorno amigable, colorido con imágenes grandes para provocar estímulos visuales en el usuario y de esta forma pueda manipular una camisa con diferentes posiciones con mayor exactitud, además Matlab permite la supervisión del proceso con una webcam, proporcionando la posibilidad de desarrollar visión artificial en futuros proyectos.

El sistema incluye dos formas de control para el brazo robot, la primera basada en cinemática directa que permite el control de cada una de las juntas del manipulador a través del giroscopio interno del sensor y por medio de expresiones faciales, la segunda forma de control es basada en cinemática inversa que permite la traslación de un objeto a un punto específico dentro del entorno de trabajo, dependiendo de las señales cerebrales interpretadas por el sensor y Emotiv Xavier.

El tiempo de respuesta del BCI es aproximadamente 3,102 segundos se considera muy bueno cuando el proceso industrial requiere exactitud en vez de velocidad, sin embargo si estuviese sometido a una producción en serie el tiempo de respuesta se consideraría

lento tomando en cuenta que está orientado para personas con discapacidad no sería correcto aplicarlo en procesos complejos y rápidos.

Algunos factores que alteran la lectura e interpretación de la señales son la etapa de entrenamiento, ruido del entorno, problemas de concentración, emociones del usuario, estados como cansancio, dislexia, entre otros; el cabello largo complica la lectura de las señales pues actúa como obstáculo entre el cuero cabelludo y el electrodo.

A mayor número de acciones que se agregan en la etapa de entrenamiento del sistema, el sensor puede interpretar señales o gestos del usuario de forma errónea, confundiéndolos con acciones anteriormente almacenadas, sin embargo una solución para ello es variar la sensibilidad por parte del sensor desde Emotiv Xavier. En los casos en los que se ajustó la sensibilidad se lo hizo con un margen de +/- 20% para cada acción.

Se determinó que la autonomía del sensor dada por su batería puede afectar la adquisición de datos si esta se encuentra en nivel bajo puede causar fallos de conectividad con el software y generar señales erróneas para realizar acciones no predeterminadas en el sistema.

RECOMENDACIONES

Considerar que la posición de origen del manipulador Mitsubishi RV- 2AJ se encuentre correctamente establecida, de no ser así al enviar coordenadas desde el software hacia el brazo puede surgir una alerta de error, la misma que indica que la coordenada es inaccesible para el brazo.

Para realizar la comunicación RS-232C entre el brazo y la tarjeta de desarrollo es necesario tener en cuenta que se debe utilizar el convertidor TTL-RS232, y que la perilla del controlador se encuentre en la posición de comunicación externa.

Mantener siempre a la mano el control Teachbox, ya que en caso de fallas del sistema, se podrá activar de manera inmediata el botón paro de emergencia y de esta manera evitar graves accidentes.

Previa la utilización del sensor se debe lubricar los electrodos con glicerina, de manera uniforme para lograr una mejor lectura de la señal cerebral y además evitar que estos sufran rupturas.

Se recomienda llevar cabello corto para mejorar los resultados dado que cabello en abundancia puede alterar la detección de datos, y dificultar el contacto directo entre el cuero cabelludo y los electrodos del sensor.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdulkader, S. N., Atia, A., & Mostafa, M.-S. M. (2015). Brain computer interfacing: Applications and challenges. *Egyptian Informatics Journal*, 219-222.
- Abdulkader, S. N., Atia, A., & Mostafa, M.-S. M. (2015). Brain computer interfacing: Applications and challenges. *Egyptian Informatics Journal*, 214.
- Bento, V., Paula, L., Ferreira, A., Figueiredo, N., Tomé, A., Silva, F., & Paulo, J. (s.f.). *Advances in EEG-based Brain-Computer Interfaces for Control and Biometry*. Aveiro, Aveiro, Portugal: IEETA, University of Aveiro.
- Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades. (2018). *Estadística y Análisis de datos de Personas con Discapacidad Registradas*. Obtenido de Estadística y Análisis de datos de Personas con Discapacidad Registradas: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/03/index.html>
- Craig, J. J. (s.f.). Cinemática Inversa de Manipuladores. En J. J. Craig, *Robótica* (págs. 101-106). Pearson Prentice Hall.
- G. Schalk, J. M. (2010). Recordng EEG. En *A Practical Guide to Brain-Computer Interfacing with BCI2000* (págs. 16-18). Springer-Verlag London Limited .
- Higuera, A. G., & García, F. J. (2007). *CIM, el computador en la automatización de la producción*. Cuenca, España: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- How, D. N., Keat, C. W., Anuar, A., & Sahari, K. S. (2016). Robotic ARm Control Based on Human Arm Motion. En H. A. Sakim, & M. T. Mustaffa (Edits.), *The 8th International Conference on Robotic, Vision, Signal Processing & Power Applications* (págs. 81-82). Springer.
- Jiménez, D. G. (2007). Tipos de Coordenadas y Ecaciones lineales del movimiento: Métodos Globales. En *Aplicaciones de la Diferenciación Automática en Ingeniería Mecánica* (pág. 79). Madrid.

- KICKSTARTER. (s.f.). *KICKSTARTER*. Obtenido de <https://www.kickstarter.com/projects/139108638/lattepanda-a-45-win10-computer-for-everything/description>
- LATTEPANDA. (31 de 12 de 2015). *LATTEPANDA*. Obtenido de <http://www.lattepanda.com/products/3.html>
- MITSUBISHI ELECTRIC FACTORY AUTOMATION. (12 de 01 de 2018). *SIRIUS TRADING&SERVICES*. Obtenido de <http://www.siriustrading.ro/Download/MELFA%20-%20Catalog.pdf>
- Ö, Ç., & H, K. (2010). CLASSIFICATION OF THE INDUSTRIAL ROBOT ARMS. *International Scientific Conference AMTECH'07 Gabrovo, Advanced Manufacturing Technologies Proceedings*, (págs. 126-127). Gabrovo-Bulgaria.
- Ordoñez, M. H., Moctezuma, M. B., Arriaga, C. A., & Portillo, J. C. (2015). *Robótica: Análisis, modelado, control e implementación*. Ciudad Victoria, Tamaulipas-México: OmniaScience.
- Organización Mundial de la Salud. (s.f.). *Organización Mundial de la Salud: Discapacidad y rehabilitación*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: Discapacidad y rehabilitación: http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/es/
- Palaniappan, R. (2014). Electroencephalogram-based Brain–Computer Interface:. En E. R. Miranda, *Guide to Brain-Computer Music Interfacing* (págs. 29-41). Londres , London: Springer-Verlag London.
- Ramadan, R. A., & Vasilakos, A. V. (Octubre de 2016). Brain Computer Interface : Control Signals. *Neurocomputing*, 223, 31-34. doi:10.1016/j.neucom.2016.10.024
- Vepa, R. (2009). Direct Kinematics of Serial Robot Manipulator. En R. Vepa, *Biomimetic Robotics: Mechanisms and Control* (págs. 74-76). New York, USA: Cambridge University Press.

ANEXOS

Anexo 1. Código de Programación

Anexo 1.1 Código para configuración de puerto serial en Matlab.

```
% --- Executes just before brazo_com3 is made visible.
function brazo_com3_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
sel=serial('COM6','BaudRate',9600,'DataBits',8,'Parity',...
    'space','StopBits',1)
fclose(instrfind);
fprintf('cerrando todos los puertos existentes...\n')

serialPorts = instrhwinfo('serial');
nPorts = length(serialPorts.SerialPorts);
set(handles.portList, 'String',...
    [{'Seleccione un puerto'} ; serialPorts.SerialPorts ]);
set(handles.portList, 'Value', 2);
set(handles.history_box, 'String', cell(1));
```

Anexo 1.2 Código para configuración de puerto serial en IDE de Arduino, para comunicación entre LattePanda Controladora CR1-571

```
6
7 void setup() {
8
9   Serial.begin(9600);
10  Serial1.begin(9600,SERIAL_0E1);
11
12 }
```

Anexo 1.3 Código para transmisión de datos hacia controladora.

```
21
22   if (input=='a'){ // SEÑAL PARA IR A HOME
23
24   gripperOpen();
25   Serial.println("1;1;EXECJOVRD 30");
26   Serial1.println("1;1;EXECJOVRD 30");
27   delay(10);
28   Serial.print("1;1;EXECJCOSIROP=");
29   Serial.print(0);   Serial.print(",");// J1
30   Serial.print(86.53); Serial.print(",");// J2
31   Serial.print(5.38); Serial.print(",");// J3
32   Serial.print(0);   Serial.print(",");// J4
33   Serial.print(86.40); Serial.print(",");// J5
34   Serial.print(0);   Serial.println("// J6
35
36   Serial1.println("1;1;EXECJCOSIROP=(0,86.53,5.38,0,86.40,0)");
37   delay(10);
38
39   Serial.println("1;1;EXECMOV JCOSIROP");
40   Serial1.println("1;1;EXECMOV JCOSIROP");
41   delay(4000);
42   gripperClose();
43
44   }
--
```

Anexo 1.4 Código para interpretación de caracteres de Emotiv Emokey para interpretación gráfica de Matlab.

```
function Tx_send_Callback(hObject, eventdata, handles)
TxText = get(handles.Tx_send, 'String');

    fprintf(handles.serConn, TxText);

currList = get(handles.history_box, 'String');

set(handles.history_box, 'String', [currList ; ['Enviado:' datestr(now) ...
': ' TxText] ]);
set(handles.history_box, 'Value', length(currList) + 1 );
set(hObject, 'String', '');

if TxText == 'h'
    set(handles.home, 'Visible', 'off');
    set(handles.pos1, 'Visible', 'on');
    set(handles.pos2, 'Visible', 'on');
    set(handles.pos3, 'Visible', 'on');
    set(handles.pos4, 'Visible', 'on');
    % set(handles.home, 'BackgroundColor', 'green');
end

if TxText == '1'
    set(handles.home, 'Visible', 'on');
    set(handles.pos1, 'Visible', 'off');
    set(handles.pos2, 'Visible', 'on');
    set(handles.pos3, 'Visible', 'on');
    set(handles.pos4, 'Visible', 'on');
end
```

Anexo 1.5 Función encargada de enviar los valores que detectan los slider hacia el micro controlador.

```
function slider1_Callback(hObject, eventdata, handles)
global x y z o p
j1=get(hObject, 'Value');
set(handles.txtj1, 'String', j1);

x=int2str(j1);
coma=',';
ceros1='0,';
s = strcat(x, coma, y, coma, z, ceros1, o, coma, p);

fprintf(handles.serConn, s);
```

Anexo 1.6 Código para declarar parámetros de conexión en IDE Arduino

```
void setup() {
  /*Iniciamos comunicación con el puerto serie y para
  enviar comandos hacia la controladora */
  Serial.begin(9600);//
  Serial1.begin(9600);
  /*Declaración de pines como entradas y salidas */
  pinMode(led,OUTPUT);
  pinMode(s0,INPUT);
  pinMode(s1,INPUT);
  pinMode(s2,INPUT);
  pinMode(s3,INPUT);
  pinMode(s4,INPUT);
}
```

Anexo 1.7 Interpretación de caracteres en instrucciones para transmitir a la controladora del Brazo.

```
void loop() {

  if (Serial.available() > 0) { //Se evalua para saber si se recibe un caracter por el puerto serial
    delay(20); //Delay para favorecer la lectura de caracteres

    String bufferString = ""; //Se crea una variable que servirá como buffer

    while (Serial.available() > 0) { //Se le indica a Arduino mientras exista datos
      bufferString += (char)Serial.read(); //disponibles para ser leídos en el puerto serie
      //se mantenga concatenando los caracteres en la
    } //variable bufferString

    if(bufferString=="o\n"){ // condición para encender Servomotores
      EncenderServos();
    }
    else if(bufferString=="f\n"){ // condición para apagar Servomotores
      ApagarServos();
    }
  }
}
```

Anexo 1.8 Secuencia de Movimientos hacia posición Home desde el resto de puntos dado el Dato recibido desde Matlab en el sensor S1.

```
// Secuencia de movimientos hacia home desde los 4 puntos
else if(bufferString=="h\n"){ // condición para ir a la posición HOME
    if( digitalRead(s1)==HIGH){ // condición que permite saber si la ficha está en P1
        gripperOpen();
        PrimeraArriba();
        delay(2000);
        PrimeraAbajo();
        delay(2000);
        gripperClose();
        delay(100); //Empieza secuencia de movimientos para*/
        PrimeraArriba(); //trasladar la ficha desde P1 hacia HOME*/
        delay(2000);
        HomeArriba();
        delay(2000);
        HomeAbajo();
        delay(2000);
        gripperOpen();
        HomeArriba();
        delay(2000);
        Origen();
    }
}
```

Anexo 1.9 Secuencia de Movimientos hacia posición P1 desde el resto de puntos dado el Dato recibido desde Matlab.

```
// Secuencia de movimientos hacia P1 desde los 4 puntos
else if(bufferString=="1\n"){ // condición para ir a la posición P1
    if( digitalRead(so)==HIGH){ // condición que permite saber si la ficha está en HOME
        gripperOpen();
        HomeArriba();
        delay(2000);
        HomeAbajo();
        delay(2000);
        gripperClose();
        delay(100);
        HomeArriba(); //Empieza secuencia de movimientos para*/
        delay(2000); //trasladar la ficha desde HOME hacia P1*/
        PrimeraArriba();
        delay(2000);
        PrimeraAbajo();
        delay(2000);
        gripperOpen();
        PrimeraArriba();
        delay(2000);
        Origen();
    }
}
```

Anexo 2. Tablas de datos crudos de pruebas realizadas.

Anexo 2.1 Datos de Aciertos vs Posición 1

Anexo 2.1: Tabla de datos de Aciertos vs Posición 1

# de Prueba	EJECUTO		Pull P2	Left P3	Right P4	Tiempo (s)
	MOVIMIENTO?					
	Si	No				
1	x					4,880
2	x					1,380
3	x					4,630
4	x					8,000
5	x					2,250
6	x					3,160
7	x					3,190
8		x	x			3,130
9	x					2,630
10	x					6,760
11	x					1,870
12	x					2,290
13	x					5,260
14	x					5,010
15	x					3,250
16	x					3,760
17	x					1,760
18	x					1,120
19		x	x			2,820
20		x	x			1,370
21	x					5,760
22	x					4,080
23	x					2,040
24	x					3,400
25	x					2,040
26	x					3,410
27	x					2,720
28		x	x			2,720
29	x					2,040
30	x					2,720
31		x	x			2,580
32		x	x			2,980
33	x					3,400
34	x					2,720
35		x	x			3,400
36	x					3,780
37	x					4,400
38	x					3,400
39	x					4,760
40		x	x			3,400
41	x					7,220
42	x					6,080
43	x					5,320
44		x	x			4,180
45	x					3,040
46	x					4,180
47	x					8,740
48	x					4,560
49	x					4,560
50		x	x			5,700
51	x					4,800
52		x	x			4,840
53	x					4,140
54	x					3,310
55	x					4,560
56	x					5,530
57	x					4,030
58	x					3,990
59		x	x			5,560
60	x					5,010

Anexo 2.2 Datos de Aciertos vs Posición 2

Anexo 2.2: Tabla de datos de Aciertos vs Posición 2

# de Prueba	EJECUTO		Push P1	Left P3	Right P4	Tiempo (s)
	MOVIMIENTO?					
	Si	No				
1		x	X			2,120
2		x	X			1,870
3		x	X			4,370
4		x	X			3,500
5	X					2,750
6		x	X			3,380
7		x	X			1,380
8		x	X			2,620
9		x	X			5,500
10		x			x	2,620
11		x		x		0,220
12		x	X			3,370
13		x	X			5,250
14		x	X			5,380
15		x	X			3,630
16		x	X			3,880
17		x	X			2,670
18		x	X			3,260
19		x	X			4,290
20		x	X			3,250
21	X					4,380
22	X					3,400
23	X					3,400
24		x	X			2,310
25		x		x		3,360
26		x		x		2,720
27	X					2,720
28	X					2,720
29	X					2,040
30	X					2,040
31	X					2,720
32		x	X			2,720
33	X					3,400
34	X					3,400
35	X					2,040
36	X					2,040
37	X					4,077
38		x	X			2,400
39	X					2,720
40	X					3,680
41	X					4,310
42	X					3,530
43	X					4,920
44	X					4,200
45	X					5,500
46		x	x			6,480
47		x	x			5,890
48		x	x			3,970
49		x	x			5,550
50		x	x			2,430
51		x	x			4,330
52		x	x			3,900
53		x	x			3,110
54		x	x			5,130
55		x	x			3,910
56		x	x			2,890
57		x	x			4,250
58		x	x			5,120
59		x	x			5,100
60		x	x			3,220

Anexo 2.3 Datos de Aciertos vs Posición 3

Anexo 2.3: Tabla de datos de Aciertos vs Posición 3

# de Prueba	EJECUTO		Push P1	Pull P2	Right P4	Tiempo (s)
	MOVIMIENTO? Si	No				
1	X					1,750
2	X					2,250
3	X					1,010
4	X					0,750
5		x			x	1,750
6		x			x	1,220
7		x			x	0,750
8		x			x	1,380
9	X					2,970
10		x			x	1,250
11		x			x	2,750
12		x		x		3,500
13		x			x	4,630
14	X					2,260
15	x					2,250
16	x					1,750
17	x					3,720
18	x					2,380
19		x			x	1,850
20	x					1,750
21		x		x		4,080
22		x	x			3,400
23	x					2,040
24	x					2,720
25	x					2,040
26		x			x	1,360
27		x		x		4,080
28	x					2,720
29	x					2,720
30	x					4,080
31	x					1,360
32		x			x	2,040
33		x		x		2,720
34		x		x		2,720
35	x					2,720
36	x					2,040
37	x					2,030
38		x			x	2,040
39		x			x	1,720
40	x					2,040
41	x					3,760
42	x					2,250
43		x	x			3,540
44	x					5,640
45	x					2,960
46	x					3,760
47	x					3,220
48		x	x			3,910
49	x					3,070
50	x					3,890
51		x			x	3,190
52		x			x	3,670
53		x			x	3,280
54	x					3,660
55	x					2,160
56	x					2,780
57	x					3,890
58		x			x	1,770
59		x			x	7,830
60	x					7,220

Anexo 2.4 Datos de Aciertos vs Posición 4

Anexo 2.4: Tabla de datos de Aciertos vs Posición 4

# de Prueba	EJECUTO		Push	Pull	Left	Tiempo (s)
	MOVIMIENTO?					
	Si	No	P1	P2	P3	
1	x					2,750
2	x					0,750
3	x					2,370
4	x					2,130
5	x					0,430
6	x					2,130
7	x					1,380
8	x					1,750
9	x					1,880
10	x					0,620
11	x					2,630
12	x					1,620
13	x					2,870
14	x					2,190
15	x					1,380
16		x	x			1,380
17	x					2,690
18	x					2,250
19	x					1,750
20	x					2,500
21	x					2,040
22	x					2,040
23	x					2,040
24	x					1,570
25	x					1,090
26	x					2,040
27	x					1,360
28		x			x	2,720
29		x	x			4,080
30		x	x			2,720
31	x					2,400
32	x					1,360
33	x					3,400
34	x					1,360
35	x					3,400
36	x					2,720
37	x					5,440
38	x					2,720
39	x					1,360
40	x					2,720
41	x					2,750
42	x					3,750
43	x					2,370
44	x					2,130
45		x			x	1,430
46	x					2,130
47	x					1,380
48	x					1,750
49		x			x	1,880
50	x					4,620
51	x					2,630
52	x					1,620
53	x					2,870
54	x					2,190
55	x					1,380
56		x			x	1,380
57	x					2,690
58	x					2,250
59	x					1,750
60	x					2,500

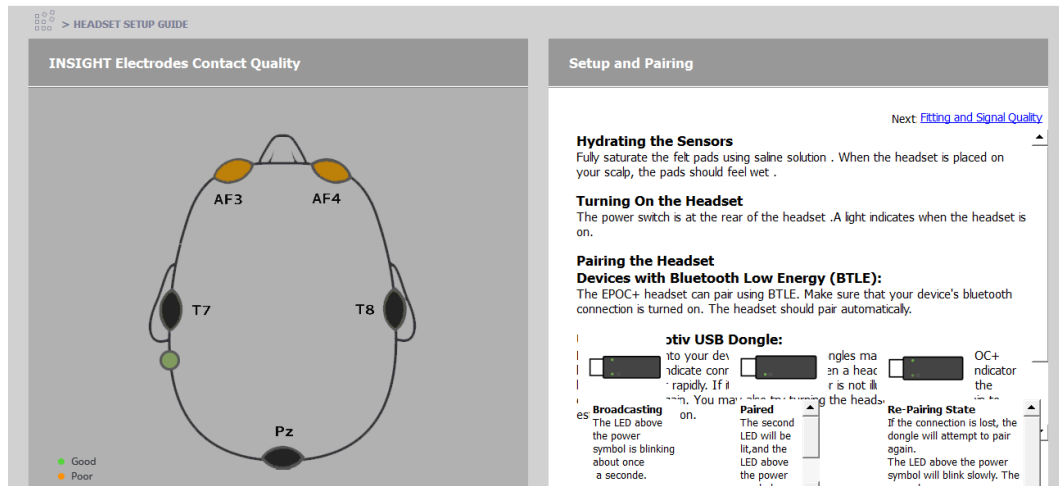
Anexo 2.5 Datos de Tiempo para cada posición

Anexo 2.5: Tabla de datos de tiempos para cada una de las posiciones.

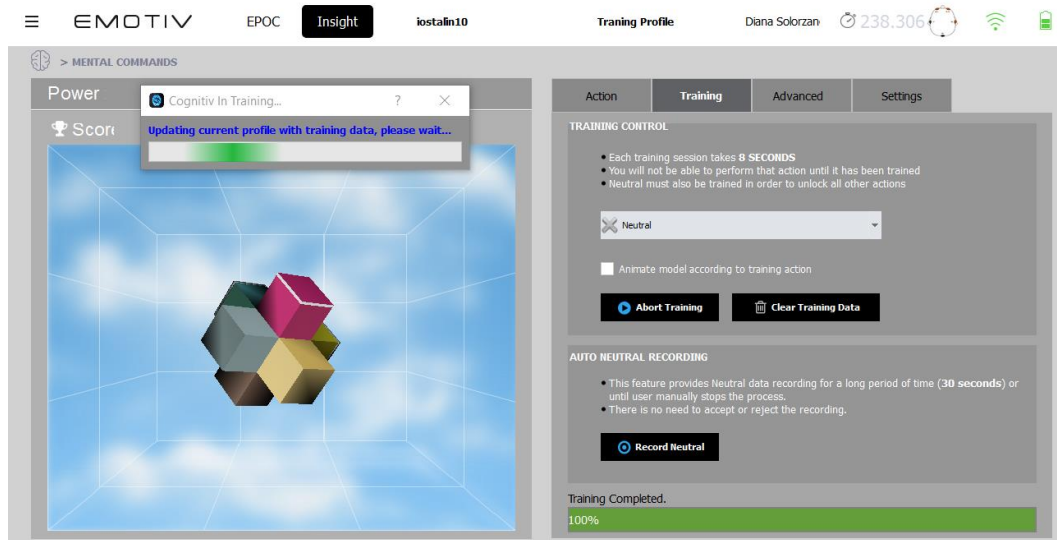
# de Prueba	Tiempo (P1)	Tiempo (P2)	Tiempo (P3)	Tiempo (P4)
1	4,880	2,120	1,750	2,750
2	1,380	1,870	2,250	0,750
3	4,630	4,370	1,010	2,370
4	8,000	3,500	0,750	2,130
5	2,250	2,750	1,750	0,430
6	3,160	3,380	1,220	2,130
7	3,190	1,380	0,750	1,380
8	3,130	2,620	1,380	1,750
9	2,630	5,500	2,970	1,880
10	6,760	2,620	1,250	0,620
11	1,870	0,220	2,750	2,630
12	2,290	3,370	3,500	1,620
13	5,260	5,250	4,630	2,870
14	5,010	5,380	2,260	2,190
15	3,250	3,630	2,250	1,380
16	3,760	3,880	1,750	1,380
17	1,760	2,670	3,720	2,690
18	1,120	3,260	2,380	2,250
19	2,820	4,290	1,850	1,750
20	1,370	3,250	1,750	2,500
21	5,760	4,380	4,080	2,040
22	4,080	3,400	3,400	2,040
23	2,040	3,400	2,040	2,040
24	3,400	2,310	2,720	1,570
25	2,040	3,360	2,040	1,090
26	3,410	2,720	1,360	2,040
27	2,720	2,720	4,080	1,360
28	2,720	2,720	2,720	2,720
29	2,040	2,040	2,720	4,080
30	2,720	2,040	4,080	2,720
31	2,580	2,720	1,360	2,400
32	2,980	2,720	2,040	1,360
33	3,400	3,400	2,720	3,400
34	2,720	3,400	2,720	1,360
35	3,400	2,040	2,720	3,400
36	3,780	2,040	2,040	2,720
37	4,400	4,077	2,030	5,440
38	3,400	2,400	2,040	2,720
39	4,760	2,720	1,720	1,360
40	3,400	3,680	2,040	2,720
41	7,220	4,310	3,760	2,750
42	6,080	3,530	2,250	3,750
43	5,320	4,920	3,540	2,370
44	4,180	4,200	5,640	2,130
45	3,040	5,500	2,960	1,430
46	4,180	6,480	3,760	2,130
47	8,740	5,890	3,220	1,380
48	4,560	3,970	3,910	1,750
49	4,560	5,550	3,070	1,880
50	5,700	2,430	3,890	4,620
51	4,800	4,330	3,190	2,630
52	4,840	3,900	3,670	1,620
53	4,140	3,110	3,280	2,870
54	3,310	5,130	3,660	2,190
55	4,560	3,910	2,160	1,380
56	5,530	2,890	2,780	1,380
57	4,030	4,250	3,890	2,690
58	3,990	5,120	1,770	2,250
59	5,560	5,100	7,830	1,750
60	5,010	3,220	7,220	2,500

Anexo 3. Prueba para detección de Señal en electrodos Emotiv Insight

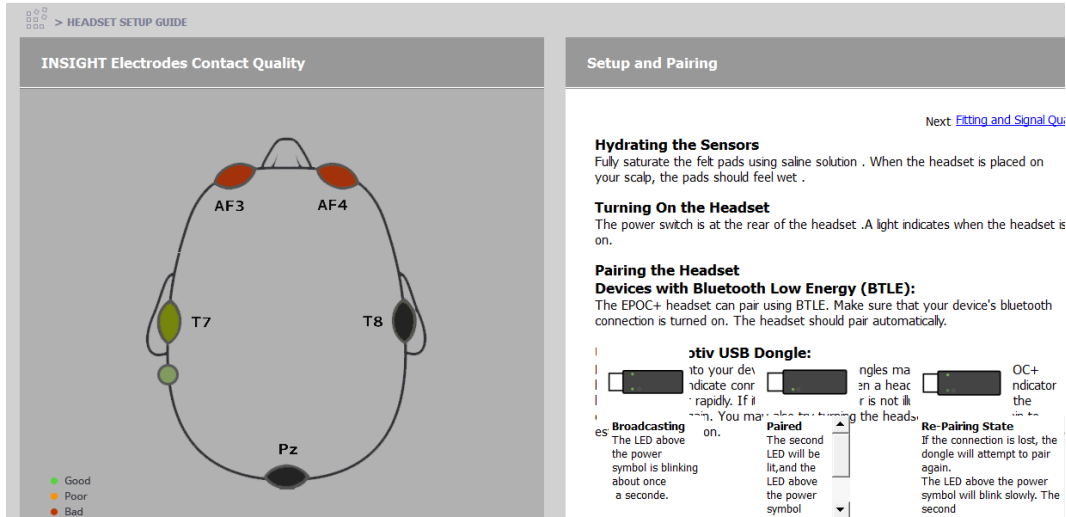
Anexo 3.1 Captura de pantalla de detección de señal para usuaria: Diana Solórzano



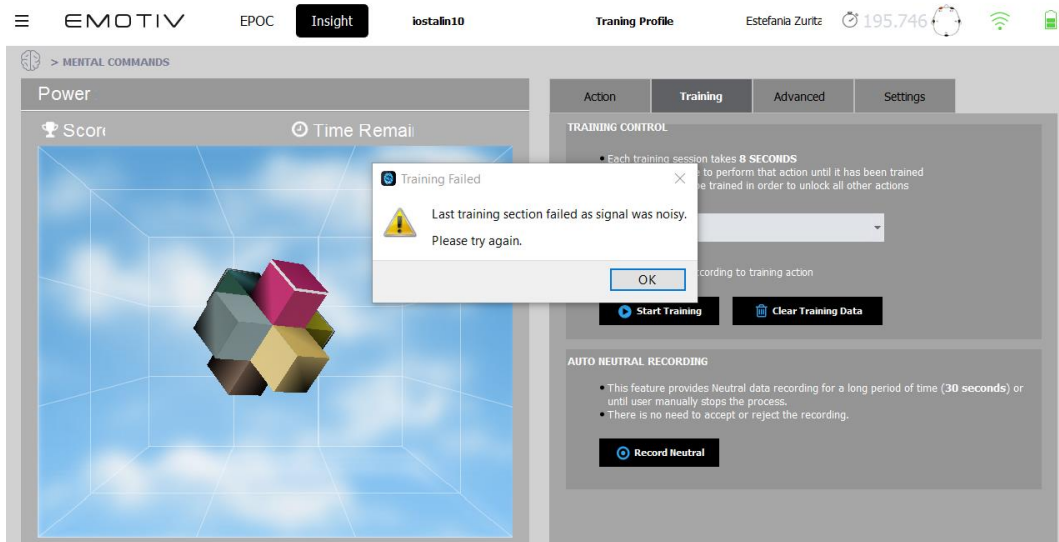
Anexo 3.2 Captura de pantalla de Mensaje mostrado en etapa de entrenamiento para usuaria: Diana Solórzano



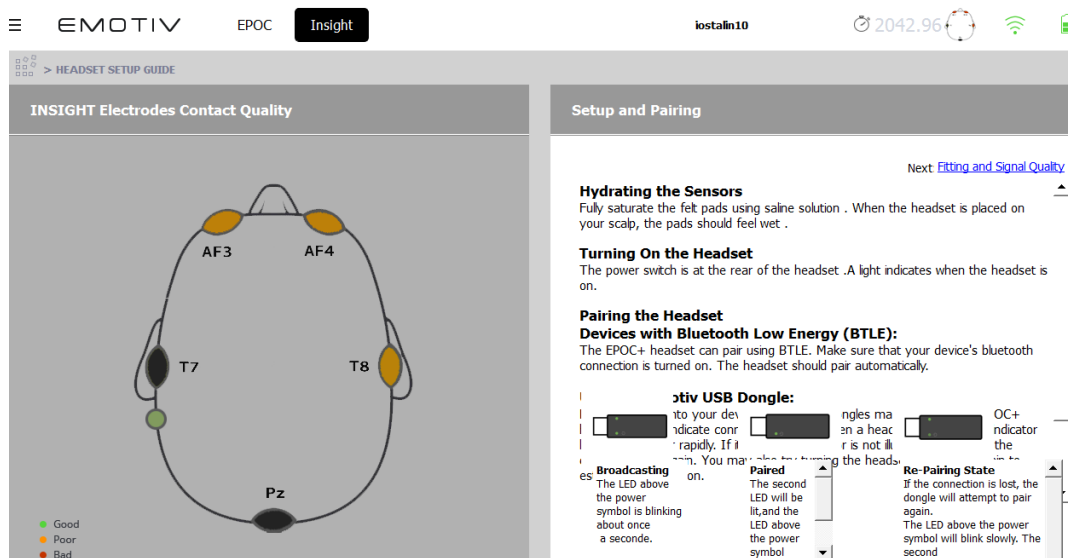
Anexo 3.3 Captura de pantalla de detección de señal para usuaria: Estefanía Zurita



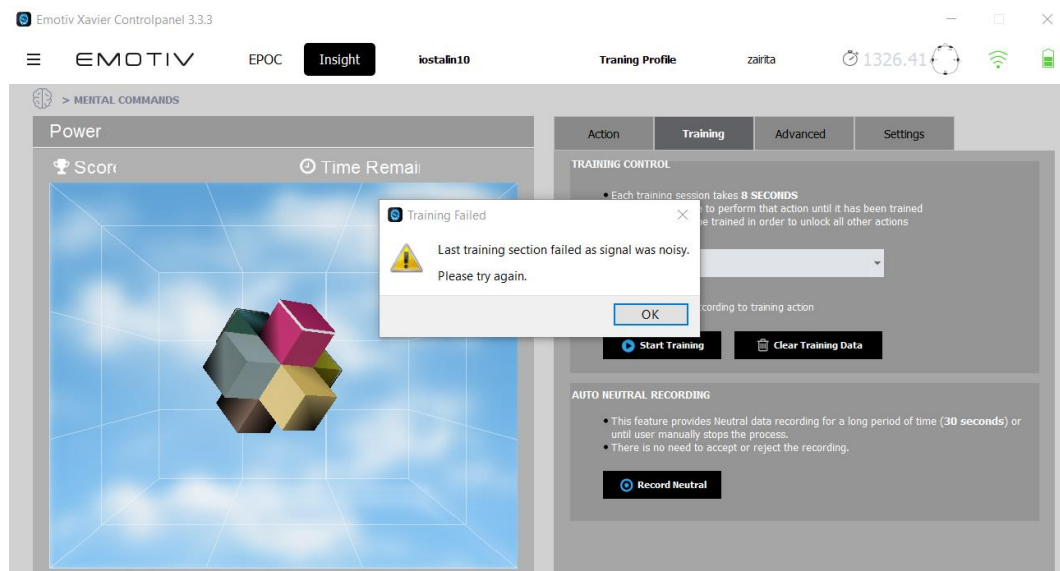
Anexo 3.4 Captura de pantalla de Mensaje mostrado en etapa de entrenamiento para usuaria: Estefanía Zurita



Anexo 3.5 Captura de pantalla de detección de señal para usuaria: Zaira Calvopiña



Anexo 3.6 Captura de pantalla de Mensaje mostrado en etapa de entrenamiento para usuaria: Zaira Calvopiña



MANUAL DE USUARIO

SISTEMA DE CONTROL PARA MANIPULADOR MITSUBISHI RV-2AJ,
MEDIANTE ONDAS CEREBRALES EMPLEANDO EL SENSOR EMOTIV INSIGHT



EMOTIV

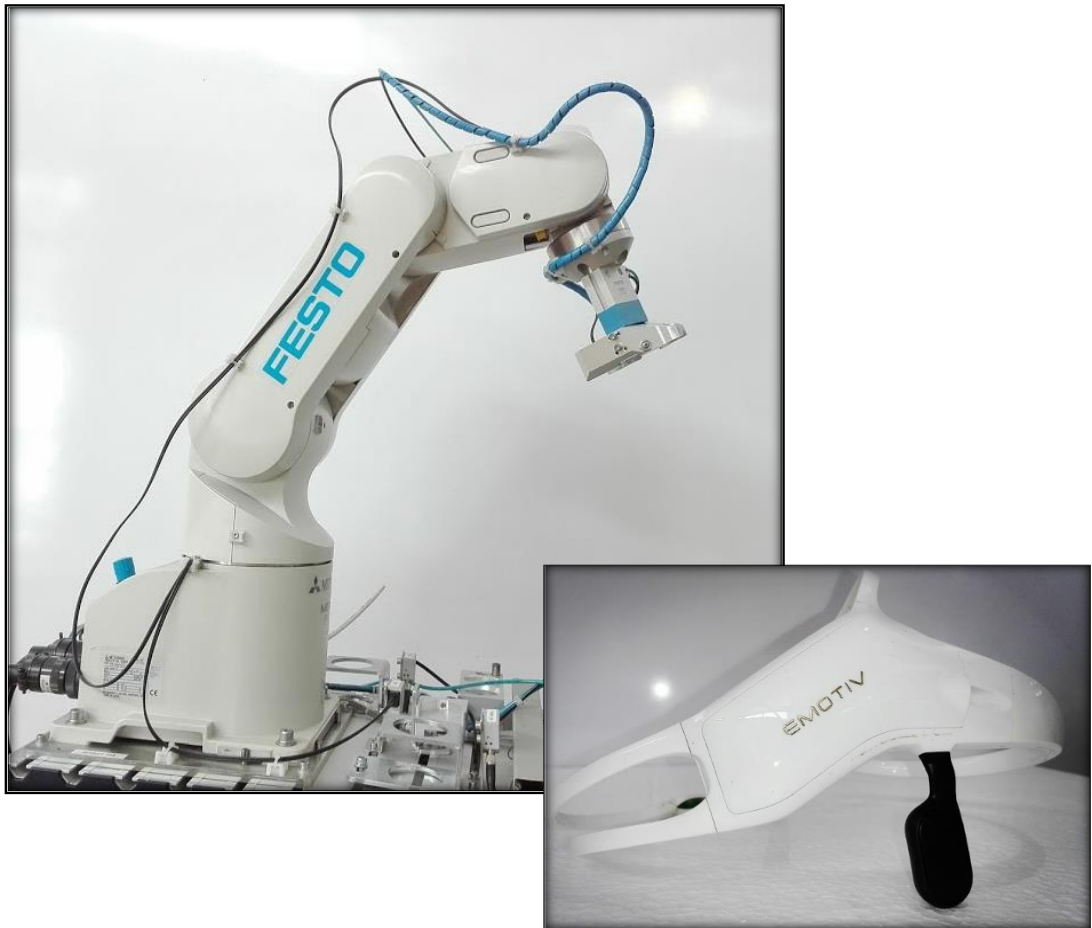
 LATTEPANDA

FESTO

INTRODUCCIÓN	1
CONEXIÓN FÍSICA ENTRE CONTROLADORA DE BRAZO MITSUBISHI RV- 2AJ Y LATTEPANDA	2
COMPONENTES IMPORTANTES DE LA TARJETA LATTEPANDA.....	3
INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO.....	4
FALLOS COMUNES	8

INTRODUCCIÓN

El manual de usuario que se presenta a continuación, es una guía completa de la utilización del sistema de control para el manipulador RV-2AJ, mediante ondas cerebrales utilizando el sensor Emotiv Insight, se muestra tanto la conexión física de los componentes como en el enlace de cada uno de los programas utilizados para la transmisión de datos.



Se detallará cada uno de los componentes necesarios para la conexión física del sistema, así como la funcionalidad y cuidados que se deben tener en el momento de la utilización de los mismos. En cuanto a la interfaz gráfica se explicará cada uno de los elementos que la componen y los diferentes parámetros a configurarse para obtener una correcta transmisión de datos.

ESTRUCTURA FÍSICA

CONEXIÓN FÍSICA ENTRE CONTROLADORA DE BRAZO MITSUBISHI RV-2AJ Y LATTEPANDA

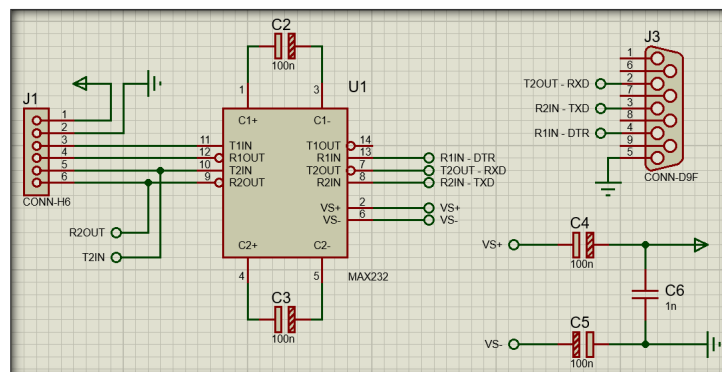
1.1 Cable de comunicación

Para establecer la comunicación entre el manipulador y la tarjeta LattePanda, debe conectarse por medio de un cable de comunicación especial (DB-25 a DB-9) y la llave de la controladora debe estar en comunicación externa.

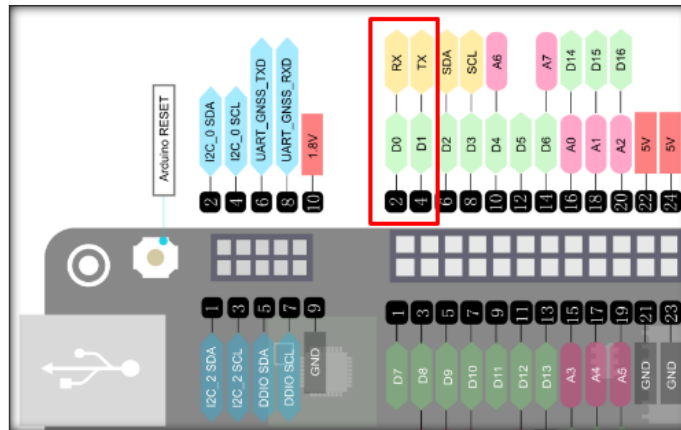


1.2 Conversor RS-232 a TTL

La controladora debe estar conectada por medio del puerto RS-232 (conector DB-25), por otra parte la tarjeta se enlaza a través de un módulo conversor RS-232 a TTL diseñado con el chip MAX232 (conector DB-9).



Los pines de comunicación del módulo conversor RS-232 corresponden a los pines 7,8 (T2OUT, R2IN) y 13,14 (T1OUT, R1IN). Los pines de comunicación de la tarjeta LattePanda son los pines 2, 4 (Rx, Tx).



Nota: El uso del convertidor RS-232 a TTL es obligatorio para evitar daños en la tarjeta LattePanda, ya que los niveles de voltaje con que trabaja la controladora del manipulador para la comunicación RS-232 es de (-12V a +12V), y la tarjeta posee un puerto UART TTL de (0 a +5V).

COMPONENTES IMPORTANTES DE LA TARJETA LATTEPANDA

1.3 Fuente de alimentación

Para el correcto funcionamiento de la tarjeta LattePanda se debe utilizar una fuente de alimentación de 5V/2A o 2,5 A como máximo.



1.4 Ventilador

La ventilacion es un punto muy importante que se debe considerar, debido a que la placa tiende a sobrecalentarse en un corto periodo de tiempo. Se muestra a continuacion la correcta intalación de un ventilador en la placa



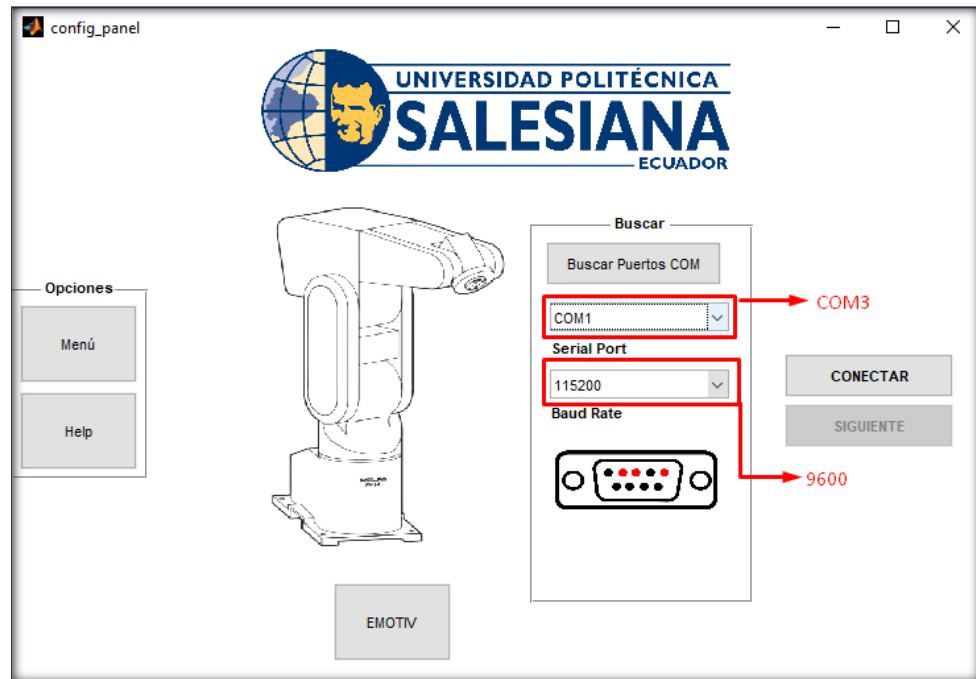
INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO

2. Ventana de inicio del sistema.

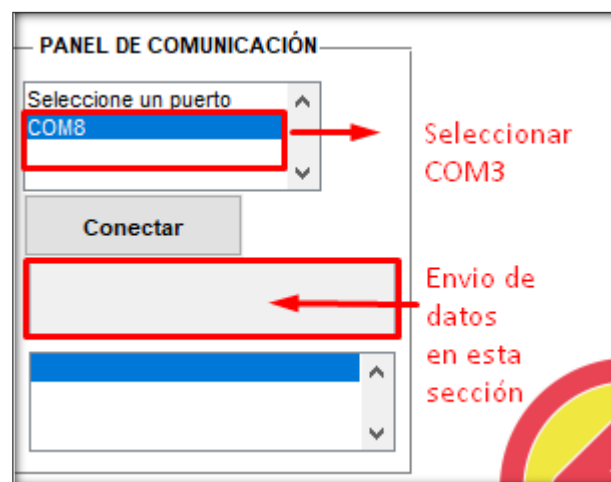
- Para acceder a esta ventana se debe abrir y ejecutar el programa acces_panel.m, aquí se encuentran dos botones el botón TUTORIAL y el botón INICIO. El primero botón nos mostrará una ayuda rápida para el manejo de todo el sistema.



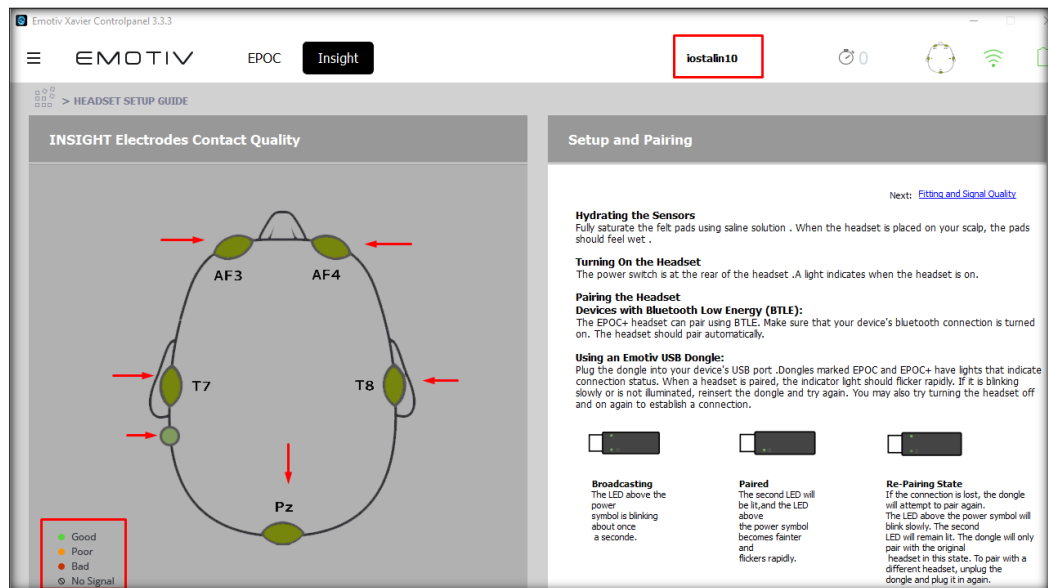
- Al presionar el botón de INICIO se abrirá la ventana config_panel. En ella deben establecerse los parámetros de comunicación: Puerto COM3, y velocidad de transmisión a 9600 Baud. Cuando se hayan configurado estos valores presionar Conectar y esperar hasta que el botón siguiente se habilite. Este procedimiento permite verificar si existe conexión entre la controladora y la tarjeta LattePanda.



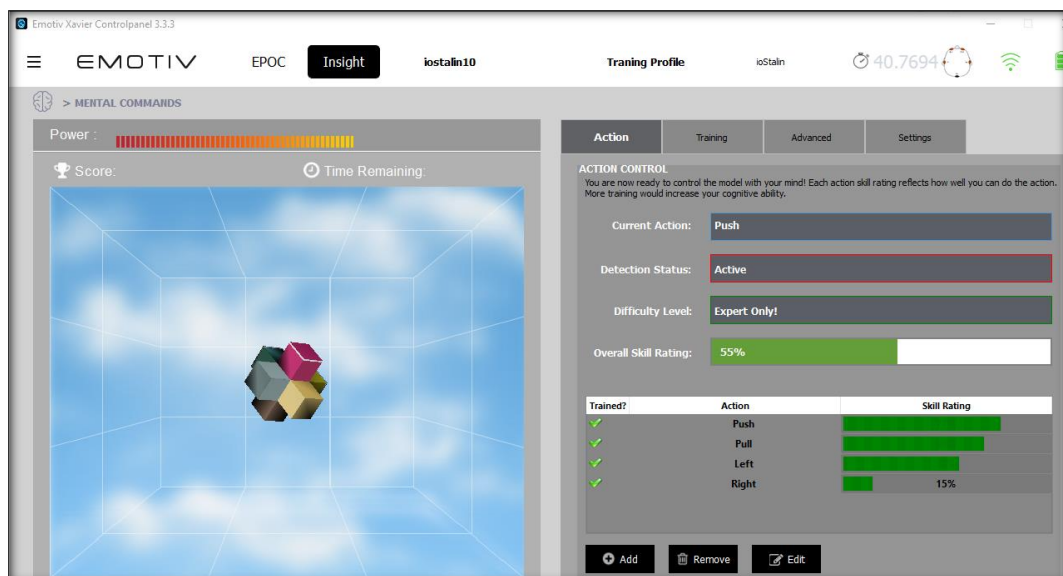
- La ventana que se abrirá es el panel de movimiento de brazo por posición, en esta ventana en la sección de panel de configuración se debe seleccionar COM3 para establecer la comunicación y empezar la transmisión de datos.



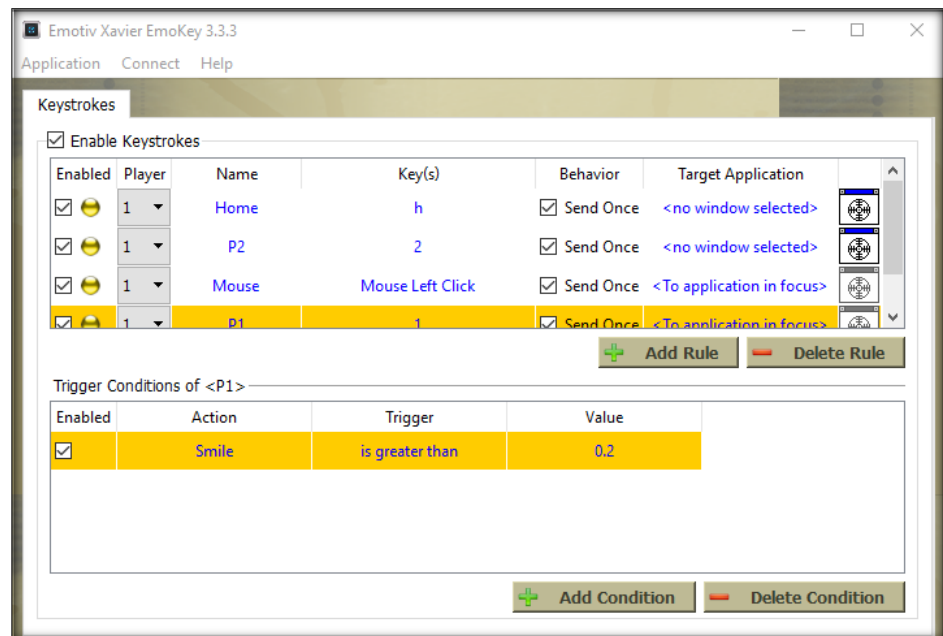
- Se debe iniciar el programa Emotiv Xavier y el programa Emotiv Emokey. Cuando se muestre la interfaz de Set Up de Emotiv Xavier, se puede comprobar el estado de contacto de los sensores con el cuero cabelludo. Además en esta sección se puede comprobar el estado de la señal Bluetooth y el nivel de carga del sensor.



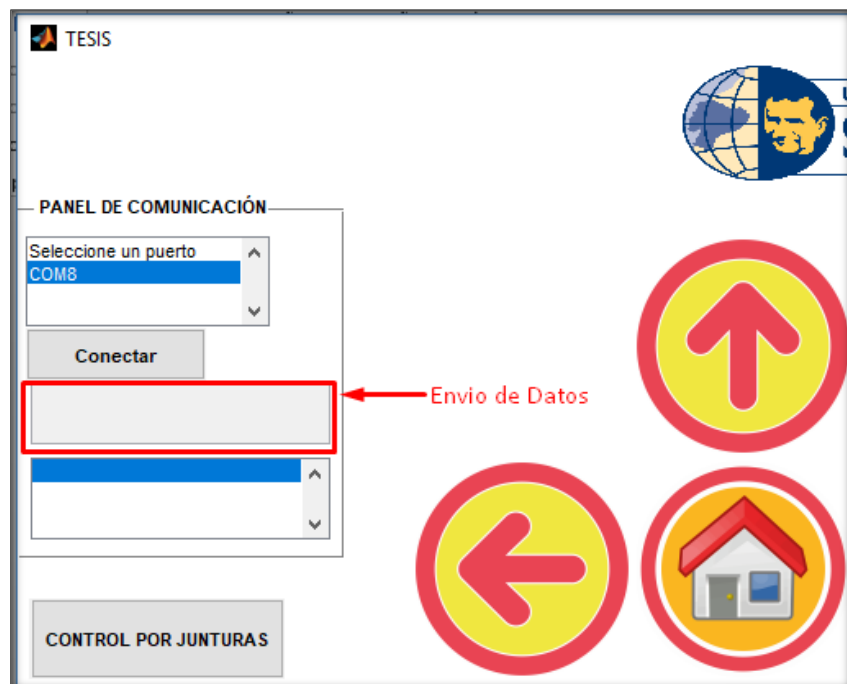
- Para comprobar el funcionamiento del sensor y su estado de calibración se puede acceder a la opción Mental commands, en la cual se observara la siguiente interfaz.



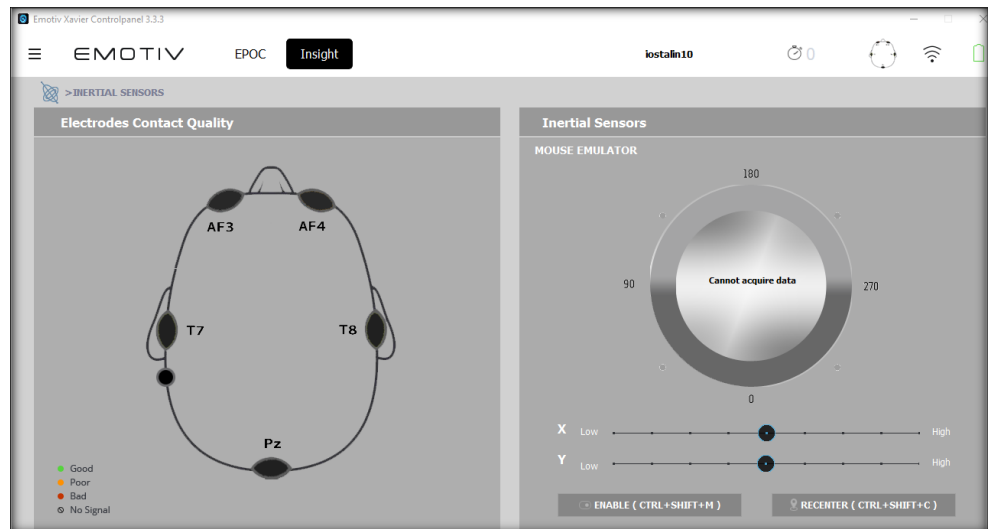
- Posterior a la comprobación de funcionamiento y entrenamiento, se debe ejecutar Emotiv Emokey, con el objetivo de asignar variables que serán enviadas a Matlab para la ejecución de los respectivos movimientos.



- Cuando se envía los datos debe colocarse el cursor sobre el panel de comunicación de Matlab.



- Para acceder al control por Juntas, debe activarse el sistema de mouse de la diadema. Para hacerlo debe activarse desde Emotiv Xavier > Detecciones > Sensores Inerciales. Y en Matlab debe activarse la ventana control por juntas, posterior a ello y gracias al control de movimiento de mouse.



- Sobre la ventana de control de juntas se puede realizar el movimiento de cada una de las juntas. Para ello es necesario mover los slider correspondientes a cada una de las juntas y enviar un comando que emula al clic de un mouse. (El evento clic se debe pre establecer en la etapa de configuración de Emotiv Emokey.)

FALLOS COMUNES

Controladora no responde a datos enviados por LattePanda y la alarma se ha activado.

Soluciones:

- Verificar conexión en los cables de conexión.
- Comprobar que el Teach Box tenga el interruptor desactivado “Disable” y que la controladora se encuentre en modo externo. (Si el teach box se encuentra activado, la alarma se activará de forma automática).

MENSAJE DE ERROR	DESCRIPCIÓN	CAUSA	SOLUCIÓN
L2000	Servos apagados.	No se han activado los servos, el brazo no se moverá.	Encender los servos y reiniciar brazo
L2602	Error de posición.	La posición objetivo del brazo, excede el rango de operación.	Ajustar mediante Teach Box la posición.
L2603	Dato de posición perdida, fuera de rango de operación.	La posición objetivo del brazo, excede el rango de operación.	Ajustar mediante Teach Box la posición.
L2802	Dato de posición ilegal.	Usualmente ocurre cuando el brazo llega a su posición final y no se puede leer el dato.	Corregir los dtos de posición inicial, media y final, por medio del Teach Box
L2810	Posición de bandera errónea.		Ajustar los datos de posición.
L4220	Error de sintaxis	Hay un error en la sintaxis del comando de entrada.	Corregir el dato y reenviar.
L4300	Error de nombre de variable muy largo.	La longitud de nombre de variable está limitada a 8 caracteres.	Reducir el nombre de la variable al menos a 8 caracteres.
H2136	Velocidad excesiva.	La velocidad de la junta es excesivo.	Cambiar la velocidad de las juntas.