

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones

TRABAJO DE TITULACIÓN

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEPRESENCIA
BASADO EN LA LECTURA DE BIOSEÑALES E INTERACCIÓN HÁPTICA
PARA EL CONTROL DE UN ROBOT EXPLORADOR TERRESTRE”**

Autores:

Danny Alexander Lozano Carguacundo
Ricardo Alexander Aguirre Álvarez

Tutor:

Mgs. Edgar Giovanni Cuzco Silva

Riobamba – Ecuador

Año 2019

Los miembros del tribunal de graduación del proyecto de investigación de título: **“ DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEPRESENCIA BASADO EN LA LECTURA DE BIOSEÑALES E INTERACCIÓN HÁPTICA PARA EL CONTROL DE UN ROBOT EXPLORADOR TERRESTRE ”**, presentado por: **Danny Alexander Lozano Carguacundo y Ricardo Alexander Aguirre Alvarez**, y dirigida por el **Mgs. Edgar Giovanni Cuzco Silva**.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual consta el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Mgs. Carlos Peñafiel
Presidente de Tribunal



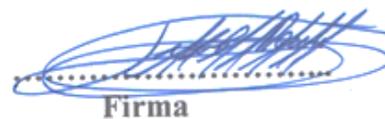
Firma

Mgs. José Jinez
Miembro del Tribunal



Firma

Phd. Leonardo Rentería
Miembro de Tribunal



Firma

DECLARACIÓN EXPUESTA DE TUTORÍA

En calidad de tutor del tema de investigación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEPRESENCIA BASADO EN LA LECTURA DE BIOSEÑALES E INTERACCIÓN HÁPTICA PARA EL CONTROL DE UN ROBOT EXPLORADOR TERRESTRE ”**. Realizado por el Sr. **Danny Alexander Lozano Carguacundo** y el Sr. **Ricardo Alexander Aguirre Alvarez**, para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sustentada públicamente para ser sustentada públicamente y evaluada por el jurado examinador que se designe.

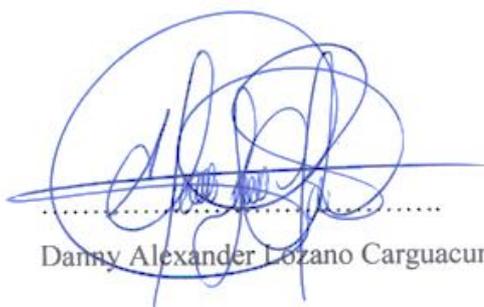
Riobamba, diciembre 2019



Mgs. Edgar Giovanni Cuzco
DOCENTE TUTOR

AUTORIA DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este proyecto de investigación titulado, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEPRESENCIA BASADO EN LA LECTURA DE BIOSEÑALES E INTERACCIÓN HÁPTICA PARA EL CONTROL DE UN ROBOT EXPLORADOR TERRESTRE**” corresponde exclusivamente a Danny Alexander Lozano C., Ricardo Alexander Aguirre A. , Mgs. Giovanni Cuzco y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



Danny Alexander Lozano Carguacundo



Ricardo Alexander Aguirre Alvarez

DEDICATORIA

“No creo que haya alguna emoción más intensa para un inventor que ver alguna de sus creaciones funcionando. Esa emoción hace que uno se olvide de comer, de dormir, de todo”. Nikola Tesla

Este trabajo va dedicado en primer lugar a Dios consejero en momentos de preocupación, al esfuerzo de mi mamá, papá, hermano y hermanas por mantener en mí una de las emociones más plausibles al momento de sonreír juntos, así como también a aquellas personas que me han apoyado con palabras de aliento, motivación y que con alevosía compartían aquello que es irrecuperable, el tiempo.

Danny Lozano C.

Dedico este trabajo a todas las personas que supieron brindar su apoyo y comprensión durante la realización del mismo pues fueron de gran impulso e inspiración todo este tiempo.

Ricardo Aguirre A.

AGRADECIMIENTOS

La mejor escuela que tuve y tengo en mi vida es aquella que vivo con mi padre *Emilio Raúl Lozano Mullo* y la mejor historia de amor es la que día a día vivo con mi madre *Mariana de Jesús Carguacundo Méndez* y a pesar de tantas enseñanzas que ellos y que mi abuelito *José Manuel Lozano* me pudieron dar, hasta el día de hoy aun no encuentro la forma de como agradecer tanto en mi vida con cada valor y principio que formaron en mí, pero intentare de la mejor forma decir gracias por su fe, por entenderme, por la confianza, por cada platito de comida y cada abrazo que me pueden dar.

A mis hermanas *Katherine* y *Heidy Lozano* por cada momento de risas, ternuras y golosinas que inventamos juntos a fin de solo distraernos un poco para luego continuar dando lo mejor de nosotros.

A mi hermanito *Sebastián Lozano* que con sus preguntas e inocencia siempre es el mas emocionado al ver cada invento que puedo lograr, de verdad ello es lo más emocionante de hacer todo lo que hago.

A mis docentes a mi tutor *Giovanny Cuzco* y *Brayan Guevara* por aportar en aquellos conocimientos que hicieron de este proyecto una investigación de realce académico.

A *Carla Satama* por compartir grandes momentos, por sus preocupaciones, por saber escuchar y brindarme tanto de su tiempo en conversaciones que me sacan muchas de las sonrisas que hoy llevo.

A *Verónica Aguilar*, *Ricardo Aguirre*, *Daniela Álvarez*, *Paola Pillajo* y *Jessica Guamán* por ser aquellas personas que me brindaron su amistad de una forma única y jamás darme la espalda.

Danny Lozano C.

Agradezco a mis padres quienes con su esfuerzo y apoyo incondicional hicieron posible que siga con mis estudios y siga convirtiéndome en una mejor persona día a día, a los amigos de universidad y colegio que supieron brindar muchos momentos inolvidables. A *Danny* y *Verito* quienes supieron brindar una sincera amistad en tiempos de alegría y tristeza. A *Giovanny Cuzco* y *Brayan Guevara* que supieron brindar su sabio conocimiento y amistad durante la realización del proyecto.

Ricardo Aguirre A.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2. OBJETIVOS	5
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
CAPITULO II.....	6
2.1. ESTADO DEL ARTE	6
2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	11
2.2.1. TELEPRESENCIA.....	11
2.2.2. TELEMETRÍA	12
2.2.3. BIOSEÑALES.....	12
2.2.4. ELECTROENCEFALOGRAFÍA (EEG).....	13
2.2.5. PLATAFORMAS DE DESARROLLO DE SOFTWARE	14
2.2.6. PLATAFORMAS DE DESARROLLO DE HARDWARE.....	15
2.2.7. ROBÓTICA.....	15
2.2.8. DISPOSITIVOS HÁPTICOS.....	15
2.2.9. BASE DE DATOS	17
2.2.10. SENSORES.....	18
2.2.11. MÓDULOS DE RADIO FRECUENCIA.....	18
2.2.12. TRANSMISOR Y RECEPTOR DE VIDEO	18
Receptor UVC 5.8 GHz	18
2.2.13. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.....	18
2.2.13.1. SPI	18
2.2.13.2. I2C.....	19
2.2.13.3. Enhanced ShockBust.....	20
2.2.13.4. MQTT.....	20
2.2.13.5. Protocolo WebSocket	21
CAPITULO III	22
3. METODOLOGÍA	22
3.1. TIPO DE ESTUDIO.....	22
3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	22
3.3. FUENTES DE INFORMACIÓN	22
3.4. INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	23
3.6. PROCEDIMIENTOS Y ANÁLISIS	24

3.6.1.	ALGORÍTMO DE ADQUISICIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS	25
3.6.1.1.	Acceso al servicio de Cortex v2	26
3.6.1.2.	Adquisición de flujo de datos	27
3.6.1.3.	Acondicionamiento de datos	30
3.6.2.	LECTURA Y ESCRITURA DE DATOS EN FIREBASE REALTIME DATABASE	33
3.6.2.1.	Creación de un proyecto en Firebase RealTime Database	33
3.6.2.2.	Obtención de clave de acceso	34
3.6.2.3.	Registro de aplicación de Python para R/W de datos	35
3.6.2.4.	Clasificación de datos	35
3.6.2.5.	Escritura de datos de control	37
3.6.2.6.	Lectura de datos de control	38
3.6.2.7.	Escritura de datos de sensores	39
3.6.2.8.	Lectura de datos de sensores	39
3.6.3.	PLATAFORMA ROBÓTICA	39
3.6.3.1.	Módulo de sensores y control de movimiento	40
3.6.3.2.	Módulo de actuadores	42
3.6.3.3.	Módulo háptico	43
3.6.3.3.1.	Pinza robótica	43
3.6.3.3.2.	Guante háptico	44
3.6.3.3.3.	Sistemas comunicación RF	47
3.6.3.4.	Módulo de video	48
3.6.3.5.	Módulos de alimentación	48
3.6.4.	INTERFAZ DE USUARIO	49
CAPITULO IV		51
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1.	Plataforma robótica	51
4.1.1.	Delimitaciones de la plataforma robótica	52
4.1.2.	Pruebas de canales de comunicación	53
4.1.3.	Pruebas de locomoción de la plataforma robótica	56
4.2.	Dispositivo háptico	58
4.2.1.	Evaluación de movimiento y detección de intensidad de vibración	59
4.2.2.	Toma de un objeto	62
4.3.	Pruebas de operación del sistema de telepresencia	63
4.3.1.	Locomoción inicial	64
4.3.2.	Toma del objeto	65
4.3.3.	Rotación	66
4.3.4.	Locomoción de retorno	68
4.4.	Análisis general	69
4.4.1.	Análisis de métricas de rendimiento	71
4.4.2.	Test de usabilidad	75
CAPÍTULO V		78
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
5.1.	CONCLUSIONES	78
5.2.	RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA		80
ANEXOS		83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema propuesto por Chowdhury	8
Figura 2. Esquema propuesto por Vourvopoulos	8
Figura 3. Funcionamiento general del sistema de exploración.	9
Figura 4. Plataforma robótica tipo oruga posibles estructuras	10
Figura 5. Guantes hápticos sistema vibro-táctil.....	10
Figura 6. Robot de telepresencia Ava 500.....	12
Figura 7. Electroencefalograma con dispositivo EEG Emotiv Insight.....	13
Figura 8. Sistema háptico que brinda sensaciones vibro táctiles.....	16
Figura 9. Funcionamiento del protocolo MQTT	21
Figura 10. URL de Web Socket.....	21
Figura 11. Diagrama general del sistema de telepresencia.....	24
Figura 12. Algoritmo de adquisición e interpretación de datos.....	25
Figura 13. Aspectos generales de para la adquisición e interpretación de datos.....	26
Figura 14. Diagrama de bloques para el acceso al servicio Emotiv Cortex API.....	27
Figura 15. Secuencia de acceso para streaming de flujo de datos Emotiv Insight.	27
Figura 16. Flujo de datos basado en suscripciones MOT y COM.....	29
Figura 17. Visualización de datos arrojados por EmotivBCI y el algoritmo de adquisición de datos (comandos mentales).....	29
Figura 18. Visualización de datos arrojados por Emotiv BCI y el algoritmo de adquisición de datos Python (sensores de movimiento).	30
Figura 19. Sistema 10-20 utilizado en calidad de contacto Emotiv Insight	30
Figura 20. Valores máximos en los cambios de amplitud de los electrodos AF3,T7,PZ para el comando mental push en él envió de la acción de control avanzar.	31
Figura 21. Condiciones para detectar eventos de rotación en formato Euler	32
Figura 22. Flujo de datos mot y com clasificados	33
Figura 23. Reglas de seguridad de Firebase RealTime DataBase	34
Figura 24. Diagrama general para obtener clave de acceso	34
Figura 25. Configuraciones iniciales de acceso, otorgadas por el registro de la aplicación en Firebase.....	35

Figura 26.Diagrama de flujo basado en el uso de claves de acceso para conceder a Python permisos de lectura y escritura dentro de la base de datos.	35
Figura 27.Almacenamiento de datos procesados en tiempo real en el Database, comando neutral y derecha.....	37
Figura 28.Recuperación en tiempo real de datos almacenados en la Database desde el panel inspector del motor gráfico Unity	39
Figura 29.Diagrama modular de la construcción de la plataforma robótica	40
Figura 30.Módulo de sensores y control de movimiento	40
Figura 31.Diagrama de flujo para el almacenamiento de datos de sensores en Firebase Realtime Database	41
Figura 32.Estructura base del sistema de oruga	42
Figura 33.Estructura general del módulo de comunicación RF y pinza robótica.....	43
Figura 34.Composición de la pinza robótica.....	44
Figura 35.Diagrama de interconexiones del guante háptico	45
Figura 36.Composición del guante háptico propuesto	45
Figura 37.Diagrama general del módulo háptico	48
Figura 38.Diagrama de bloques para el desarrollo de la interfaz de usuario en el motor gráfico Unity.....	49
Figura 39.Interfaz inicial de Unity	49
Figura 40.Diagrama general para el control de objetos de Unity a través de scripts C# en Visual Studio 2017	50
Figura 41. Interfaz de usuario dada por el motor gráfico Unity 3D	50
Figura 42.Estructura modular completa en plataforma robótica	51
Figura 43.Método de medición de latencia para canal de video	55
Figura 44. Metodología aplicada para medir la distancia máxima de operación	55
Figura 45.Prueba de locomoción de la plataforma robótica.....	57
Figura 46.Tiempo de ejecución de la tarea de traslación	57
Figura 47.Estructura del módulo de comunicación RF y guante háptico.....	58
Figura 48.Movimiento de la pinza robótica hacia abajo	59
Figura 49.Evaluación de movimientos de la pinza robótica.....	60
Figura 50.Detección de niveles de intensidad de vibración	61
Figura 51.Porcentaje acumulado de aciertos	62

Figura 52.Prueba de toma de objeto con guante háptico.....	62
Figura 53.Tiempo de la toma de un objeto con la pinza robótica y guante háptico	63
Figura 54.Operación de sistema de telepresencia.....	64
Figura 55..Evaluación de movimientos – Acción avanzar	65
Figura 56.Evaluación de movimientos – Toma de objeto	66
Figura 57.Evaluación de movimientos – Rotación horaria	67
Figura 58.Evaluación de movimientos – Rotación antihoraria	68
Figura 59.Evaluación de movimiento – Recuperación de objeto	69
Figura 60.Evaluación general de movimientos obtenidas por la prueba de locomoción	70
Figura 61.Eficiencia de operación del sistema de telepresencia	70
Figura 62.Gráfica de porcentajes de éxito	71
Figura 63.Métricas de rendimiento pertenecientes al participante 1	71
Figura 64.Gráfica de modelo matemático para la métrica compromiso.....	73
Figura 65.Gráfica de modelo matemático para la métrica eficiencia	74
Figura 66.Gráfica de modelo matemático para la métrica estrés	74
Figura 67.Puntuación de SUS.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bioseñales eléctricas más comunes	12
Tabla 2. Banda de frecuencias	14
Tabla 3. Plataformas de desarrollo de software.....	14
Tabla 4. Plataformas de desarrollo de hardware.....	15
Tabla 5. Clasificación del base de datos	17
Tabla 6. Sistemas de gestión de base de datos libres y de base de pago	17
Tabla 7. Operacionalización de variables	23
Tabla 8. Formato de flujos de datos	28
Tabla 9. Etiquetas suscripción com	28
Tabla 10. Etiquetas suscripción mot.....	28
Tabla 11. Lista de comandos dedicados a Python para el almacenamiento de información en la base de datos	37
Tabla 12. Parámetros de comando avanzar	38
Tabla 13. Condiciones para el control de giro de la plataforma robótica.....	38
Tabla 14. Sensores aplicados.....	41
Tabla 15. Ángulos de balanceo y cabeceo según posición del giroscopio	46
Tabla 16. Delimitaciones de la Plataforma Robótica	52
Tabla 17. Latencia generada por canal	53
Tabla 18. Distancia máxima de transmisión según su potencia	56
Tabla 19. Tiempo de respuesta en la conmutación de canales de comunicación.....	56
Tabla 20. Tabla cruzada de datos de tiempo, distancia y rango de ángulo de giro	58
Tabla 21. Prueba de eficiencia del control de la pinza robótica mediante el guante háptico	59
Tabla 22. Aciertos y porcentaje de aciertos acumulados.....	60
Tabla 23. Tabla cruzada de datos de eficiencia, acciones y número de pruebas realizadas	64
Tabla 24. Tabla cruzada de datos entre eficiencia y número de pruebas realizadas	65
Tabla 25. Tabla cruzada de datos de eficiencia, acciones y número de pruebas realizadas	66
Tabla 26. Tabla cruzada de datos de eficiencia, acciones y número de pruebas realizadas	67

Tabla 27.Tabla cruzada de datos de acción, eficiencia y número de pruebas realizadas	68
Tabla 28.Tabla de pruebas de eficiencia	69
Tabla 29.Análisis de métricas de individuos de prueba	72
Tabla 30.Prueba de normalidad	72
Tabla 31.Estimación del Coeficiente de Pearson	73
Tabla 32.Correlación Bivariadas de métricas de rendimiento.....	75
Tabla 33.Test de usabilidad del sistema de telepresencia	75

RESUMEN

Utilizar el sistema nervioso central como un método alternativo en el control de eventos (operación) de plataformas robóticas en sistemas de telepresencia, tiene como finalidad dar la posibilidad, a aquellas personas que por circunstancias ajenas a su situación laboral tienen alguna discapacidad física que limita su movimiento pero que a su vez constan con un gran potencial para realizar operaciones complejas exploración, motivos por los cuales la presente investigación busca diseñar e implementar un sistema de telepresencia que utilizando bioseñales e interacción háptica permitan el control de un robot explorador terrestre.

Para esto, se propone seguir una metodología que se basa en el uso de lecturas de bioseñales electroencefalográficas dadas por el operador mediante la utilización de un dispositivo EEG, que conjuntamente con un algoritmo de adquisición e interpretación de datos, permitan obtener la información necesaria para generar movimiento en una plataforma robótica. Utiliza canales de comunicación bidireccionales y full-dúplex para el transporte e intercambio de información, además de una interfaz de usuario que permite visualizar datos de telemetría, estado del dispositivo EEG e indicadores hápticos.

Los resultados obtenidos califican cuantitativamente las percepciones subjetivas y experiencias de cada usuario aplicando el método de evaluación resumida SUS, el cual determina el nivel de usabilidad y aceptabilidad del sistema de telepresencia, así como la eficiencia en el control de eventos del mismo. Demostrando así, que el nivel de operación generado a partir de combinar bioseñales, dispositivos hápticos y sistemas de telemetría permite dar un nuevo enfoque a los sistemas de telepresencia convencional.

Palabras clave: Python 3.7, API, Unity, Háptica, Websockets, Emotiv Insight, RF, CortexAPP, FireBase.

ABSTRACT

Using the central nervous system as an alternative method in the control of events (operation) of robotic platforms in telepresence systems, is intended to give the possibility, to those people who due to circumstances outside their work situation have a physical disability that limits their movement but at the same time they have a high potential to carry out complex exploration operations, which is why this research seeks to design and implement a telepresence system that using bio signals and haptic interaction allows the control of a terrestrial exploratory robot.

For this, the purpose is to follow a methodology that is based on the use of electroencephalographic biosignal readings given by the operator through the use of an EEG device, which together with an algorithm of acquisition and interpretation of data, allow obtaining the necessary information to generate movement on a robotic platform. It uses two-way and full-duplex communication channels for the transport and exchange of information, in addition to a user interface that allows viewing telemetry data, the status of the EEG device, and haptic indicators.

The results obtained quantitatively qualify the subjective perceptions and experiences of each user by applying the SUS summary evaluation method, which determines the level of usability and acceptability of the telepresence system, as well as the efficiency in the control of its events. Thus demonstrating that the level of operation generated from combining biosignals, haptic devices, and telemetry systems allows a new approach to conventional telepresence systems.

Keywords: Python 3.7, API, Unity, Haptic, Websockets, Emotiv Insight, RF, CortexAPP, FireBase.


Reviewed by: Marcela González R.
English Professor



INTRODUCCIÓN

La aplicación de bioseñales para el control de sistemas tales como, robots (Ierache, Dittler, Pereira, & Aires, 2010), aplicaciones de juego y otros dispositivos, presenta un enfoque novedoso al abrir las puertas para la interacción entre humanos y computadoras en una nueva dimensión (Munoz, Villada, Munoz, & Henao, 2014). Específicamente consiste en aprovechar señales bio potenciales eléctricas registradas en el usuario, a través de: el electro-miograma y el electro-encefalograma, bioseñales eléctricas generadas por los patrones de actividad de los músculos y el cerebro del usuario respectivamente, estímulos que son utilizados para controlar una serie de actividades previamente programadas.

La electroencefalografía una manifestación de impulsos nerviosos del cerebro humano sobre la corteza cerebral dio paso a las primeras pruebas de actividad eléctrica continua y espontánea en el cerebro (Solaz, 2013). A nivel mundial Philips junto Accenture realizan simulaciones de conexiones inalámbricas, que muestran el gran potencial de esta tecnología de control cerebral, tecnología que permite activar productos en el hogar (Accenture., 2018), esta metodología intenta ser aplicada en la presente investigación para la comunicación y control a largas distancias o en áreas remotas (Pereira et al., 2011). En Ecuador un sistema de telepresencia que permita percibir eventos físicos por medio del uso de sensores hápticos aún no se ha sido desarrollado y por ende las aplicaciones en este campo aún no han sido exploradas en su totalidad. El problema reside en las restricciones que un sistema de comunicación inalámbrico requiere, pues el uso de protocolos estrictamente eficientes en el envío de señales dadas por el comportamiento del cerebro es altamente importante (Cantillo, Vicente, & Hern, 2010).

Considerando ahora que el encefalograma aplicado al diseño de telepresencia propone crear un campo de investigación en el desarrollo de dispositivos hápticos, se propone usar un prototipo que permita capturar sensaciones dadas en un área de exploración específica, meta que se llevará a cabo con el uso de un robot controlado a distancia por bioseñales. De esta forma la motivación e iniciativa de indagar en este campo, permite buscar nuevos

métodos para el procesamiento, tratamiento y comunicación de estos estímulos cuya meta es controlar y percibir varios eventos físicos.

El presente documento consta de 5 capítulos. El primero capítulo abarca el planteamiento del problema y los objetivos a alcanzar en la investigación. El segundo aborda temas que enfatizan el estado actual de la presente investigación, así como la fundamentación teórica esencial, en el entendimiento de las técnicas y procesos utilizados para la elaboración de esta. El tercer capítulo explica minuciosamente cada una de las técnicas, disciplinas y procedimientos utilizados para el desarrollo del sistema de telepresencia (control y monitorización en tiempo real), así como el procedimiento implementado para el desarrollo de canales de comunicación bidireccional y full-dúplex (Websocket), almacenamiento de datos en tiempo real (Firebase Database RealTime), plataformas y motores gráficos (Unity3D), utilizados en el proceso de recuperación de información (MQ Telemetry Transport). En el cuarto capítulo se tabula, analiza e interpreta los niveles de usabilidad obtenidos luego de evaluar el comportamiento dado por el sistema de telepresencia a fin de poder sustentar científicamente conclusiones y recomendaciones dadas en el quinto capítulo.

CAPITULO I

1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar un sistema de comunicación que permita la teleoperación en entornos remotos a través de bioseñales del operador y la implementación de un sistema de recepción de señales hápticas, que posibiliten emular sensorialmente el mundo físico?

En la actualidad los robots son utilizados en diversas aplicaciones como medicina, industria, vehículos submarinos, ciencia e ingeniería, exploración, etc. Cada uno de estos llevan consigo su propia problemática siendo un caso específico los robots de exploración ya que permiten alcanzar lugares que son inaccesibles para el hombre al momento de realizar investigaciones e inspecciones de zonas específicas y además evita la exposición del investigador a lugares de alta peligrosidad. Dichos robots son controlados a distancia, pero están limitados a recibir órdenes para su control mediante controles y mandos complicados, mismos que a su vez no están disponibles para todo público, descartando por ejemplo a aquellas personas que por circunstancias ajenas a su situación laboral tienen una discapacidad física que nos les permite un movimiento completamente libre, pero que constan con el potencial adecuado para realizar operaciones complejas de exploración, restringiendo de esta forma su accesibilidad y su falta de interacción con el entorno a explorar. Consecuentemente a ello se ha optado por la necesidad de innovar los medios por lo cual dichos robots son controlados y adicionar un medio que permita tener contacto con el entorno.

Otro problema que considerar es la falta de investigación dada en la Universidad Nacional de Chimborazo, pues al no contar con prototipos robóticos exploradores o de rescate, varias de las distintas áreas de investigación aún no han sido exploradas por la falta de instrumentación adecuada.

Pero ¿cómo lograrlo? Una manera de innovar el medio de control del robot es seguir el ejemplo de MindWave, esta es una diadema de recepción de ondas cerebrales que fue usada para interactuar con videojuegos, en base a aspectos tales como la concentración,

relajación o la ansiedad del individuo (Ierache, Nervo, Pereira, & Iribarren, n.d.), ventajas que permiten al sistema de telepresencia facilitar el control en actividades de exploración por medio de prototipos EEG, que mejoren el modo de comunicación, con la finalidad de presentar escenarios inmersivos que den al investigador un primer plano del área de estudio o investigación y que a su vez pueda interactuar con el medio por el cual el prototipo llegue a explorar.

¿Y en el caso de la interacción entre usuario con el entorno? Utilizando un sistema de telemetría basado en sensores hápticos y cámaras FPV, estos proponen establecer una relación entre la virtualización y el mundo físico real, este es un gran puente que un sistema de telemetría solventa, su gama de aplicaciones es extensa, pues contribuye de manera potencial en el manejo de aparatos mecánicos o electrónicos por medio de señales cerebrales, las cuales logran un alto nivel de satisfacción en proyectos tales como el control de brazos robóticos con tres grados de libertad por medio de EEG (Montaño-Martínez, 2012), iniciativa que dio inicio al desarrollo en favor de mejorar la calidad de vida de personas que han perdido sus habilidades motrices tal como es el caso expuesto por (Arana & Albán, 2016) cuyo objetivo fue la manipulación de la prótesis en un entorno virtual. De esta forma se puede llegar a demostrar que a nivel mundial el desarrollo tecnológico se ha orientado siempre a ayudar a personas a dar facilidades tengan o no alguna discapacidad.

Básicamente, el propósito de este proyecto es de innovar la comunicación entre hombre y máquina mediante la utilización de dispositivos EEG, que a su vez otorgan aplicaciones específicas de entrenamiento, que tienen la finalidad de enseñar al sistema a identificar ondas cerebrales e individualizarlas, para la realización de acciones mediante plataformas de desarrollo.

1.2.OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar un sistema de telepresencia basado en la lectura de bioseñales e interacción háptica para el control de un robot explorador terrestre.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar un algoritmo de adquisición e interpretación de datos, basado en el uso del Emotiv API de Cortex V2, con la finalidad de transformar dicha información en comandos de navegación del robot explorador terrestre.
- Crear una interfaz de usuario utilizando el motor gráfico Unity 3D, a fin de visualizar la información recogida por el robot explorador terrestre como imagen, profundidad, parámetros ambientales y sensaciones vibro táctiles de la interfaz háptica.
- Desarrollar canales de comunicaciones inalámbricos robustos basados en ondas de radio e IoT, que permitan monitorizar parámetros esenciales del robot explorador y que a su vez permitan el envío de instrucciones de control.

CAPITULO II

2.1.ESTADO DEL ARTE

La utilización del sistema nervioso central como un sistema de control debe partir del uso de la electroencefalografía técnica que basa su funcionamiento en el análisis de registros de la actividad eléctrica cerebral dado en tiempo real. Básicamente cada célula piramidal de la corteza cerebral es la encargada de generar pulsos o señales eléctricas las que a su vez son dipolos extremadamente pequeños cuya polaridad va a depender de dos factores esenciales, un impulso inhibitorio u otro excitatorio, para con ello registrar de la superficie craneal todo tipo de actividades eléctricas dada en cada región cerebral por medio del uso de electrodos que se encargan de capturar la diferencia de potencial entre cada uno de ellos.

Los sistemas EEG toman como fundamento el análisis de campos eléctricos dados por la corteza cerebral (topografía, polaridad y su variación espacial temporal) aplicando métodos como la amplificación diferencia de potencial entre electrodos receptores. La mayoría de estas arquitecturas pueden estar situados en la superficie craneal o el cuero cabelludo (EEG estándar), intracerebrales (EEG de profundidad) o en la superficie cortical (EEG cortical) (Ramos-Argüelles, Morales, Egozcue, Pabón, & Alonso, 2013).

Es por ello que dentro de la variedad de propuestas que existen a nivel general en electroencefalografía (EEG), la información encontrada destaca por su optimización de funciones relacionadas con la actividad electro encefálica en los usuarios, de estos surgen estudios basados en la interacción de individuos en diferentes entornos, cuyas aplicaciones otorgan impactos significativos en beneficio directo en la sociedad; de ello brotan aplicaciones, que por ejemplo, proponen el uso y control de emociones, basadas en sistemas Brain Computer Interface (BCI) tal como es el caso de (Fattouh, Horn, & Bourhis, 2013) el cual consiste en conducir una silla de ruedas que permite al usuario seleccionar uno de los cuatro comandos para su conducción, sistema que surge al monitorear el estado emocional del usuario.

Mientras el usuario se encuentre satisfecho, el comando seleccionado se ejecutara indefinidamente y cuando el usuario no presente la sensación de satisfacción, el sistema de control detendrá la silla de ruedas y le pedirá al usuario que seleccione otro comando, control que fue delimitado únicamente al uso de una sola sensaciones, pues la experimentación en dicha investigación denoto cansancio cerebral, el cual limitó el funcionamiento del actuador final; o a su vez un sistema de comunicación humano / robot, sobre la base de señales bioeléctricas cerebrales, con la aplicación de la interfaz cerebro-máquina y su asociación a comandos explícitos en el control de robots bípedos y móviles (NXT-Lego) mediante la adaptación de dispositivos de comunicación inalámbricos(Lay & Pizarro, 2015), dicho sistema incorporó un sistema de comunicación basada en la interconexión bluetooth, cuya limitación fue la distancia a la que el actuador debía estar para la recepción de comandos y el uso de gestos para el movimiento del mismo.

Brain Computer Interface (BCI) ha abierto una nueva era en el campo de la neurociencia. Tiene la capacidad de mejorar la calidad de vida de los pacientes gravemente discapacitados. Les permite recuperar el poder de mover cosas mediante sus actividades cerebrales afectivas, cognitivas y expresivas, Emotiv EPOC es un sistema BCI seguro y cómodo que contiene una avanzada serie de electrodos. Puede detectar y procesar los pensamientos, sentimientos y expresiones del usuario en tiempo real.

De ello (Chowdhury, Kibria Shakim, Karim, & Rhaman, 2014) implementó y experimentó un prototipo de robot de dos ruedas controlado por el pensamiento, dando como resultado a destacar un 72.65% de precisión en el experimento para diferentes personas de entre 14 y 30 años, por otro lado la precisión para las personas con discapacidades físicas es del 82% en promedio, resultados que se generaron en base al entrenamiento ejecutado previamente por el usuario para el control del robot.

La movilidad de este se interpretó de modo que, al conducir hacia delante, hacia atrás, hacia la izquierda y hacia la derecha, estas sean controladas por una acción visual y su sistema de stop por una expresión facial específica que no necesita ningún entrenamiento. Se consideraron también las deficiencias sobre la confiabilidad de la eficiencia del rendimiento cognitivo de Emotiv EPOC frente a este tipo de interpretaciones.

El flujo de comunicación en cuanto se refiere a la arquitectura y el control se los puede definir por medio de un sistema general, mostrado en la figura 1.

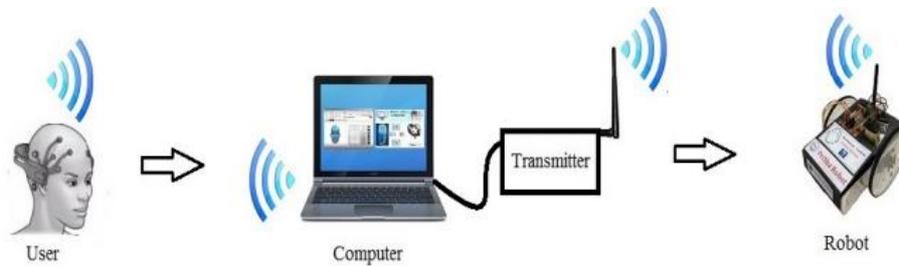


Figura 1. Esquema propuesto por Chowdhury

Fuente: (Chowdhury et al., 2014)

En primer lugar, el usuario debe llevar el audífono Emotiv alrededor del cuero cabelludo como se indica en el manual de Emotiv EPOC (EPOC, n.d.) . Entonces el pensamiento es extraído por el auricular y se envía al software del panel de control. El panel de control decodifica el pensamiento y responde moviendo un cubo virtual en direcciones específicas de acuerdo con el resultado del pensamiento cognitivo. Entonces, la idea se activa con un mecanismo clave que finalmente presiona las teclas en el software. Un ejemplo de ello, es el mostrado por (Chowdhury et al., 2014) el cual incorpora esta arquitectura a un software que envía la señal recibida a un microcontrolador que su vez lo envía a un receptor en el dispositivo final. El microcontrolador envía los datos inalámbricamente a un receptor inalámbrico por medio de frecuencias de radio (RF 433 MHz) y el dispositivo final genera particularmente el comando específico al cual fue programado, interpretando la señal recibida en movimientos mecánicos los cuales son indispensables para mover las ruedas del robot en cualquier dirección específica.

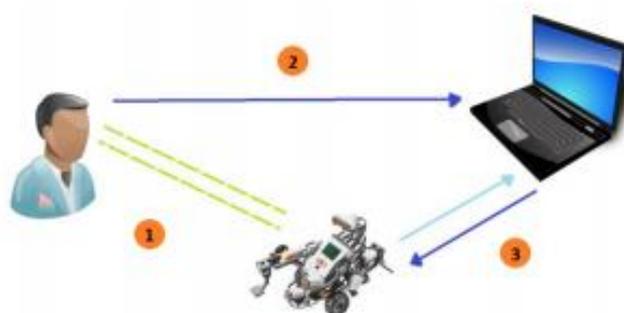


Figura 2. Esquema propuesto por Vourvopoulos

Fuente: (Vourvopoulos & Liarokapis, 2012)

La gran ventaja que entrega el Emotiv Epoc además de ser un dispositivo usado en la mayoría de las investigaciones mencionadas, es aquel que posee estas y otras funciones que permiten dar inicio a nuevas propuestas para obtener resultados más completos y funcionales para todo tipo de operadores y usuarios, tales como la exploración y rescate, una aplicación que aprovecha la interfaz BCI para leer las señales del usuario, mismas que tiene por objetivo controlar un robot explorador tipo oruga, basado en la teleoperación. (V, A, & C., 2015) en su diseño, para la medición de las ondas cerebrales emitidas por el usuario, empleo a Emotiv Epoc de primera generación con 14 electrodos, para luego realizar un enlace de comunicación con una interfaz en Matlab, desde la cual su desarrollador envía los datos de forma inalámbrica (RF) por medio de tarjeta XBEE al microcontrolador de la plataforma robótica.

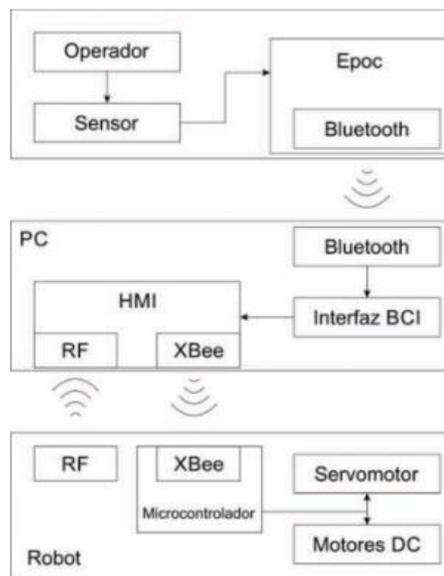


Figura 3. Funcionamiento general del sistema de exploración.

Fuente: (V et al., 2015)

De este modo y al analizar de manera exhaustiva las ventajas y las desventajas del sistema Emotiv Epoc, el analizar la relación existente entre la interfaz BCI y las alternativas en cuanto a su actuador final se refiere, se considera necesario el utilizar un dispositivo que incorporará características que son necesarias en el área de estudio, tal y como lo es la exploración robótica. El uso de una plataforma robótica tipo oruga puede ser catalogada o considerada muy útil por su versatilidad, sus dimensiones y sobre todo por su sistema de tracción y agarre en zonas agrestes.

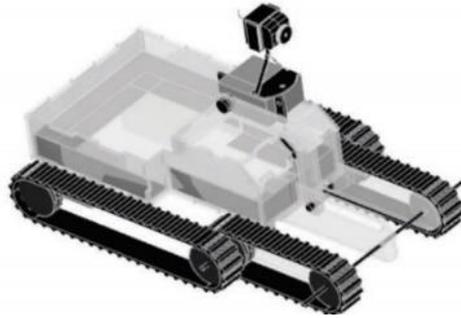


Figura 4. Plataforma robótica tipo oruga posibles estructuras

Fuente: (V et al., 2015)

Es por ello que en base a lo expuesto la comunicación BCI genera un análisis completo de la actividad cerebral y dichas actividad se la relaciona con comandos específicos del emulador SDK de Emotiv los cuales usados por varios sistemas de interpretación para posterior a ello generar acciones que dan movimiento a un actuador final, y que a través de ellos intenta transmitir al usuario las interacciones del mundo físico como tal, por medio de sistemas inmersivos, en base a un entorno vibro-táctil e inmersión gráfica, arquitectura que basa su funcionamiento en Open Source, los cuales determinan el grado de flexión e información de posicionamiento generado por giroscopios que determinaran la sensación actual del robot (Martínez, García, Martínez, & González) o plataformas propias de operaciones específicas de sistemas de inmersión o gafas de realidad Virtual que permitan observar el espacio tridimensional de trabajo.

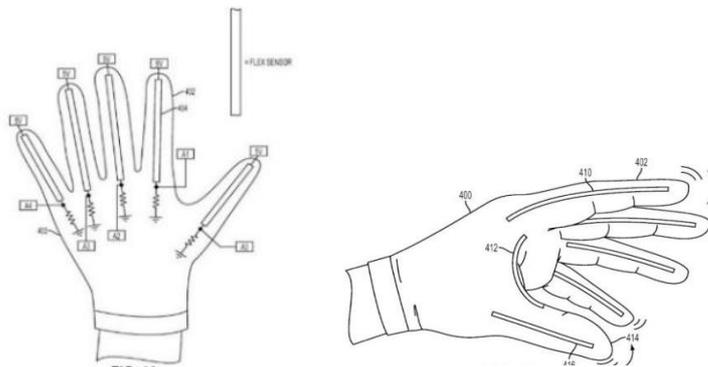


Figura 5. Guantes hápticos sistema vibro-táctil

Fuente: (Martínez et al., 2009)

De este modo y luego de analizar todas y cada una de las posibilidades antes mencionadas se recalca que la robótica, la cual ha incursionado en el mundo de la industria, la

investigación espacial o en el ámbito de la medicina, es considerada como una rama de aplicaciones e innovaciones importantes cuya área de crecimiento es extensa, abordando disciplinas de investigación y desarrollo en clases particulares de sistemas mecánicos (Humberto & Rojas, 2010), sistemas que permiten considerar diferentes variedades de robots con distintas estructuras geométricas y mecánicas acorde a su aplicación (Borja Urrea & Bravo Ramírez, 2016), tal como es el caso expuesto anteriormente, robots tipo oruga.

Robots que pueden aventurarse allí donde la gente no puede o no quiere ir, usando diferentes protocolos de comunicación inalámbrica, para su comunicación e interpretación de entornos y ambientes hostiles por medios de sistemas inmersivos, sean estos sistemas de visualización o sistemas hápticos, que den al usuario final la sensación de trabajo en tiempo real y control preciso en cuanto a operación se refiere.

2.2.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1. TELEPRESENCIA

La telepresencia permite a las personas experimentar sensaciones de estar presentes en lugares donde no se encuentran físicamente haciendo que estas reciban y envíen distintos tipos de estímulos. Para esto se requiere la implementación de tecnologías que proporcionen elementos sensoriales humanos como audio, video, movimiento y manipulación. En el caso de audio y video pueden nombrarse las pantallas envolventes que proporciona al usuario una vista amplia del lugar remoto o simplemente las video conferencias que permiten una retroalimentación visual.

El movimiento y manipulación son muy considerados en sistemas de telepresencia siendo implementados en su mayoría en robots móviles que permiten un movimiento y vista libre de los sitios remotos en el que encuentran. Algunos sistemas de telepresencia incluyen la capacidad de manipulación de objetos en entornos remotos mediante la utilización de guantes y sensores inerciales que permiten que robots recreen estos movimientos aumentando aún más la sensación física presencia.



Figura 6. Robot de telepresencia Ava 500

Fuente (Digital V Magazine)

2.2.2. TELEMETRÍA

La telemetría consiste en la medición y transmisión de datos desde sitios remotos o inaccesibles hacia una ubicación definida para su monitoreo y análisis (IBM, 2019) Comúnmente hoy en día la transmisión de los datos se la realiza inalámbricamente, aunque en un inicio no fue así. Un sistema de telemetría está compuesto generalmente por los siguientes elementos (Ordoñez, n.d.):

- Fuente de Información Remota
- Medio de transmisión
- Receptor remoto

2.2.3. BIOSEÑALES

Conocidas también como señales fisiológicas son aquellas señales generadas por distintos órganos y estructuras que componen el cuerpo humano, mismas que determinan el comportamiento de los mismos (Reyes, 2012). Existen distintos tipos de bioseñales distinguiéndose una de otras por su origen, pudiendo ser eléctricas, magnéticas, mecánicas, ópticas, acústicas entre otras. Además, se diferencian una de otra dependiendo la amplitud y frecuencia que posean las mismas (Tedin, Federico; Fraire, 2017). Dentro de las bioseñales de origen eléctrico podemos encontrar:

Tabla 1. Bioseñales eléctricas más comunes

Fuente: (Reyes, 2012)

Bioseñal	Definición	Rango de amplitud	Rango de frecuencia
Electrocardiograma (ECG)	Actividad eléctrica cardiaca	0.5 – 4 mV	0.01 – 250 Hz
Electroencefalograma (EEG)	Actividad eléctrica cerebral	5 – 300 μ V	DC – 150 Hz
Electrogastrograma (EGG)	Actividad eléctrica gástrica	10 μ V – 1 mV	DC – 1 Hz
Electromiograma (EMG)	Actividad eléctrica muscular	0.1 – 5 mV	DC – 10 kHz
Electroneurograma (ENG)	Actividad eléctrica nerviosa	0.01 – 3 mV	DC – 1 kHz
Electrooculograma (EOG)	Potencial retina – cornea	50 – 3500 μ V	DC – 50 Hz
Electrorretinograma (ERG)	Actividad eléctrica de la retina	0 – 900 μ V	DC – 50 Hz

2.2.4. ELECTROENCEFALOGRAFÍA (EEG)

Consiste en la obtención de un registro gráfico de actividad eléctrica cerebral es decir las fluctuaciones eléctricas ocurrientes dentro del cerebro, dichas fluctuaciones son producidas por las neuronas ya que cada una constituye un dipolo eléctrico que cambia de polaridad dependiendo de los impulsos que estás reciban. Para la detección de la actividad eléctrica se utilizan electrodos colocados en ciertas zonas del cuero cabelludo, mismos que son capaces de detectar la diferencia de potencial ocurrida entre los mismos y finalmente dichas señales son amplificadas para su análisis y estudio (Ramos Argueles, F; Morales, 2009). Es considerada una técnica indolora no invasiva, además de ser de bajo costo. Actualmente existentes distintos tipos de dispositivos capaces de realizar EEG usualmente se los puede encontrar en forma de gorros, diademas, cascos (figura 7) que conservan el mismo funcionamiento, pero difieren en precios, marcas y numero de sensores, (Emotiv, 2019).

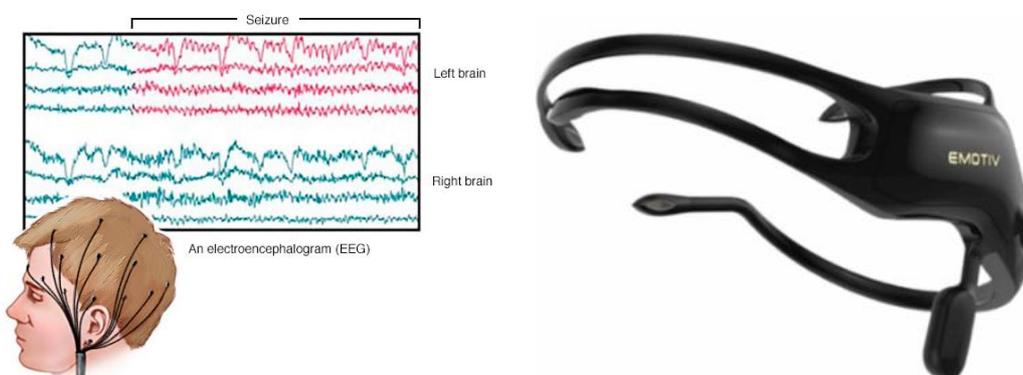


Figura 7. Electroencefalograma con dispositivo EEG Emotiv Insight
Fuente: (Mayo Fundación para medicina, educación e investigación)

CLASIFICACIÓN DE ONDAS DE EEG

Las ondas en EEG se clasifican de acuerdo a los siguientes parámetros (Martínez Barros, Marlon Igor; Trout Guardiola, 2013):

- **Frecuencia.** – Consiste en el número de veces que se repite la onda en un intervalo de tiempo. Poseen 4 bandas de frecuencia llamadas delta, theta, alfa y beta.
- **Amplitud.** – Es el valor máximo alcanzado entre 0 y el pico de la onda normalmente expresada en uV.
- **Morfología.** – Se refiere a las distintas formas de onda generadas al realizar una actividad.

Tabla 2. Banda de frecuencias

Fuente:(Autores)

Bandas de frecuencia	Frecuencia	Amplitud	Método de generación
Delta	0.1 - 4 Hz	> 50 uV (variable)	Aparecen durante el sueño profundo
Theta	4 - 7 Hz	> 40 uV si fuese menor de 15 uV se considera anormal	Alcanzadas cuando hay un estado de calma profunda
Alfa	8 – 12 Hz	15 uV varía según la edad	Se presenta en estados de relajación o cuando hay la mínima actividad cerebral
Beta	14 – 30 Hz	-	Ocurren cuando el individuo está despierto produciendo actividades cerebrales

2.2.5. PLATAFORMAS DE DESARROLLO DE SOFTWARE

Tabla 3. Plataformas de desarrollo de software

Fuente:(Autores)

Software	Descripción
Kit de desarrollo de software Emotiv	Aplicaciones necesarias para entrenamientos EEG (Gitbook, 2019) (Anexo 1,16).
Arduino IDE	Tiene la finalidad de escribir y cargar códigos desarrollados en lenguaje C o C++.
IDLE Python	Permite la elaboración y ejecución de programas en lenguaje Python.

Unity 3D	Herramientas de desarrollo de video juegos, aplicaciones, animaciones 2D y 3D
Firestore RealTime DataBase	Es una plataforma de Google que proporciona un servicio de base de datos en tiempo real en la nube

2.2.6. PLATAFORMAS DE DESARROLLO DE HARDWARE

Tabla 4. Plataformas de desarrollo de hardware

Fuente: (Autores)

Hardware	Descripción
Diadema EEG Insight	EEG de 5 canales capaz de captar ondas cerebrales
Arduino	Uno, promini
Plataforma IoT	NodeMCU ESP8266

2.2.7. ROBÓTICA

Es la ciencia encargada de diseñar y construir máquinas destinadas a realizar tareas específicas que antes solo podía hacer el ser humano. En su mayoría están compuestos generalmente por una estructura mecánica, sensores, actuadores, sistemas de control y fuentes de energía. Actualmente existe un sin número de formas para clasificar a los robots todo esto depende del punto de vista en que se lo realice pudiendo ser:

- **Robots por su aplicación.** - En esta categoría pueden encontrarse robots industriales, domésticos, médicos, espaciales, de entretenimiento, competencias y militares.
- **Robots por locomoción y cinemática.** –Se constituyen por robots estacionarios, de ruedas, orugas, de patas, de natación y voladores.

2.2.8. DISPOSITIVOS HÁPTICOS

Los dispositivos hápticos son aquellos que permiten una comunicación entre el hombre y la maquina a través del tacto o movimiento del usuario produciendo un intercambio de

información entre los mismos. Basan su funcionamiento en las sensaciones táctiles y el sentido cenestésico. Dichos dispositivos pueden cambiar sus propiedades mecánicas mediante el control de un ordenador, es decir sus propiedades mecánicas son programables, esto permite un intercambio de información bidireccional entre el usuario y el exterior. Un dispositivo háptico debe ser diseñado para leer y escribir en la mano humana es decir enviar datos y recibir datos. Existen dos tipos de dispositivos hápticos los pasivos y activos ambos comparten la característica de ser programables(Hayward, Vincent; Astley, Oliver R.; Cruz Hernandez, Manuel ; Grant , Danny; Robles de la Torre, 2014).

- **Pasivos.** –Estos carecen de retroalimentación. Se encargan solamente de disipar la energía mecánica aplicada en los mismos. Ejemplo: frenos controlables.
- **Activos.** –Poseen retroalimentación. Consiste en intercambiar energía entre el usuario y el dispositivo.



Figura 8. Sistema háptico que brinda sensaciones vibro táctiles

Fuente: (Hayward, Vincent; Astley, Oliver R.; Cruz Hernandez, Manuel ; Grant , Danny; Robles de la Torre, 2014)

Los dispositivos hápticos generalmente están compuestos por sensores y actuadores los mismos que entran en contacto con el usuario con la función de aplicar y medir señales mecánicas producidas en áreas específicas del cuerpo (Hayward, Vincent; Astley, Oliver R.; Cruz Hernandez, Manuel ; Grant , Danny; Robles de la Torre, 2014).

2.2.9. BASE DE DATOS

Conocidas también como banco de datos es un grupo de datos organizados que se hallan almacenados por sistemas de información para su posterior uso. La mayoría de base de datos actualmente se hallan en formato digital(Cortes, 2014). Existen distintas maneras para clasificar las bases de datos todo esto depende del punto de vista:

Tabla 5. Clasificación del base de datos

Fuente: (Autores)

Según la variabilidad de datos	Según el modelo de administración de datos
<ul style="list-style-type: none">• Base de datos estáticas• Base de datos dinámicos	<ul style="list-style-type: none">• Bases de datos Jerárquicas• Base de datos de red• Base de datos transaccionales• Base de datos relacionales

Sistema de Gestión de bases de Datos (SGBD)

Consiste en un software cuyo deber es proveer una interfaz entre la base de datos, usuarios y aplicaciones. Permiten almacenar, modificar y extraer información de la base de datos, proporcionando además herramientas para la actualización de los datos. Actualmente existen productos SGBD gratis y de pago a continuación ejemplos:

Tabla 6. Sistemas de gestión de base de datos libres y de base de pago

Fuente(Autores)

Sistemas de Gestión de base de datos libres	Sistemas de Gestión de base de pago
<ul style="list-style-type: none">• MySQL• PostgreSQL• Firebird• Firebase Realtime Database	<ul style="list-style-type: none">• Microsoft Access• Microsoft SQL Server• Oracle• Paradox

• SQLite	• Pervasive SQL
----------	-----------------

2.2.10. SENSORES

Encargados de recoger parámetros ambientales dados en cada uno de los distintos entornos en los que la plataforma robótica se encuentra, con la finalidad de dar información al operador de su entorno.

2.2.11. MÓDULOS DE RADIO FRECUENCIA

Empleados como un medio de comunicación inalámbrico a una frecuencia configurable configurados mediante programación utilizando una interfaz SPI (Anexo 2).

2.2.12. TRANSMISOR Y RECEPTOR DE VIDEO

Transmisor de video inalámbrico que trabaja en un rango de frecuencia de 5.600 GHz–5.886 GHz, trabaja en 48 canales diferentes. Integra además una cámara FPV con una resolución de 600 TVL y con formato de video NTSC. Pesa tan solo 4 gramos, útil para vehículos aéreos no tripulados y otros campos (Anexo 3).

Receptor UVC 5.8 GHz

Es un receptor de video UVC (USB VIDEO CLASS) que puede conectarse tanto a Smartphone como a computadoras gracias a su puerto OTG, tiene una latencia muy baja alrededor de 100ms, además trabaja en 150 canales cubriendo la frecuencia de 5.8 GHz por la que es compatible con cualquier transmisión de video provenientes de cámaras FPV.

2.2.13. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

2.2.13.1. SPI

Denominado también como Serial Peripheral Interface es un bus síncrono de periféricos serie que permite establecer comunicaciones full dúplex y a una alta velocidad entre dispositivos por lo que utiliza una arquitectura maestro-esclavo (Pérez, 2013).

Maestro. – Es aquel dispositivo que inicia la comunicación enviando o recibiendo información a través del bus y además es el encargado de generar la señal de reloj para la sincronización.

Esclavo. – Es el dispositivo controlado por el maestro, no puede iniciar la comunicación por el mismo.

Características

- Velocidad de datos 10 Mbps – 20 Mbps
- Comunicación síncrona y full dúplex
- Un único maestro
- El número de conexiones aumenta con el número de esclavos

2.2.13.2. I2C

Conocido también como también como Inter Integrated Circuit es un bus de comunicación serie y síncrono que utiliza una arquitectura maestro-esclavo. En el bus I2C cada dispositivo conectado al mismo posee una dirección de 7 bits diferente. Dicha dirección es necesaria para el envío de información entre maestro-esclavo ya que el maestro envía una solicitud de transacción a la dirección del dispositivo a cuál se desea comunicar y este continuara con la misma mientras el resto de dispositivos ignoran las peticiones (Argentina, 2018).

Características

- Velocidad de datos 1 Mbps – 3.4 Mbps- 5 Mbps
- Comunicación síncrona y half dúplex
- Varios maestros

- Necesita menos hilos de comunicación que SPI

2.2.13.3. Enhanced ShockBust

Enhanced ShockBust (ESB) es un protocolo bidireccional que permite el almacenamiento de paquetes en buffers, reconocimiento de paquetes y retransmisión automática de paquetes perdidos. Implementa comunicaciones de bajo consumo y alto rendimiento. Consiste en un intercambio de paquetes entre transceptores, uno actuando como transmisor primario (PTX) y otro como receptor primario (PRX) (Semiconductor, 2011), con formato del paquete e intercambio de paquete (Anexo 4).

Características

- Carga útil dinámica de 1 a 32 bytes
- Manejo automático de paquetes
- Manejo automático de intercambio de paquetes
- Reconocimiento automático de la carga útil
- Retransmisión automática de paquetes

2.2.13.4. MQTT

Es un protocolo de comunicación conocido también como machine-to-machine o M2M se basa en publicación y suscripción de mensajes. Se basa en la pila TCP/IP y caracteriza por ser ligero, fácil de implementar y ser apropiado para dispositivos utilizados en IoT. Dispone de diversas medidas de seguridad incluyendo transporte SSL y TLS y autenticación de usuario y contraseña mediante la utilización de certificados. Su arquitectura se compone por un servidor principal llamado bróker y los clientes.

- **Bróker.** – Encargado de recibir todos los mensajes emitidos y de distribuirlos a quien corresponda.
- **Cliente.** - Encargado de publicar o suscribirse a un mensaje.



Figura 9. Funcionamiento del protocolo MQTT

Fuente: (Luis del Valle Hernández Programar Fácil)

2.2.13.5. Protocolo WebSocket

Define una comunicación dúplex y representa una evolución en la tecnología web cliente-servidor. Sus principales características las siguientes:

- Hace posible la comunicación en tiempo real entre servidores web y clientes
- Se está convirtiendo en un estándar multiplataforma para la comunicación en tiempo real entre un cliente-servidor.
- Permite un nuevo tipo de aplicaciones
- Proporciona una comunicación bidireccional full dúplex a través de una única conexión TCP.

URL

Web Socket tiene un esquema definido en su patrón URL



Figura 10. URL de Web Socket

Fuente: (Point, 2016)

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1.TIPO DE ESTUDIO

El presente estudio, genera de manera explícita la concepción, diseño y desarrollo de un sistema de control operado a larga distancia, basado en protocolos de comunicación e implementación de electrónica en una investigación de tipo experimental y explicativa que busca utilizar los bioseñales generadas por el usuario para controlar eventos físicos mediante una plataforma robótica.

3.2.MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

En el presente proyecto se aplicará los métodos analítico, experimental y deductivo para el correcto diseño estructural de la plataforma robótica, sistemas de transmisión y recepción necesarios para la misma, los cuales se basan en el análisis y utilización de bioseñales en aplicaciones motoras.

3.3.FUENTES DE INFORMACIÓN

Se ha realizado una revisión sistemática de documentos de varias sociedades científicas como ResearchGate, IEEE, revistas, publicaciones científicas destacadas, todas dedicadas al análisis de la Interfaz Cerebro-Máquina (BCI). También se ha consultado revisiones y estudios con base en resultados que respalden la viabilidad del proyecto, incluyendo información relevante de conceptualización de EEG en varias áreas de estudio, páginas de fabricantes de dispositivos de EEG, videos que den la posibilidad de conocer el posible diseño del dispositivo háptico final, así como el del robot como tal.

3.4.INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los instrumentos de investigación aplicados en la elaboración del presente proyecto de tesis hacen referencia al uso de tres categorías, observación directa, procedimientos experimentales y análisis de documentos.

- Observación directa: básicamente es la selección explícita de aquello que se desea analizar por medio de la visualización a detalle de una o varias situaciones que permitan llegar a cumplir los objetivos propuestos inicialmente.
- Procedimientos experimentales: basa su concepto en el uso del contexto prueba y error para definir un resultado que nos permite identificar su correcto funcionamiento.
- Análisis de documentos: son en su mayoría publicaciones científicas, revistas, papers y manuales de dispositivos electrónicos, a fin de fundamentar la viabilidad de proyecto.

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

*Tabla 7. Operacionalización de variables
Fuente: (Autores)*

VARIABLES	CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADORES	TÉCNICAS e INSTRUMENTOS
Eficiencia de manejo.	Capacidad para realizar correctamente una acción.	Control	Nivel de precisión. Número de pruebas.	Plataforma SDK Emotiv-BCI. IDLE de Python. Observación Directa.
Calidad de transmisión de video y datos de telemetría	Información que muestran la situación actual de robot	Telecomunicaciones	Latencia. Exactitud de datos.	Dispositivos emisores y receptores. Sensores.

Exactitud del algoritmo de interpretación	Expresa mediante el error absoluto la diferencia entre el valor real y el experimental del envío de señales EEG	Control	Simulación Número de pruebas realizadas. Número de intentos acertados y fallidos.	Robot explorador. Observación directa.
Percepción del usuario.	Habilidades involucradas en el diseño de patrones que permitan palpar sensaciones próximas a las naturales.	Háptica y Métricas de Rendimiento	Intensidad de vibración. Aceptación.	Sensores y actuadores. Test de usabilidad.

3.6.PROCEDIMIENTOS Y ANÁLISIS

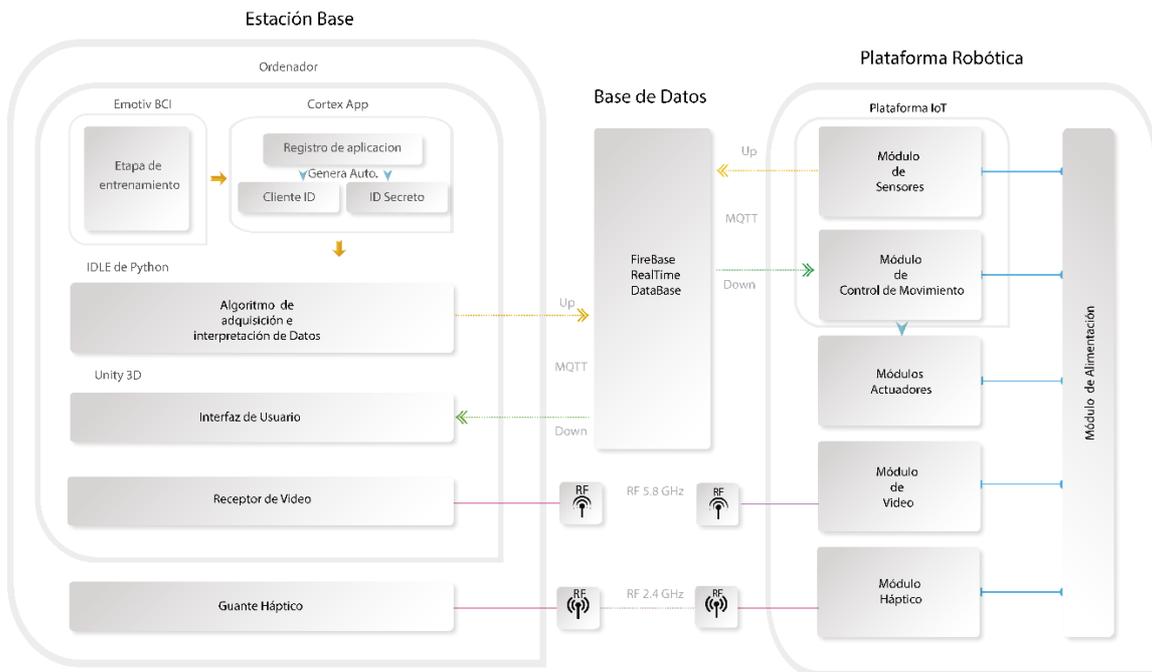


Figura 11. Diagrama general del sistema de telepresencia

Fuente: (Autores)

3.6.1. ALGORÍTMO DE ADQUISICIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS

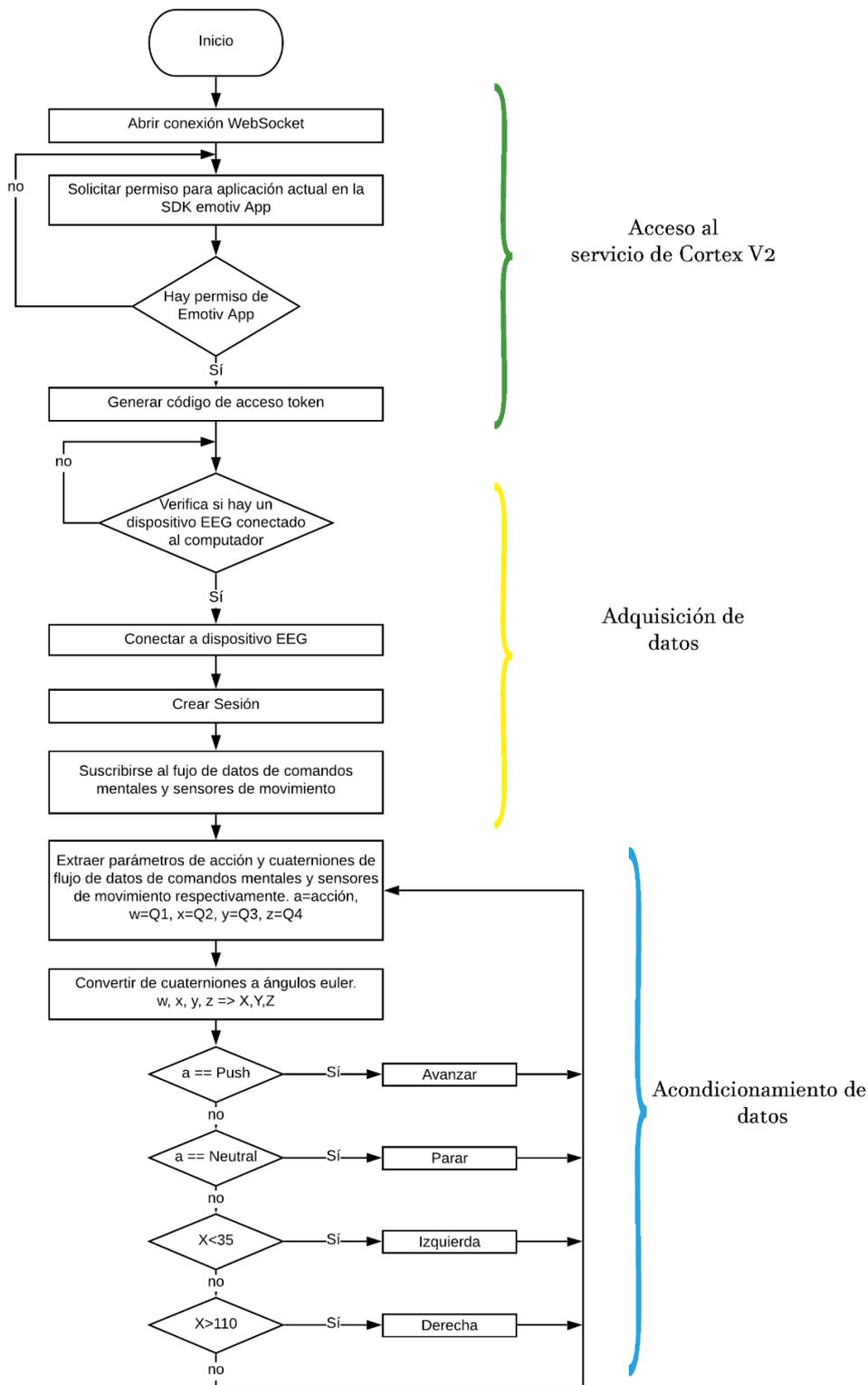


Figura 12. Algoritmo de adquisición e interpretación de datos

Fuente: (Autores)

De este modo dicho algoritmo (figura 12) se expresa en tres etapas con el fin de adquirir e interpretar los datos del dispositivo Emotiv Insight mediante el uso del servicio de Cortex v2 por el IDLE de Python, a través del siguiente diagrama de bloques (figura 13).



Figura 13. Aspectos generales de para la adquisición e interpretación de datos

Fuente: (Autores)

3.6.1.1. Acceso al servicio de Cortex v2

Para el acceso al servicio de Cortex v2 se requiere la utilización de un servidor WebSocket el cual permite establecer una comunicación entre el dispositivo Insight Neuro-Headset y la nube de Emotiv, esto se logra mediante el envío de métodos en formato JSON al API de Cortex. A fin de recibir el flujo de datos solicitados, objetivo que se llega a cumplir ya sea por WebSocket ORG o diversos lenguajes de programación. En este caso se utiliza el lenguaje de programación de Python y su IDLE en la versión 3.7.

Inicialmente deben cumplirse ciertos prerequisites para su uso, mismos que consisten en la creación de un Emotiv ID, creación de una aplicación para Cortex en la página oficial de Emotiv y obtención de un ID de cliente y un ID secreto de este. A continuación, se debe tener abierta la aplicación de Emotiv App y seguir la siguiente secuencia de métodos:

- Abrirse una conexión WebSocket mediante el URL `wss://localhost:6868` para conectarse al servicio de Cortex v2.
- Enviar el método API `getUserLogin` mismo que se encarga de verificar si un usuario inicio sesión con la aplicación de Emotiv APP.
- Enviar el método `requestAccess` el cual se encarga de registrar la aplicación de Cortex en la Emotiv APP.
- Enviar el método `Autorize` se encarga de generar un código llamado token necesario para otros métodos de API de Cortex

A continuación, se muestra un diagrama de bloques de los métodos realizados hasta el momento:

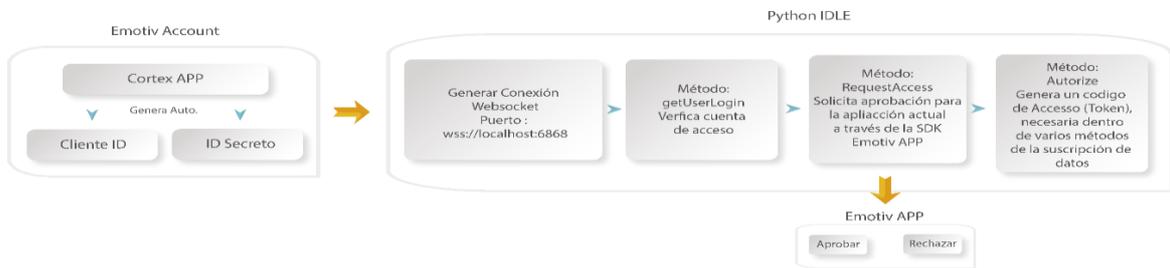


Figura 14. Diagrama de bloques para el acceso al servicio Emotiv Cortex API.

Fuente: (Autores)

3.6.1.2. Adquisición de flujo de datos

Una vez obtenido el acceso al servicio de Cortex v2 y registrada la aplicación de Cortex en Emotiv App, deben seguirse seguir una secuencia de métodos que permitan la adquisición de flujos de datos necesarios (Anexo 5):



Figura 15. Secuencia de acceso para streaming de flujo de datos Emotiv Insight.

Fuente: (Autores)

- **Query Headsets.** - Permite la visualización de todos los dispositivos Emotiv conectados al ordenador ya sean mediante cable USB o Bluetooth. Adicionalmente muestra información sobre su ID, firmware, sensores entre otros.
- **Control Device.** - Conecta o desconecta un dispositivo en específico, además permite la actualización de la lista de dispositivos conectados.
- **Create Session.** – Abre una sesión con un dispositivo Emotiv en específico, mismo que debe estar conectado previamente.
- **Update Session.** - Activa o cierra una sesión con el dispositivo Emotiv.
- **Suscribe.** - Posibilita la suscripción a uno o más flujos de datos provenientes del dispositivo seleccionado.

En este proyecto se opta por la suscripción a 3 distintos tipos de flujo de datos, tales como “COM” para comandos mentales, “MOT” para sensores de movimiento y “POW” para potencias de bandas de los sensores EEG, mismos que están constituidos por vectores de datos cuyo formato se muestra a continuación:

Tabla 8.Formato de flujos de datos

Fuente:(Autores)

Suscripción	Flujo de datos
POW	[“AF3/theta", "AF3/alpha", "AF3/betaL", "AF3/betaH", "AF3/gamma", "T7/theta", "T7/alpha", "T7/betaL”, T7/betaH”, T7/gamma", "T8/theta", "T8/alpha", "T8/betaL", "T8/betaH", "T8/gamma", "PZ/theta", " PZ /alpha", " PZ /betaL", " PZ /betaH", " PZ /gamma", "AF4/theta", "AF4/alpha", "AF4/betaL", "AF4/betaH", "AF4/gamma"]
COM	["act", "pow"]
MOT	[Contador, Interpolación, Q0, Q1, Q2, Q3, ACCX, ACCY, ACCZ, MAGX, MAGY, MAGZ]

Tabla 9.Etiquetas suscripción com

Fuente:(Autores)

Etiqueta	Tipo de dato	Descripción
Act (Acción)	String	Muestra el comando mental empleado
Pow (Potencia)	Número tipo float	Intensidad de poder de la acción. Es un número decimal entre 0 y 1

Tabla 10.Etiquetas suscripción mot

Fuente:(Autores)

Etiqueta	Tipo de dato	Descripción
Contador	Numérico	Incremente en 1 para cada muestra, restablezca a cero cada segundo.
Interpolación	Numérico	0 sin interpolación. 1 con interpolación.
ACCX, ACCY, ACCZ	Numérico	Eje X, Y, Z del acelerómetro.

MAGX, MAGY, MAGZ	Numérico	Eje X, Y, Z del magnetómetro.
Q0, Q1, Q2, Q3	Numérico	Cuatriones del giroscopio

Finalmente, para la adquisición de los flujos de datos deseados Python creará un bucle infinito de solicitudes, que de forma ordenada generan mensajes de respuesta, tal como se muestra en la figura 16.

```

Shell de Python
>>
Stream MOT
[data: [58, 0, 0.266832, -0.575195, 0.366943, 0.680664, 0.995621, -0.215335, -0.080079, 6.942159, -7.110585, -19.380108], 'time': 1565713977.6879]
Stream COM
[data: ['neutral', 0], 'time': 134900753.7346]
Stream MOT
[data: [20, 0, 0.549777, -0.37085, 0.639648, 0.388672, 0.999527, -0.111818, 0.103029, -0.215915, -10.374565, -24.441939], 'time': 1565714011.0237]
Stream COM
[data: ['push', 0.876], 'time': 1559900743.3318]

```

Figura 16. Flujo de datos basado en suscripciones MOT y COM

Fuente: (Autores)

Para verificar la correcta adquisición de flujo de datos, se utiliza el método de observación directa para comprobar si los datos obtenidos en Python son semejantes a los datos mostrados en el SDK Emotiv BCI, es decir (figura 17):

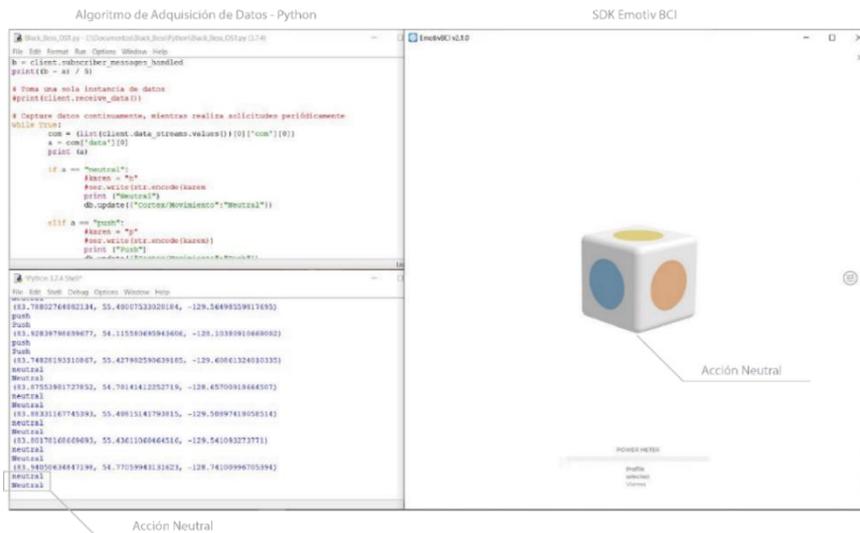


Figura 17. Visualización de datos arrojados por EmotivBCI y el algoritmo de adquisición de datos (comandos mentales).

Fuente: (Autores)

El algoritmo de adquisición de flujo de datos permite la extracción de distintos tipos de datos, que posteriormente serán procesados e interpretados como comandos de navegación por plataforma robótica.

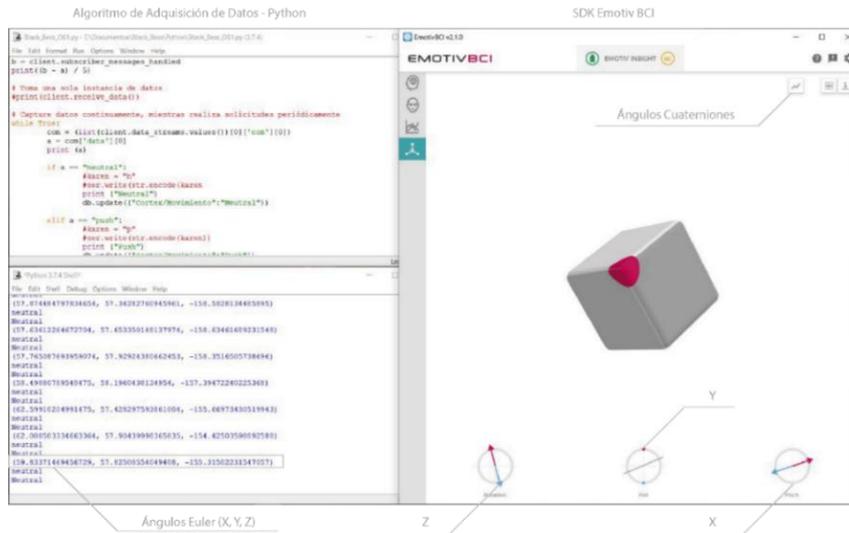


Figura 18. Visualización de datos arrojados por Emotiv BCI y el algoritmo de adquisición de datos Python (sensores de movimiento).

Fuente: (Autores)

3.6.1.3. Acondicionamiento de datos

Para identificar cambios de estado en aquellas instrucciones basadas en comandos mentales, se consideró el análisis de la actividad cerebral del individuo, a fin de poder comprobar experimentalmente, cuáles son los valores máximos que superan los valores de umbral dentro del vector de valores datos dados por la suscripción POW. De este modo y luego de filtrar la información necesaria de los electrodos AF3, T7, T8, AF4, PZ (figura 19) se crean archivos de texto específicos, con arreglos que contienen datos de ondas, TETHA, ALPHA, BETA-LOW, BETA-HIGH, para cada sensor.

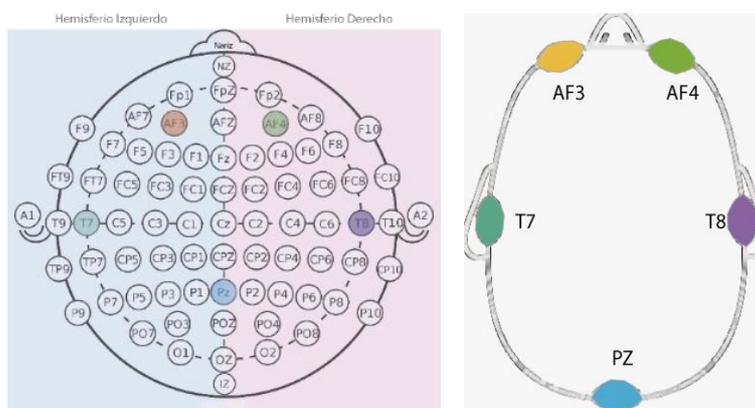


Figura 19. Sistema 10-20 utilizado en calidad de contacto Emotiv Insight

Fuente: (Autores)

Los valores máximos de cada sensor fueron dados a partir de funciones de la librería Matplotlib, con el objetivo de visualizar aquellos datos que superen los valores de umbral y que a su vez permiten el envío de instrucciones de control hacia la plataforma robótica. Por ejemplo, pensar en la palabra AVANZAR generará una determinada gráfica y acción de control. Para denotar ello, se presenta la figura 20, en la que se muestra como pensar en la palabra AVANZAR, genera cambios significativos en las ondas BETA-LOW y BETA-HIGH (ondas que identifican existencia de actividad cerebral alta), las cuales llegan a superar el valor de umbral de las ondas TETHA y ALPHA (ondas que identifican baja actividad cerebral y calma profunda), para el envío de mensajes de control por medio del canal de comunicación a la plataforma robótica.

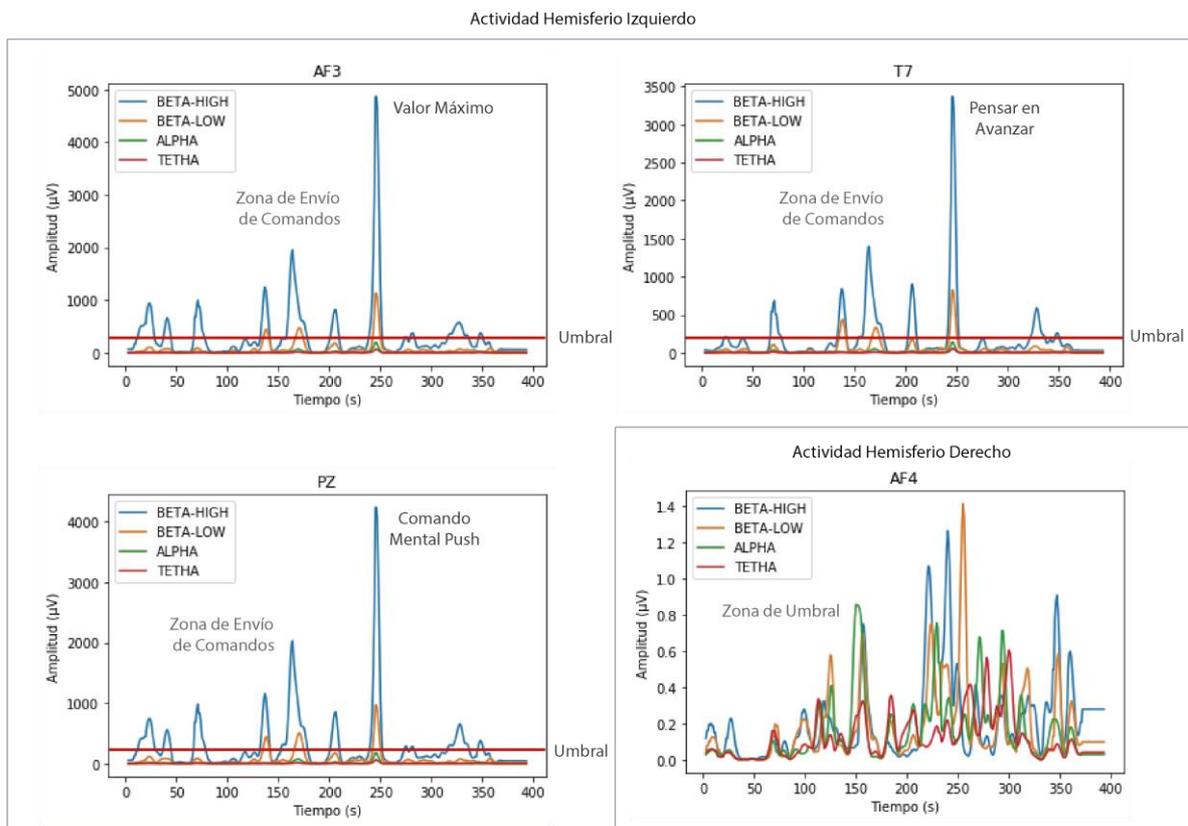


Figura 20. Valores máximos en los cambios de amplitud de los electrodos AF3,T7,PZ para el comando mental push en el envío de la acción de control avanzar.

Fuente: (Autores)

Los picos de amplitud dados por encima de la zona de umbral concentradas específicamente en el hemisferio izquierdo de la corteza cerebral generan acciones de control específicas en las que los motores de la plataforma robótica generan un

movimiento en línea recta.- Mientras que los valores dados por el hemisferio derecho de la corteza cerebral se mantienen en zonas de umbral al no existir entrenamientos relacionados a patrones de creatividad o imaginación.

Por otro lado, para la suscripción de datos tipo MOT, el procesamiento de los sensores de movimiento necesita cumplir tres condiciones esenciales, las cuales se obtiene luego de adquirir el vector de datos (Tabla 10), la primera consiste en clasificar aquellos movimientos que generen ángulos menores a 30 grados luego de girar la barbilla en sentido anti horario para enviar un mensaje de control que genere un giro al lado izquierdo en la plataforma robótica, la segunda consiste en clasificar los ángulos oscilantes entre 31 y 124 grados dados al mantener la barbilla en una posición normal para no generar movimiento alguno en la plataforma y la tercera condición basada en la detección de ángulos superiores a 125 grados dados luego de rotar la barbilla en sentido horario para generar acciones de control que provocaran el giro de la plataforma robótica a lado derecho (figura 21).

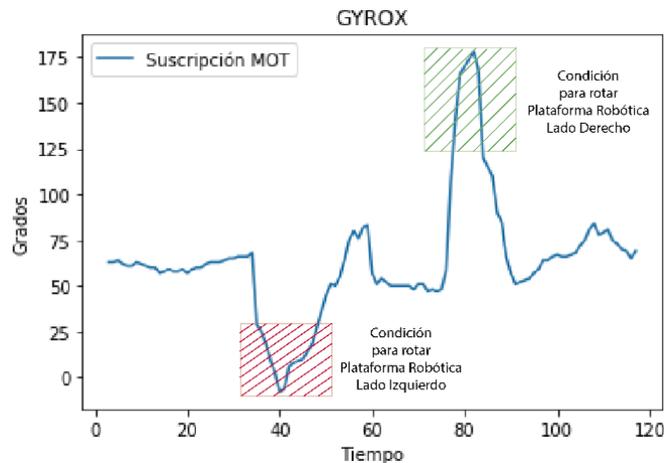


Figura 21. Condiciones para detectar eventos de rotación en formato Euler

Fuente: (Autores)

A fin de poder facilitar el almacenamiento información en la base de datos, dicha información pasa por un proceso de conversión y preclasificación que se encarga de transformar el flujo de datos MOT de cuaterniones a ángulos Euler y mostrar únicamente el comando entrenado en los perfiles de entrenamiento seleccionados en el Emotiv BCI para el flujo de datos COM, a fin de mostrar únicamente datos específicos, así como se muestra en la figura 22.

Shell de Python

```
>>
Datos de Giroscopio XYZ
X = 90.231421234223422, Y = -32.54645646453443, Z = 78.34534653574845
Comando Mental
neutral
Datos de Giroscopio XYZ
X = 110.77872115687271, Y = 62.153225488770424, Z = -86.63727787211748
Comando Mental
push
```

Figura 22. Flujo de datos mot y com clasificados

Fuente: (Autores)

3.6.2. LECTURA Y ESCRITURA DE DATOS EN FIREBASE REALTIME DATABASE

Una vez obtenidos los datos acondicionados es necesario transportarlos a una plataforma que almacene y mantenga actualizados a los mismos, además que permita la lectura y escritura de datos provenientes de distintas plataformas utilizadas en el presente proyecto. Por lo cual se ha seleccionado a Firebase Realtime Database ya que es una base de datos en tiempo real y permite una variedad de plataformas y lenguajes de programación para su manejo.

3.6.2.1. Creación de un proyecto en Firebase RealTime Database

La creación de un proyecto en Firebase RealTime Database se la realiza de manera sencilla basta con acceder a la página web de Firebase de Google, entrar en la consola de Firebase, agregar un nuevo proyecto, seleccionar Database y crear una base de datos en Realtime Database. A continuación, se debe tener en cuenta las reglas de seguridad Firebase RealTime DataBase que consisten en reglas que otorgan permisos para lectura y escritura en la base de datos pudiendo ser:

- Modo bloqueo. – Rechaza acciones de lectura y escritura de terceros.
- Modo de prueba. –Acepta acciones de lectura y escritura de terceros siempre y cuando se tenga datos de referencia de la base de datos.



Figura 23.Reglas de seguridad de Firebase RealTime DataBase

Fuente:(Autores)

Para el proyecto se optó por seleccionar el modo de prueba ya que permitirá la utilización de la base de datos por distintos clientes en diversas aplicaciones.

3.6.2.2.Obtención de clave de acceso

Una vez creado un proyecto es necesario adquirir una clave de acceso la cual permite a distintas plataformas trabajar con los datos almacenados dentro de la base de datos para lo cual se sigue un sencillo procedimiento mostrado en el diagrama a continuación.

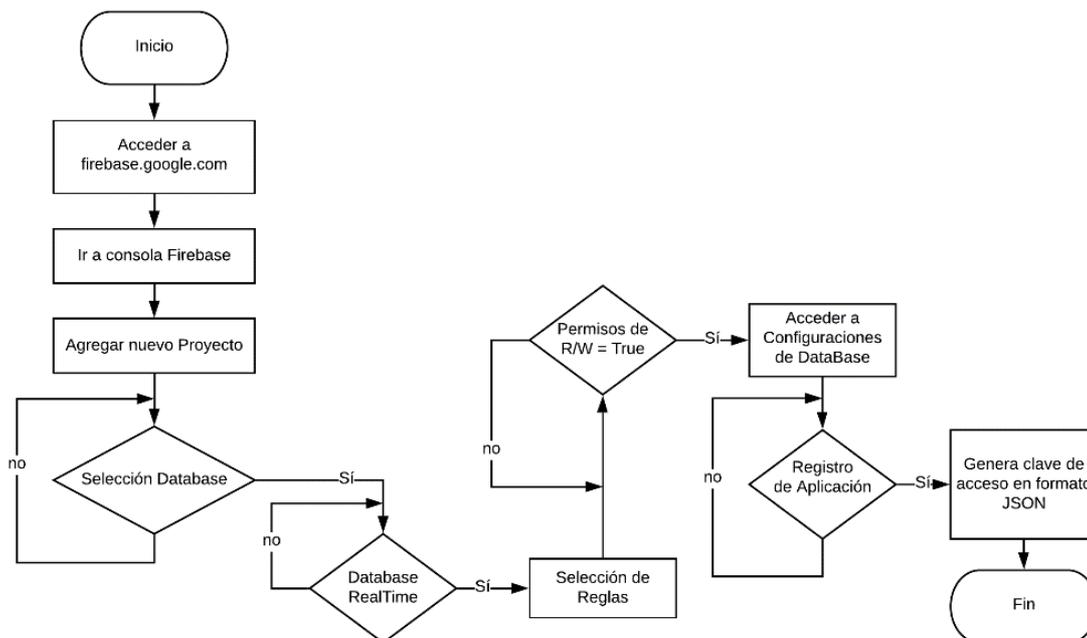


Figura 24.Diagrama general para obtener clave de acceso

Fuente: (Autores)

3.6.2.3.Registro de aplicación de Python para R/W de datos

```
apiKey: "AIzaSyBntY50NhdK8-BYZkGBaBajNB5_vuJHeFM",  
authDomain: "interfacebc1.firebaseio.com",  
databaseURL: "https://interfacebc1.firebaseio.com",  
projectId: "interfacebc1",  
storageBucket: "",  
messagingSenderId: "312648363604",  
appId: "1:312648363604:web:13445bb8ca2bccd0c0c7c1"
```

Figura 25. Configuraciones iniciales de acceso, otorgadas por el registro de la aplicación en Firebase

Fuente: (Autores)

De este modo dentro de las configuraciones generales de la base de datos, se debe primero generar una clave de acceso (figura 25) necesaria dentro de la inicialización de Python, que por medio de su librería “pyrebase” permite autenticar dominios, claves y direcciones para de este modo sincronizar en tiempo real cada evento y clasificarlo por categoría dentro de la base de datos, siguiendo el siguiente diagrama (figura 26).

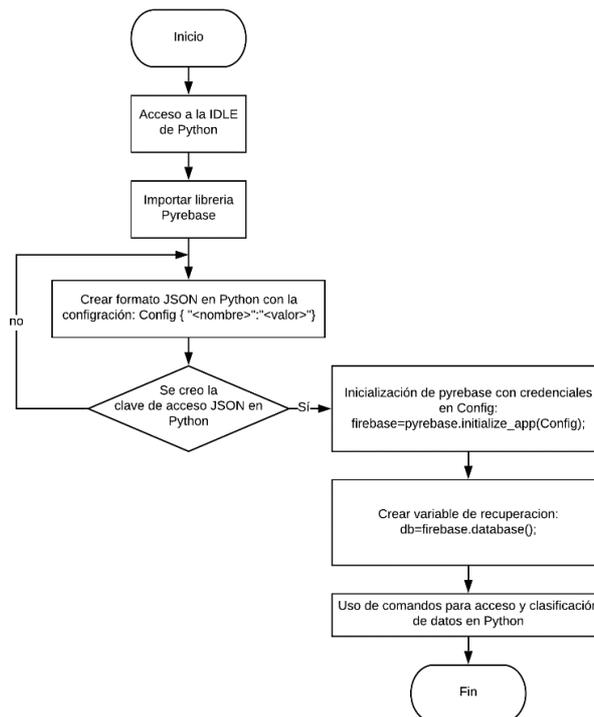


Figura 26. Diagrama de flujo basado en el uso de claves de acceso para conceder a Python permisos de lectura y escritura dentro de la base de datos.

Fuente: (Autores)

3.6.2.4. Clasificación de datos

Existen distintos tipos de datos que deben ir alojados dentro de Firebase Realtime Database, mismos que cumplen con funciones específicas y serán utilizadas por diversas plataformas, debido a esto se han clasificado de la siguiente forma:

- **Datos de asignación a Unity.** – Variables temporales creadas para comprobar conexiones entrantes o salientes de la plataforma Unity a fin de facilitar el proceso de lectura y escritura de cualquier tipo de dato.
- **Datos verificación de conexión.** – Posee información sobre el estado de conexión entre la plataforma robótica y Firebase Realtime Database, mismos que son utilizados por Unity para su visualización.
- **Datos de control.** - Están compuestos por los datos obtenidos del servicio de Cortex a través del IDLE de Python, cuyo fin es el manejo de la plataforma robótica, posee una subdivisión la cual es:
 - Cortex. -Obtenidos de la suscripción COM, tiene la función de controlar el movimiento hacia adelante de la plataforma robótica
 - Giroscopio. - Obtenidos de la suscripción MOT, contiene datos necesarios para el control de giro de la plataforma robótica
- **Datos de Control de Respaldo.** – El sistema de control de respaldo se enfoca específicamente al módulo háptico dando la posibilidad de llegar a ser independiente de canales de RF para el control de la pinza robótica con la finalidad de almacenar los valores generados por la retroalimentación de la pinza, en la base de datos y luego interpretar esta información mediante animaciones dentro de la vista de juego de la plataforma de desarrollo Unity.
- **Datos de sensores.** -Compuestos por los datos recolectados por la plataforma robótica provenientes de los siguientes sensores de proximidad, humedad relativa, luminosidad y temperatura. Dichos datos son utilizados por Unity para su visualización en una plataforma de supervisión que posteriormente será desarrollada.

3.6.2.5.Escritura de datos de control

El proceso de escritura de mensajes de control dentro de la base de datos Firebase RealTime DataBase tiene como formato de escritura archivos el formato JSON, estos parámetros deben contener información tal como, la clase a la que se desea escribir y la información específica que se desea almacenar en esa clase, dicha información es generada luego de detectar cambios de estados, es decir el pasar de un estado de actividad neuronal cero a un estado diferente de cero, o de detectar cambios en los ángulos de rotación.

Tabla 11.Lista de comandos dedicados a Python para el almacenamiento de información en la base de datos

Fuente: (Autores)

Descripción	Línea de comando en Python
Actualización continua de datos dentro de una misma clase	<code>db.update({"Clase_Padre/Clase_Hijo1":dato})</code>
Enlistar datos dentro de la misma clase padre	<code>db.push ({"Clase_Padre/Clase_Hijo2":dato2})</code>

El almacenamiento de datos dados por Python basa su funcionamiento en el registro de la información generando actualizaciones en tiempo real, en base a la detección de comandos mentales, tal como se muestra a continuación en la figura 27.

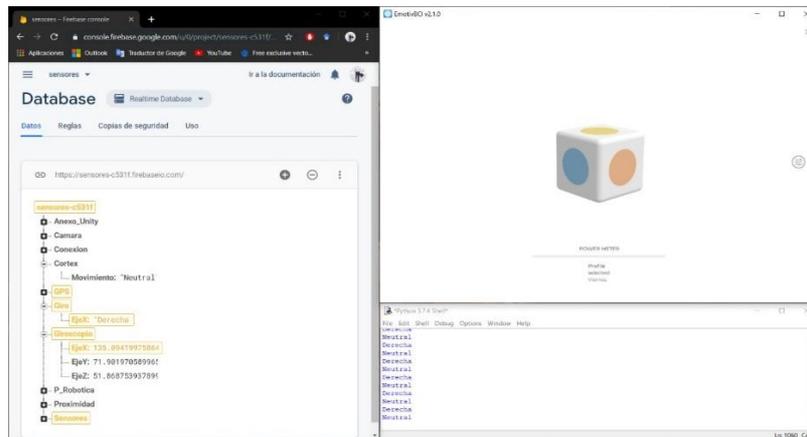


Figura 27.Almacenamiento de datos procesados en tiempo real en el Database, comando neutral y derecha

Fuente: (Autores)

3.6.2.6. Lectura de datos de control

El dispositivo IoT para generar movimientos en la plataforma robótica, recupera aquellos datos almacenados en la base de datos a partir de suscripciones COM y MOT datos que son interpretados por el dispositivo NodeMCU para generar movimientos, los cuales son dados a partir de las siguientes tablas:

Tabla 12. Parámetros de comando avanzar

Fuente: (Autores)

Avanzar			
Tipo de Suscripción	Mensaje	Acción	Giro
COM	Push	Actuador 1, Actuador 2	Horario

De forma similar para el movimiento de rotación izquierda, derecha de los actuadores se utilizan los movimientos de flexión de cabeza producidos al rotar la barbilla de izquierda a derecha, en este caso, para determinar dicho movimiento su funcionamiento se basa en la detección de cambio de valores del giroscopio dentro de un determinado rango definido por la siguiente tabla:

Tabla 13. Condiciones para el control de giro de la plataforma robótica

Fuente: (Autores)

Control de Giro				
Tipo de Suscripción	Condición	Mensaje	Acción	Giro
MOT	$\text{Ángulo Euler } X < 30^\circ$	Right	Actuador 1	Horario
			Actuador 2	Antihorario
	$31^\circ < \text{Ángulo Euler } X < 124^\circ$	Origen	Actuador 1	Ninguno
			Actuador 2	
	$\text{Ángulo Euler } X > 125^\circ$	Left	Actuador 1	Antihorario
			Actuador 2	Horario

3.6.2.7. Escritura de datos de sensores

Arduino mediante comandos de almacenamiento para Firebase permite tener permisos de escritura para los datos leídos por los sensores en cada una de las categorías (Anexo 6).

3.6.2.8. Lectura de datos de sensores

El proceso de lectura de datos de tiene como finalidad dar al usuario una experiencia visual que le permita entender lo que está pasando en ese momento a la plataforma robótica, recuperando de forma inmediata.

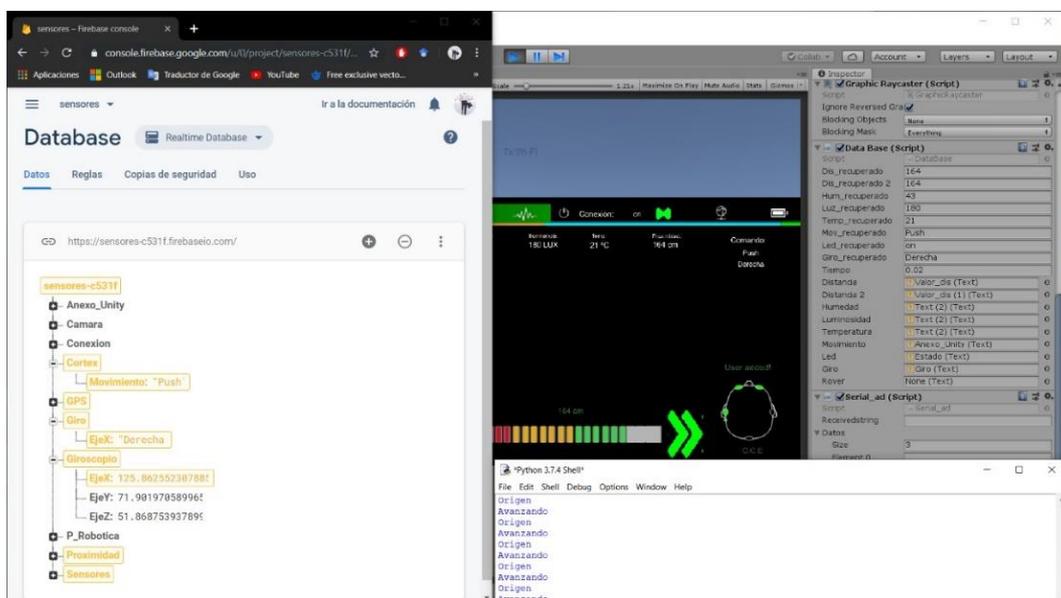


Figura 28. Recuperación en tiempo real de datos almacenados en la Database desde el panel inspector del motor gráfico Unity

Fuente: (Autores)

3.6.3. PLATAFORMA ROBÓTICA

Se ha optado por construir un diseño híbrido programable encargado brindar una máxima funcionalidad y versatilidad al realizar tareas como interacción y exploración en entornos terrestres, el mismo está estructurado de forma modular, constando de:

- Módulo de sensores y control de movimiento
- Módulo de actuadores

- Módulo háptico
- Módulo de video
- Módulos de alimentación

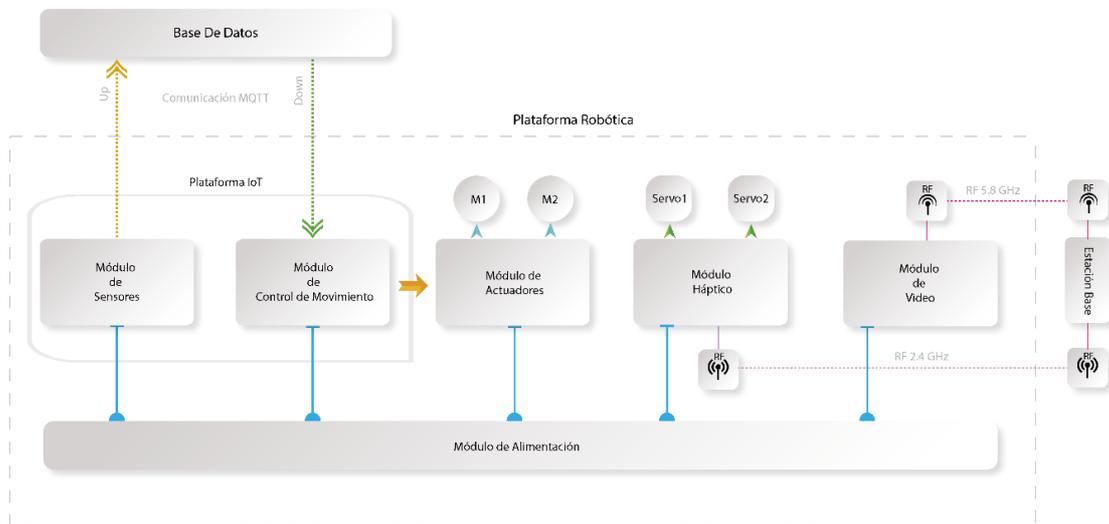


Figura 29. Diagrama modular de la construcción de la plataforma robótica

Fuente: (Autores)

3.6.3.1. Módulo de sensores y control de movimiento

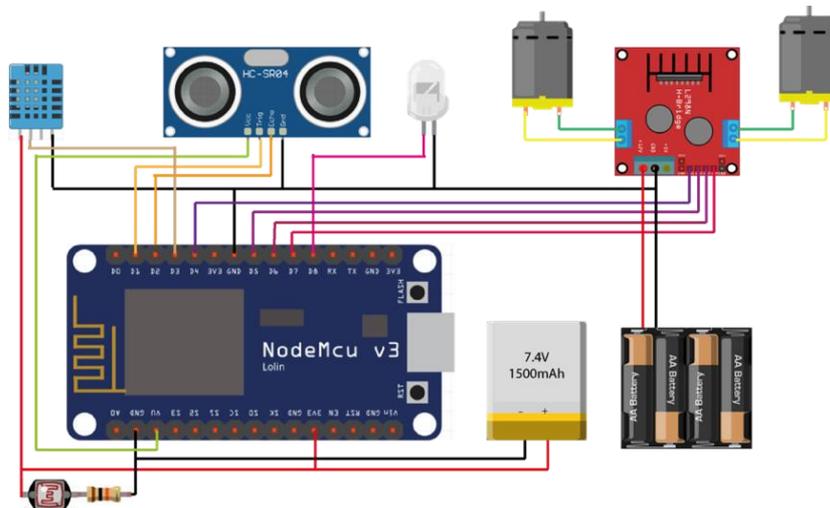


Figura 30. Módulo de sensores y control de movimiento

Fuente: (Autores)

El presente módulo basa su funcionamiento en el uso de la plataforma IoT NodeMCU, dispositivo capaz de realizar la lectura y escritura de datos en la base de datos, Firebase

Realtime Database a través del protocolo MQTT, además utiliza el método de almacenamiento FIFO (First In First Out). Dicho dispositivo consta de dos bloques con características y funciones específicas en la parte de sensores y control de movimiento.

Sensores

El NodeMCU se encarga de realizar la lectura de cada uno de los sensores aplicados haciendo uso de sus entradas analógicas y digitales. Además, permite almacenar la información recogida en Firebase Realtime Database en la categoría de sensores. Para esto se realiza un procedimiento explicado en el siguiente diagrama de flujo (figura 31).

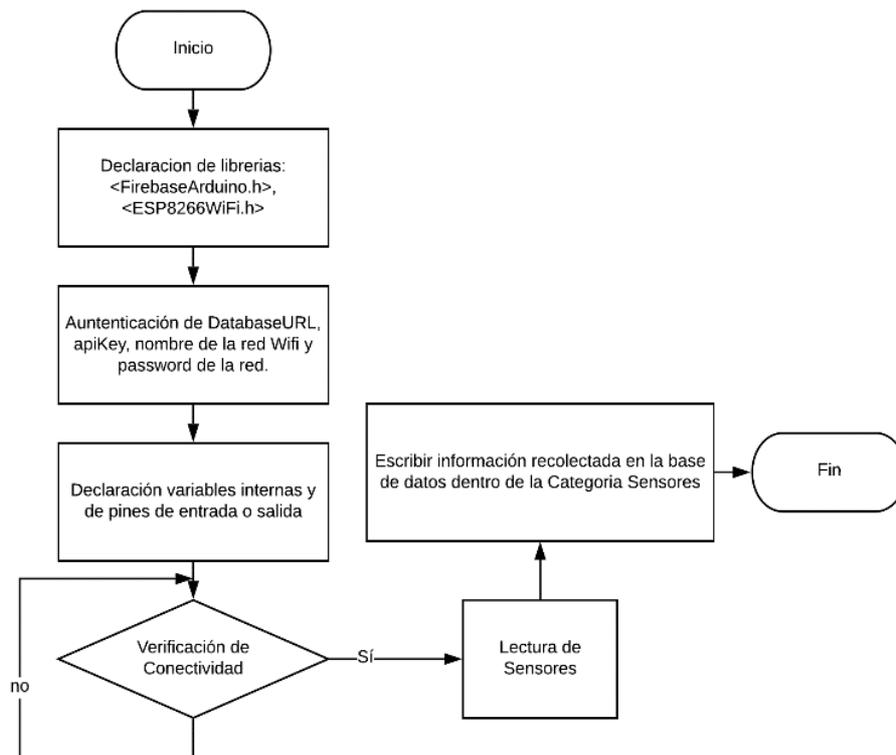


Figura 31. Diagrama de flujo para el almacenamiento de datos de sensores en Firebase Realtime Database

Fuente: (Autores)

Sensores aplicados

Tabla 14. Sensores aplicados

Fuente: (Autores)

Sensores	Tipo de sensor	Pines
DHT11	Humedad y temperatura	Vcc, Gnd, Null, Data
HC - SR04	proximidad	Vcc, Trig, Echo, Data
Luz	Lux	Vcc, gnd

Control de movimiento

Se basa en la lectura de datos de control alojados en la base de datos. Dichos datos son evaluados mediante sentencias condicionales que determinan la activación de los pines de entrada del puente H L298N estableciendo 3 tipos de movimientos posibles en la plataforma robótica, en estos se incluye avanzar, girar a la izquierda o girar a la derecha. (Anexo 7).

3.6.3.2.Módulo de actuadores

El módulo está compuesto de motores DC, tienen como finalidad efectuar el movimiento designado por el módulo de control de movimiento. Posee una fuente de alimentación independiente para evitar interferencias con el resto de los módulos.

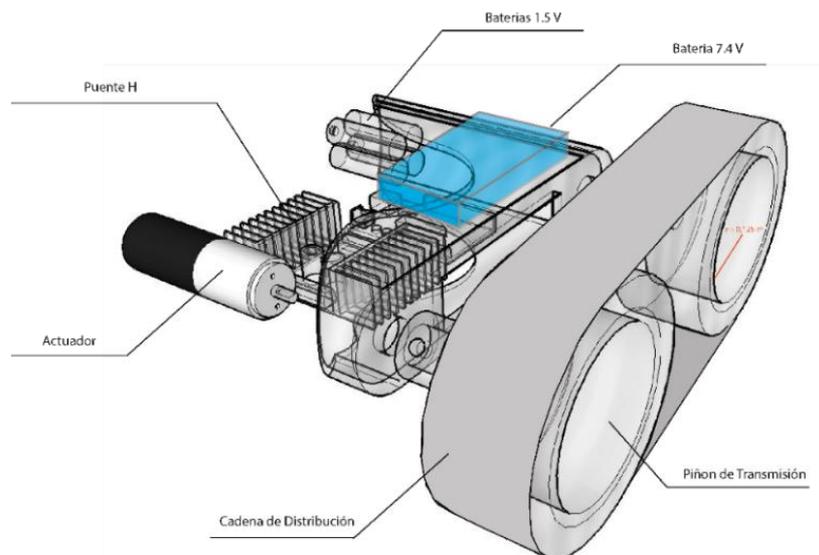


Figura 32. Estructura base del sistema de oruga

Fuente: (Autores)

3.6.3.3. Módulo háptico

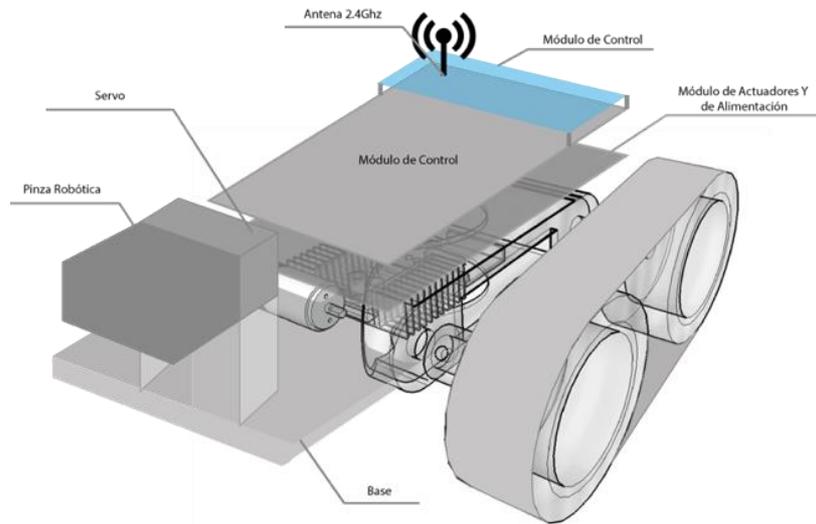


Figura 33. Estructura general del módulo de comunicación RF y pinza robótica.

Fuente: (Autores)

La unidad de manipulación es supervisada por el microcontrolador ATmega168 de Arduino Pro mini, a fin de controlar a distancia una pinza robótica a través de un guante háptico, el cual es capaz de brindar sensaciones de contacto y toma de objetos mediante una comunicación bidireccional entre usuario-robot. A continuación, se detalla la composición de dicho subsistema:

- Pinza robótica
- Guante Háptico
- Sistema de comunicación

3.6.3.3.1. Pinza robótica

La pinza robótica es la encargada interpretar la información generada por el guante háptico para así interactuar con el exterior misma que cuenta con 2 servomotores encargados de controlar la posición (arriba, abajo) y estado (abierto-cerrado). Además, cuenta con un sensor de presión de fuerza colocado en las puntas de la pinza para adquirir un valor resistivo proporcional a la fuerza aplicada sobre la misma al momento de la toma de objetos.

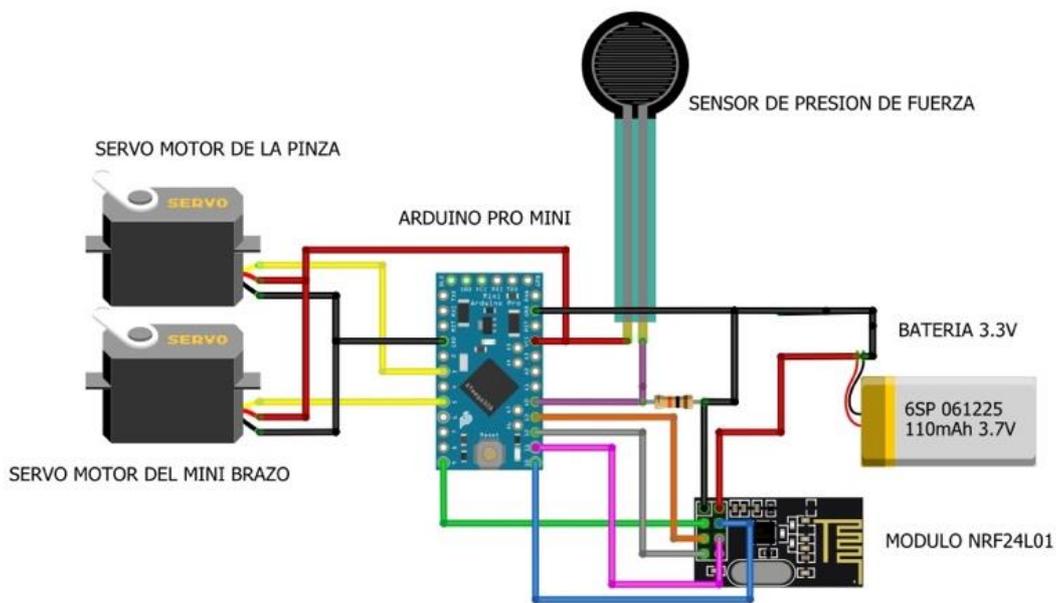


Figura 34. Composición de la pinza robótica

Fuente: (Autores)

Igualmente, para la adquisición de datos se utiliza una tarjeta de Arduino en este caso un modelo Mini mismo que proveerá de una entrada analógica para la lectura del sensor de presión y un convertor analógico-digital (ADC) para obtener el valor digital de dicha lectura. Una vez realizada la conversión analógica-digital se obtiene el dato digital del sensor al momento de ser o no presionado dando un valor en un rango de 0 a 1023. El mismo valor es mapeado a un rango de 0 a 255 para ser utilizado por un PWM que corresponda a la intensidad de vibración a enviar al guante, (Anexo 8).

3.6.3.3.2. Guante háptico

Aspectos por considerar para el desarrollo del guante

Es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos antes de su desarrollo:

- **Número de servomotores en la pinza robótica.** – permiten el correcto funcionamiento al abrir y cerrar la pinza y al elevar o bajar la misma.
- **Realimentación vibratoria.** – Debido a que la pinza integra un sensor de presión de fuerza.

- **Tipo de guante.** - En este caso se realiza un guante flexible para una persona diestra.

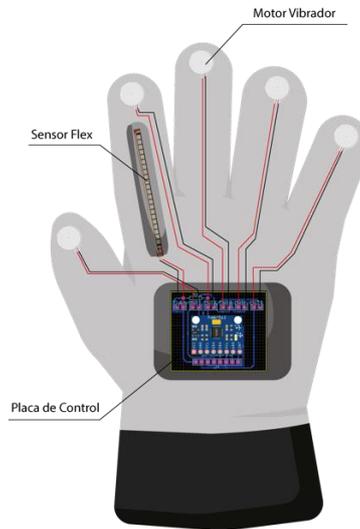


Figura 35. Diagrama de interconexiones del guante háptico

Fuente: (Autores)

El dispositivo tiene la función primordial de captar la posición en que se encuentran elementos de la mano del usuario específicamente la del dedo índice y dorso, para así adquirir datos necesarios para el movimiento de la pinza robótica, además de interpretar los datos enviados por la misma como intensidad de vibración. Para su desarrollo se pasa a utilizar sensores de flexión, un giroscopio, motores vibradores, un módulo nrf24l01 y una tarjeta para adquisición de datos.

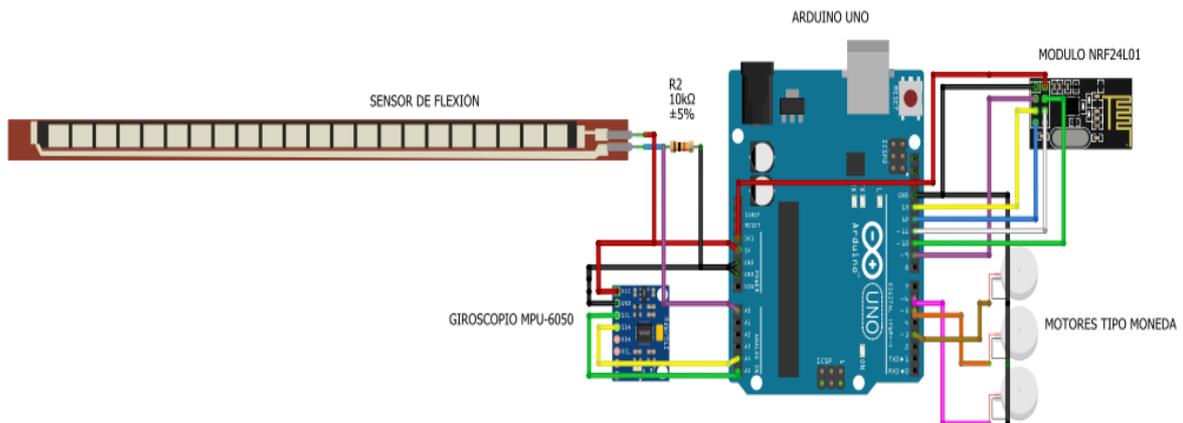


Figura 36. Composición del guante háptico propuesto

Fuente: (Autores)

Se selecciona el sensor de flexión (sensor Flex) ya que se pretende aprovechar los valores resistivos generados al doblar el mismo para abrir y cerrar la pinza robótica, dicho sensor será colocado únicamente en el dedo índice del guante. Para la adquisición de datos en este caso se utiliza un Arduino UNO mismo que proveerá de una entrada analógica para la lectura del sensor de flexión y un conversor analógico-digital (ADC) para obtener valores digitales de dicha lectura (Anexo 9).

El rango seleccionado en este caso es el de 773 a 865, dichos valores son mapeados a valores entre 85 a 176 en el software de Arduino para ser utilizado como ángulos por el servomotor encargado de abrir y cerrar la pinza, mismos que serán almacenados en una variable para su futuro envío a la pinza robótica. En el caso de elevar y bajar la pinza se utiliza un giroscopio MPU-6050, mismo que será colocado en el torso de la mano. El giroscopio otorga valores de aceleración en los 3 ejes (x, y, z) los cuales permiten el cálculo de los ángulos de balanceo(Roll) y cabeceo(Pitch) mediante la aplicación de las siguientes fórmulas:

$$\theta = \arctan\left(\frac{Ax}{\sqrt{Ay^2 + Az^2}}\right)$$

Ecuación 1. Ecuación ángulo de cabeceo (Pitch)

$$\theta = \arctan\left(\frac{Ax}{\sqrt{Ay^2 + Az^2}}\right)$$

Ecuación 2. Ecuación ángulo de balanceo (Roll)

Las operaciones necesarias son realizadas en el programa de Arduino dando como resultado los ángulos anteriormente mencionados, mismos que dependen de la posición que tome el torso de la mano es decir si giro hacia adelante atrás, izquierda, derecha (Tabla 15).

Tabla 15. Ángulos de balanceo y cabeceo según posición del giroscopio

Fuente: (Autores)

	Posición del torso de la mano	Rango
Ángulo de cabeceo	Izquierda-derecha	90,-90
Ángulo de balanceo	Arriba-abajo	-90,90

Una vez obtenido los ángulos de balanceo y cabeceo se los mapea a valores comprendidos en el rango 155,120 los cuales serán utilizados por el segundo servomotor que sirve para subir y bajar la pinza. Los mismos valores se almacenan en una variable para su próximo envío a la pinza robótica (Anexo 10).

3.6.3.3.3. Sistemas comunicación RF

Una vez realizada la adquisición de datos por ambas partes (guante háptico – pinza robótica) se produce la comunicación entre los mismos. Dicha comunicación es de tipo half-dúplex permitiendo así enviar los datos del guante hacia la pinza robótica y viceversa. Para este proceso se han seleccionado los módulos transceptores NRF24L01 debido a su bajo costo, alcance y consumo de energía, además de utilizar el protocolo Enhanced ShockBust que ofrece un intercambio de paquetes seguro.

Configuración de módulos transceptores NRF24I01 en Arduino

La configuración de los módulos transceptores NRF24I01 se realiza totalmente vía código (Anexo 11) para esto inicialmente deben incluirse las siguientes librerías:

- SPI.h exclusivamente para realizar la comunicación del módulo con Arduino vía SPI.
- RF24. h y nRF24L01.h sirven para la creación de canales de comunicación, configurar los pines para la comunicación SPI y parámetros de transmisión y recepción de datos.

De este modo el módulo háptico queda configurado de la siguiente manera:

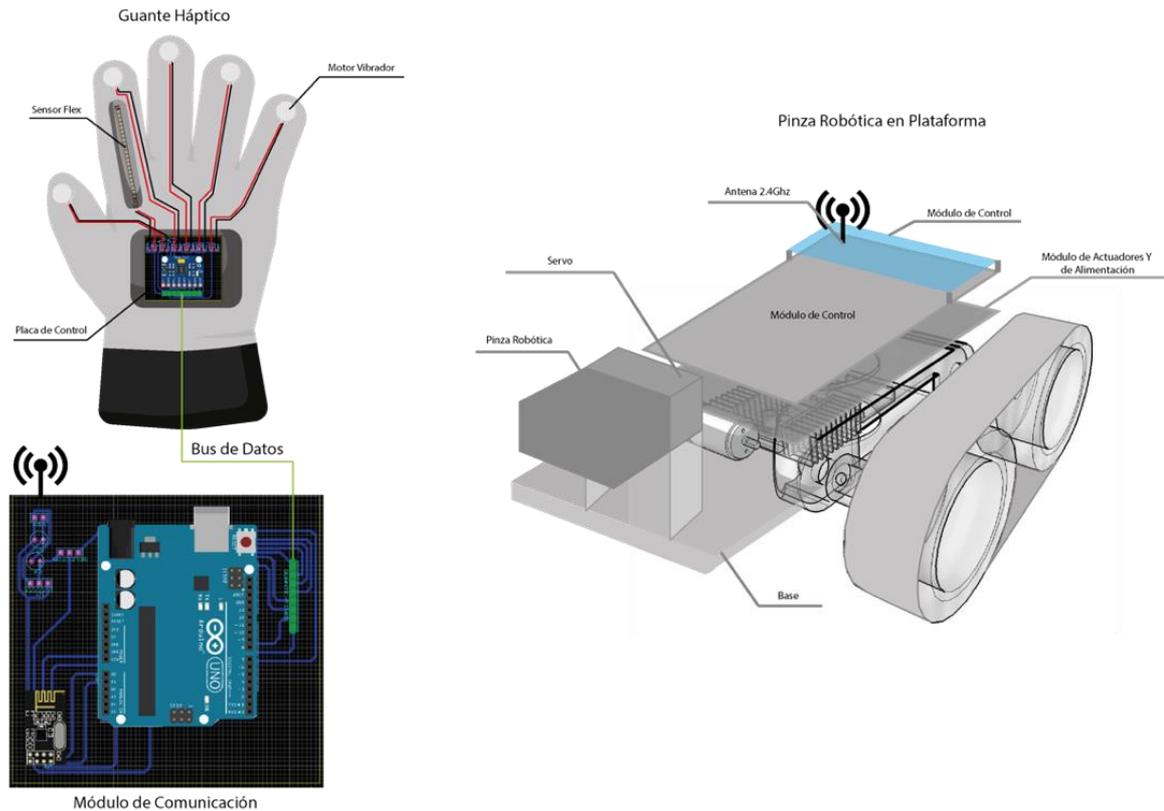


Figura 37. Diagrama general del módulo háptico
Fuente: (Autores)

3.6.3.4. Módulo de video

Formado por un transmisor de video, cuya banda de operación es de 5.8Ghz, obtiene una calidad de video de 720pp a través de una cámara fpv encargada de captar imagen del entorno de forma adecuada gracias al uso de servomotores que ayuda al movimiento de esta a fin de realizar un reconocimiento del lugar sin tener la necesidad de mover la plataforma robótica.

3.6.3.5. Módulos de alimentación

Está formado por dos fuentes de alimentación encargadas de proveer energía al módulo de sensores y control de movimiento, módulo háptico y al módulo de video. Además, cada una cuenta con un sistema de regulación de voltaje de 5 voltios necesarios para el funcionamiento de los elementos empleados .

3.6.4. INTERFAZ DE USUARIO

Para el desarrollo de la interfaz de usuario se hace uso del motor gráfico 3D de Unity (figura 39), junto con un diagrama de bloques (figura 38) el cual especifica algoritmos (figura 40) y pasos realizados para la su elaboración (Anexo 12).

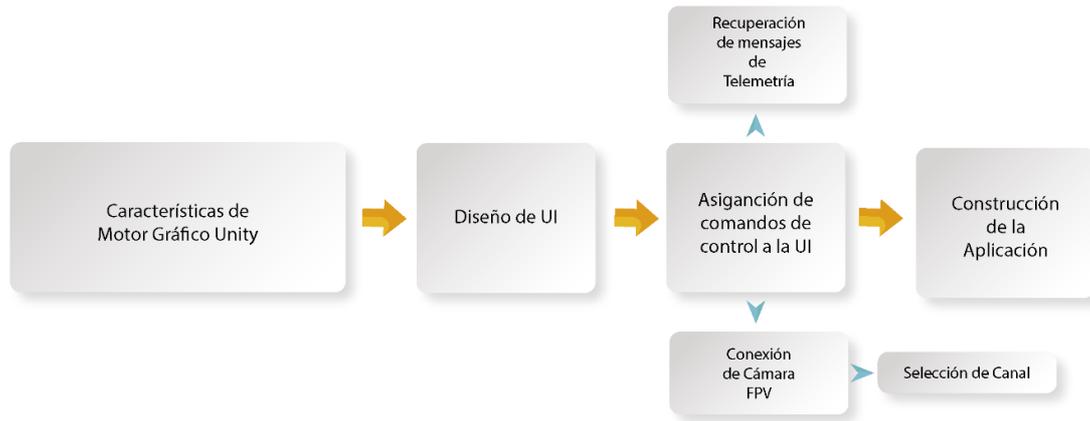


Figura 38. Diagrama de bloques para el desarrollo de la interfaz de usuario en el motor gráfico Unity

Fuente: (Autores)

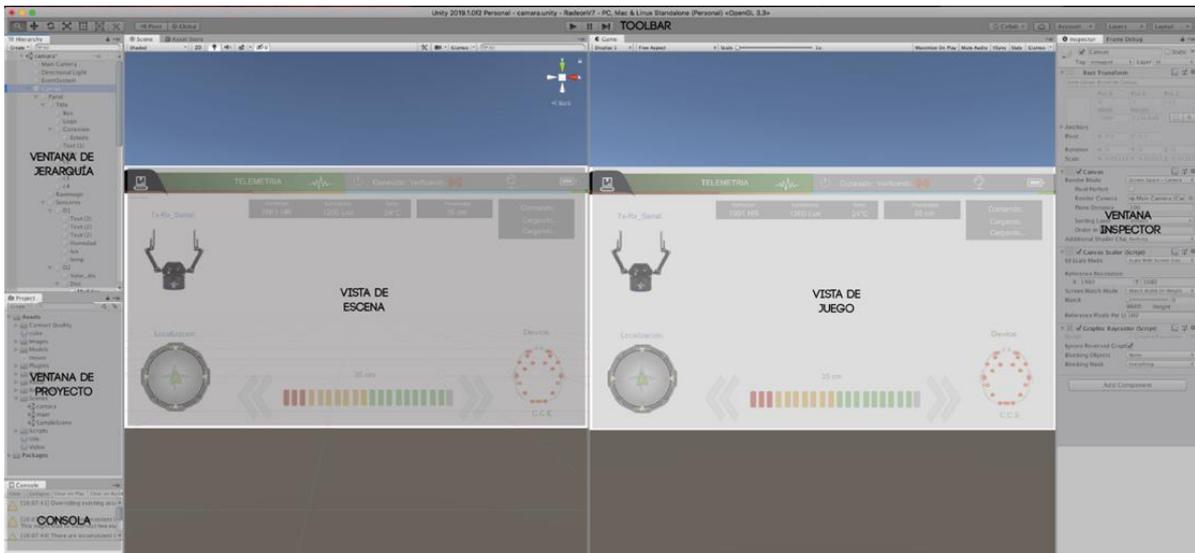


Figura 39. Interfaz inicial de Unity

Fuente: (Autores)

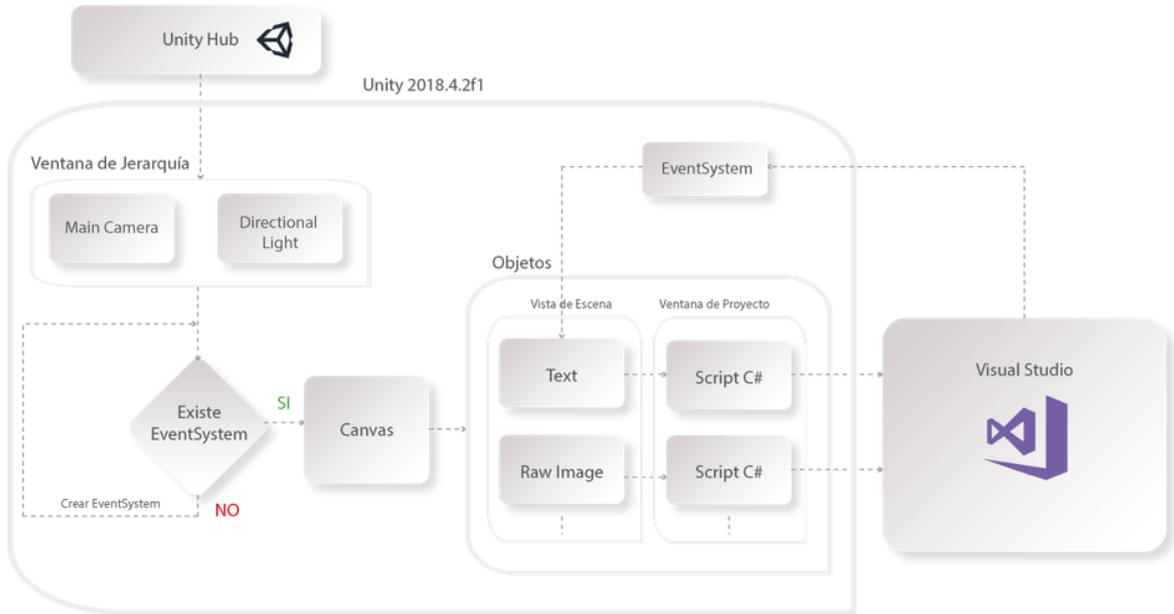


Figura 40. Diagrama general para el control de objetos de Unity a través de scripts C# en Visual Studio 2017

Fuente: (Autores)

Secuencia que permite visualizar y verificar variable dadas por la base de datos, así como información de video y datos de telemetría, tal como se muestra en la figura 41.

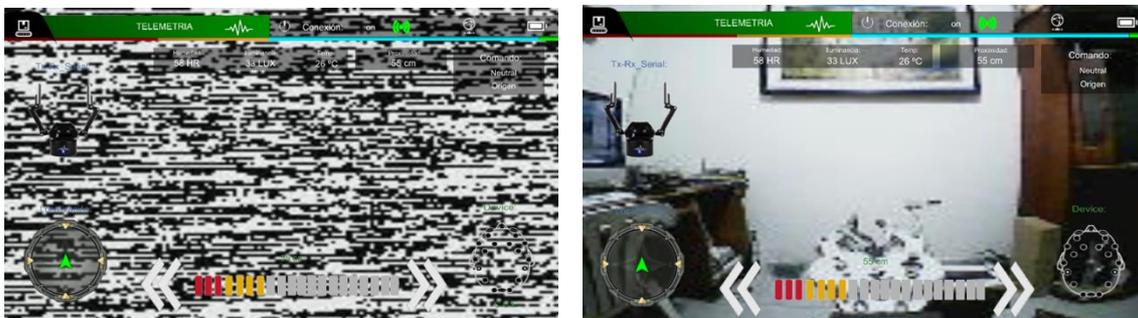


Figura 41. Interfaz de usuario dada por el motor gráfico Unity 3D

Fuente: (Autores)

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para determinar el grado de cumplimiento de los objetivos propuestos en el proyecto de investigación, los resultados se han analizado por medio de encuestas, tabulaciones, gráficas y una prueba de usabilidad general, la cual a su vez permite obtener información acerca el grado de aceptabilidad, eficiencia y dificultades encontradas mientras se llevaba a cabo las pruebas.

4.1. Plataforma robótica

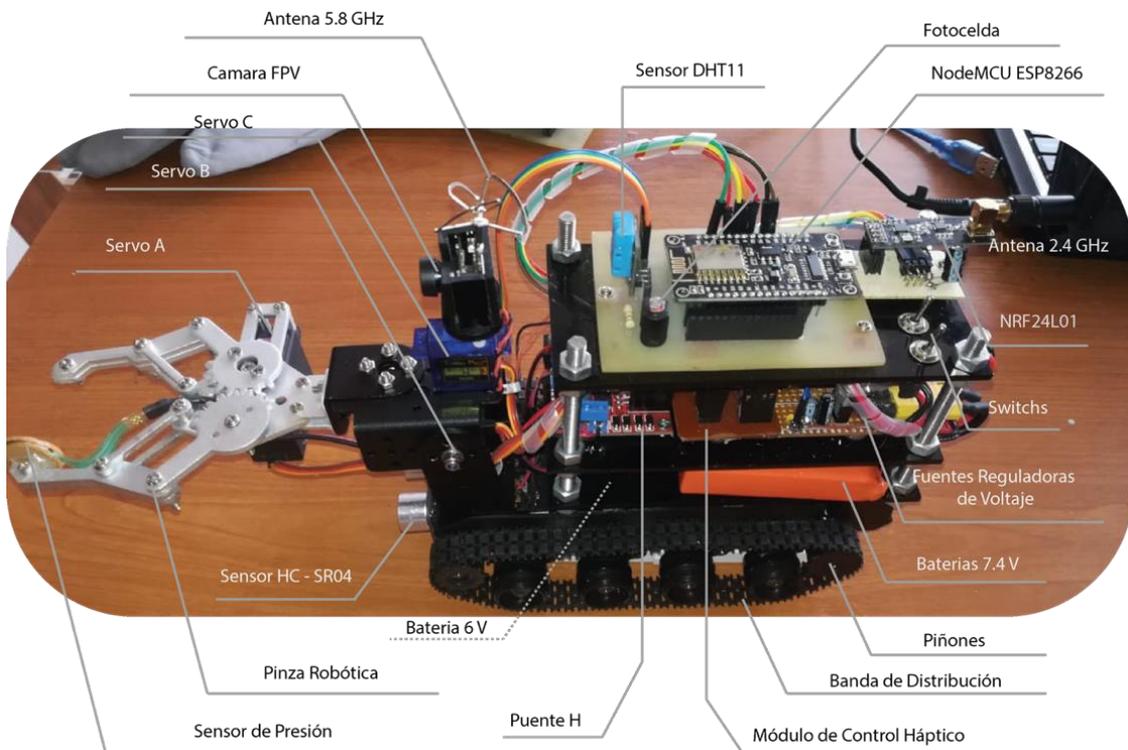


Figura 42. Estructura modular completa en plataforma robótica

Fuente: (Autores)

De este modo se ejecutaron varios experimentos enfocados al análisis por etapa de comandos y componentes desarrollados en cada módulo. Se analizó en primer lugar el canal de comunicación de video en base a valores de latencia dados por la banda y frecuencias operación, así como pruebas de locomoción de la plataforma robótica con una prueba simple, trasladarse de un punto A a un punto B.

4.1.1. Delimitaciones de la plataforma robótica

Tabla 16. Delimitaciones de la Plataforma Robótica

Fuente:(Autores)

	Valor	Unidades de medida	Observaciones	Instrumento de medición
Características generales				
Peso total	1972.92	gramos		Balanza de precisión
Velocidad lineal máxima	0.39	metros/seg	Con el peso total de la plataforma robótica	Tacómetro
Velocidad angular máxima	2445	Rad/seg	Motores DC	
RPM	389.2	rpm	Transmisión de orugas	
Pinza Robótica				
Presión de pinza	5.29	Newton		Medidor de Presión
Peso máximo de objeto	0.55	Kilogramos		
Canal de comunicación 1				
Tiempo de conmutación IoT - RF	3	segundos		Cronómetro
Potencia de antena RF	-18	dbm	Potencia mínima/ distancia máxima 300.42m	Google Maps
	-12		Potencia baja/ distancia máxima 335.45m	
	-6		Potencia alta/ distancia máxima 398.12m	
	0		Potencia máxima/ distancia máxima 420.18m	
Frecuencia de operación	2.51	GHz	Valor configurado	
Canal de comunicación 2				
Tiempo de conmutación RF - IoT	3	segundos		Cronómetro
Frecuencia de operación	2.4	GHz	Datasheet	

Alcance máximo wifi	12	metros	Un único modem, tipo Cisco. Mayor alcance con un conjunto de red de acceso	Flexómetro
Canal de comunicación 3				
Frecuencia de operación	5.8	GHz	Datasheet	
Banda de operación	A,b,E,F,r	5658-5917MHz		
Distancia máxima	300	metros	No configurable (Predeterminado)	Google Maps
Giro máximo de reconocimiento	180	Grados	Ángulo de giro del servo	
Rango de visión	120		Datasheet	
Rango de visión máxima	270		Con ángulo de giro del servo	

4.1.2. Pruebas de canales de comunicación

Uno de los parámetros esenciales en el desarrollo de la interfaz de usuario, son los tiempos de latencia generados por la comunicación entre dispositivos, tal como es el caso de la transmisión y recepción de video los cuales muestran resultados similares y casi despreciables en cada uno de los canales, tal como lo detalla la tabla a continuación:

Tabla 17. Latencia generada por canal

Fuente: (Autores)

Banda	Canal de comunicación	Frecuencia (MHz)	Tiempo real medido min:seg:ms	Tiempo en video min:seg:ms	Latencia (ms)
A	1	5865	00:10:45	00:10:38	70
	2	5845	00:16:76	00:16:70	60
	3	5825	00:20:47	00:20:39	80
	4	5805	00:21:12	00:21:03	90
	5	5785	00:48:55	00:48:42	130
	6	5765	00:10:18	00:10:11	70
	7	5745	00:16:14	00:16:07	70
	8	5725	00:26:34	00:26:27	70
b	1	5733	00:40:91	00:40:78	130

	2	5752	00:18:55	00:18:48	70
	3	5771	00:40:44	00:40:36	80
	4	5790	00:31:13	00:30:05	80
	5	5809	00:58:33	00:58:23	100
	6	5828	00:11:19	00:11:11	80
	7	5847	00:18:14	00:18:05	90
	8	5866	00:28:47	00:28:39	80
E	1	5705	00:20:18	00:20:09	90
	2	5685	00:45:76	00:45:69	70
	3	5665	00:20:13	00:20:07	60
	4	5665	00:12:21	00:12:14	70
	5	5885	00:48:32	00:48:21	110
	6	5905	00:18:18	00:18:09	90
	7	5905	00:45:14	00:45:05	90
	8	5905	00:41:78	00:41:68	100
F	1	5740	00:52:30	00:52:20	110
	2	5760	00:33:18	00:33:05	130
	3	5780	00:51:90	00:51:75	150
	4	5800	00:18:15	00:18:06	90
	5	5820	00:12:11	00:12:01	100
	6	5840	00:45:78	00:45:71	70
	7	5860	00:17:20	00:17:12	80
	8	5880	00:08:26	00:08:18	80
r	1	5658	00:30:30	00:30:23	70
	2	5695	00:45:18	00:45:09	90
	3	5732	00:50:14	00:50:06	80
	4	5769	01:55:85	01:55:75	100
	5	5806	00:23:23	00:23:13	100
	6	5843	00:15:20	00:15:13	70
	7	5880	00:17:80	00:17:73	70
	8	5917	00:56:45	00:56:38	70



Figura 43. Método de medición de latencia para canal de video

Fuente: (Autores)

Seleccionando por el método de observación directa (figura 43), el canal de menor latencia en *ms*, canal 2, frecuencia 5845 MHz, Banda A, como canal de comunicación entre el motor gráfico Unity y la cámara FPV.

Otro de los parámetros a considerar en el desarrollo de los canales de comunicación es la distancia máxima de alcance con cada una de las potencias, mismas que a su vez generaron los resultados dados por la (tabla 18) y que fueron comprobadas por observación directa por medio de la (figura 44) :



Figura 44. Metodología aplicada para medir la distancia máxima de operación

Fuente: (Autores)

Tabla 18. Distancia máxima de transmisión según su potencia

Fuente: (Autores)

Módulos RF			
Frecuencia de operación (Ghz)	Potencia de antena RF (dbm)	Descripción	Distancia (m)
2.51	-18	Potencia mínima	300.42
	-12	Potencia baja	335.45
	-6	Potencia alta	398.12
	0	Potencia máxima	420.18
Módulo de video			
5.8	23.01	Potencia no configurable	300

De la misma forma se analizó el tiempo de respuesta que tuvo la conmutación de canales en diferentes entornos (Anexo 13) tal como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Tiempo de respuesta en la conmutación de canales de comunicación

Fuente: (Autores)

Entorno	Canal Inicial	Canal Conmutado	Tiempo de respuesta (seg)
Parque	MQTT 2.4GHz	RF 2.51GHz	3
Calle			4
Lote baldío			3
Parque	RF 2.51GHz	MQTT 2.4GHz	4
Calle			4
Lote baldío			5

4.1.3. Pruebas de locomoción de la plataforma robótica

La prueba de locomoción tuvo como evaluadores a 10 participantes, cuya finalidad consistía en trasladar la plataforma robótica de un punto específico a otro por medio de la interfaz de usuario y el sistema de control mental empleado, a fin de determinar el tiempo de ejecución de toda la tarea.



Figura 45. Prueba de locomoción de la plataforma robótica

Fuente: (Autores)

Los 10 participantes expuestos a la prueba cumplieron exitosamente el objetivo de esta, sin embargo, los tiempos de ejecución de la tarea de traslación varían significativamente, tal como se muestra en la figura 46:

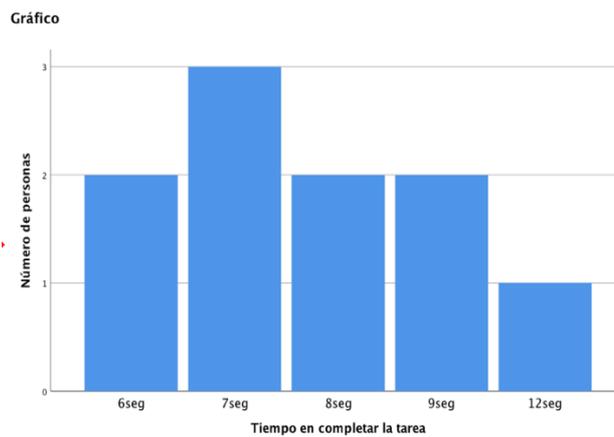


Figura 46. Tiempo de ejecución de la tarea de traslación

Fuente: (Autores utilizando el software estadístico IBM SPSS)

Las personas que cumplieron la tarea en tiempos muy cortos tuvieron un tiempo de entre 6 y 7 segundos en trasladarse una distancia de 60 cm y rotar en este último punto 180 grados, un promedio de 4 personas realizaron la misma tarea en un tiempo de 8 a 9 segundos y únicamente una persona registro un tiempo de 12 segundos en cumplir dicha acción. Por lo tanto, se puede inferir que el tiempo mínimo en el que el comando mental se detecta es de 2 segundos y el tiempo máximo de detección es de 8 segundos.

Tabla 20. Tabla cruzada de datos de tiempo, distancia y rango de ángulo de giro

Fuente: (Autores utilizando el software estadístico IBM SPSS)

		Distancia recorrida/Rango de ángulo de Giro				Total
		65cm/giro entre 90° & 180°	70cm/giro entre 90° & 180°	55cm/giro menor a 90°	68cm/giro entre 90° & 180°	
Tiempo en cumplir la tarea	6seg	1	1	0	0	2
	7seg	1	1	1	0	3
	8seg	0	0	1	1	2
	9seg	0	2	0	0	2
	12seg	0	0	0	1	1
Total		2	4	2	2	10

El principal inconveniente presentado en esta prueba se debe a dos factores, la poca familiarización con el dispositivo EEG y el trabajar bajo un mismo algoritmo de entrenamiento, recalando que para generar una lectura electroencefalografía general se utilizó como base únicamente 4 preentrenamientos propuestos por los programadores.

4.2. Dispositivo háptico



Figura 47. Estructura del módulo de comunicación RF y guante háptico

Fuente: (Autores)

Para determinar el correcto funcionamiento y eficiencia del dispositivo háptico se realizaron distintas pruebas detalladas a continuación.

4.2.1. Evaluación de movimiento y detección de intensidad de vibración

Se ejecutaron dos pruebas la ayuda de 10 individuos participantes. La primera prueba consistió en manipular el guante háptico de modo que la pinza robótica ejecute 4 movimientos como bajar, subir, cerrar y abrir, cada uno fue realizado 5 veces por cada individuo.



Figura 48. Movimiento de la pinza robótica hacia abajo

Fuente: (Autores)

Los resultados de esta prueba se observan en la siguiente tabla:

Tabla 21. Prueba de eficiencia del control de la pinza robótica mediante el guante háptico

Fuente: (Autores)

Acciones	Bajar	Subir	Cerrar	Abrir	Movimientos acertados	Movimientos fallidos	Eficiencia
Individuo 1	4/5	5/5	3/5	5/5	17	3	85 %
Individuo 2	5/5	4/5	4/5	5/5	18	2	90%
Individuo 3	4/5	5/5	3/5	4/5	16	4	80 %
Individuo 4	4/5	5/5	4/5	4/5	17	3	85 %
Individuo 5	4/5	5/5	3/5	5/5	17	3	85 %
Individuo 6	5/5	5/5	4/5	5/5	19	1	95 %
Individuo 7	4/5	4/5	3/5	5/5	16	4	80 %
Individuo 8	5/5	4/5	4/5	4/5	17	3	85 %
Individuo 9	5/5	5/5	2/5	4/5	16	4	80 %
Individuo 10	5/5	5/5	2/5	3/5	15	5	75 %

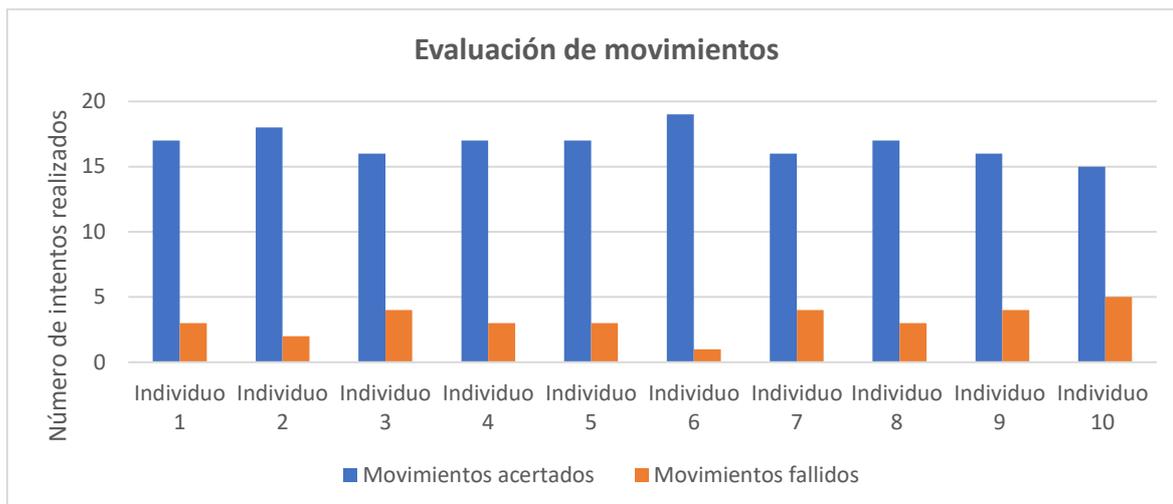


Figura 49. Evaluación de movimientos de la pinza robótica

Fuente: (Autores)

Los resultados obtenidos durante esta prueba dan a entender los movimientos realizados por la pinza robótica mediante el uso de un guante háptico es sumamente eficiente debido a la obtención de 168 movimientos acertados de 200 que representa un 84 % de probabilidad de las acciones realizadas por el guante háptico se ejecutan correctamente en la pinza robótica. Adicionalmente cabe mencionar que a cada usuario le toma tiempo en familiarizarse con el guante háptico y los movimientos que realiza la pinza.

Se realizó una segunda prueba la cual consistió en que cada individuo utilice el guante háptico y experimente todos los niveles de intensidad de vibración posibles, cada uno se presentó de manera aleatoria. Seguido de esto, se le consulta sobre el nivel de intensidad percibido para comprobar si su respuesta es correcta o errónea. Cada individuo recibió 15 estimulaciones vibratorias una a continuación de otra, cabe mencionar que esta prueba se realizó solo con 5 individuos. A continuación, se muestra la tabla de resultados de dicha prueba:

Tabla 22. Aciertos y porcentaje de aciertos acumulados

Fuente: (Autores)

Intentos	Individuo 1		Individuo 2		Individuo 3		Individuo 4		Individuo 5	
	Aciertos acum.	% Acumulado	Aciertos acum.	% Acum.						
1	0	0	1	100	0	0	0	0	1	100

2	1	50	2	100	1	50	0	0	2	100
3	2	66,66	2	66,66	1	33,33	1	33,33	3	100
4	2	50	3	75	2	50	2	50	3	75
5	3	60	4	77,77	2	40	2	40	4	80
6	4	66,66	4	66,66	3	50	3	50	4	66,66
7	5	71,42	5	71,42	4	57,14	4	57,14	5	71,42
8	6	75	6	75	5	62,5	5	62,5	6	75
9	7	77,77	7	77,77	6	66,66	6	66,66	7	77,77
10	8	80	8	80	7	70	7	70	8	80
11	9	81,81	9	81,81	7	63,63	8	72,72	9	81,81
12	9	75	10	83,33	8	66,66	9	75	10	83,33
13	10	76,92	11	84,61	9	69,23	10	76,92	11	84,61
14	11	78,57	12	85,71	10	71,42	11	78,57	12	85,71
15	12	80	13	86,66	11	73,33	12	80	13	86,66
16	13	81,25	14	87,5	12	75	13	81,25	14	87,5
17	14	82,35	15	88,23	13	76,47	14	82,35	15	88,23
18	15	83,33	16	88,88	13	72,22	15	83,33	16	88,88
19	16	84,21	17	89,47	14	73,68	15	78,94	17	89,47
20	17	85	18	90	15	75	16	80	17	85

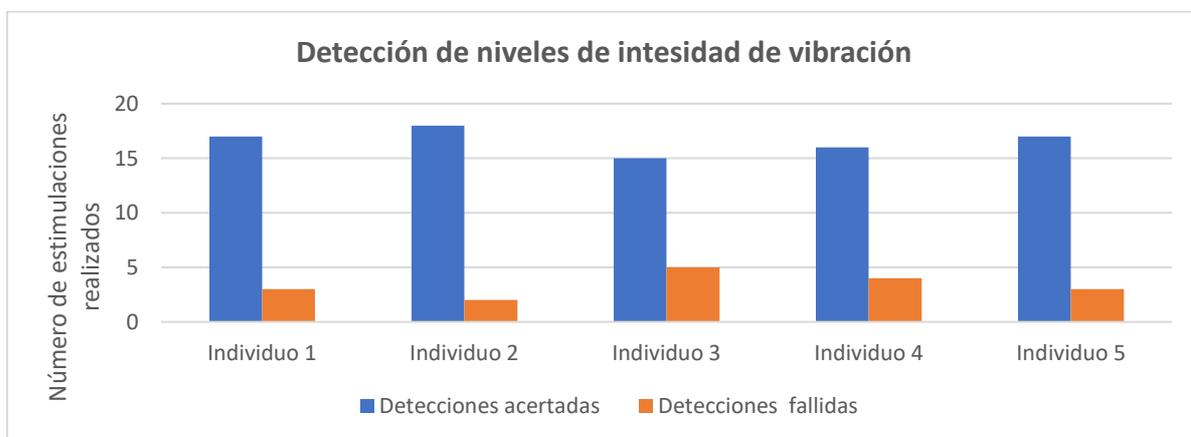


Figura 50. Detección de niveles de intensidad de vibración

Fuente: (Autores)

Los datos arrojados durante la prueba muestran que la totalidad de individuos pudieron detectar cada uno los niveles de vibración proporcionados por el guante háptico, obteniendo un porcentaje acumulado de aciertos mínimo de 75% lo que corresponde a 15 aciertos de 20, cabe recalcar que los errores cometidos en su mayoría fueron causados por distracción de los individuos al momento de realizar las pruebas, lo que provocó una

respuesta incorrecta de su parte. En la figura 51 se puede observar el porcentaje de aciertos acumulados según los números de estimulaciones recibidas.

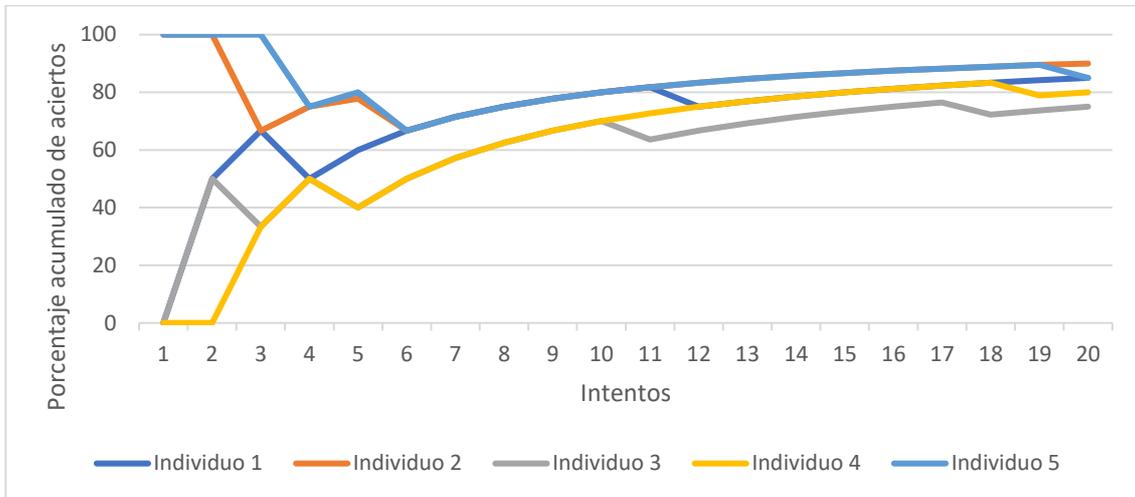


Figura 51. Porcentaje acumulado de aciertos

Fuente: (Autores)

Se observó que los participantes tienen a fallar por lo menos 3 veces entre los primeros 6 intentos, a partir de este se muestra que los aciertos empiezan a ser constantes, lo que significa que el usuario tarda por lo menos 5 intentos en acostumbrarse a las vibraciones prestadas por el guante háptico.

4.2.2. Toma de un objeto

Esta prueba consistió en tomar un objeto con la pinza robótica mediante la manipulación del guante háptico, sentir las distintas intensidades de vibración y medir el tiempo de ejecución de la tarea asignada.

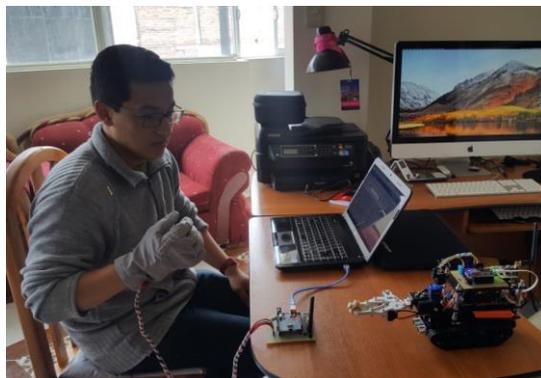


Figura 52. Prueba de toma de objeto con guante háptico

Fuente: (Autores)



Figura 53. Tiempo de la toma de un objeto con la pinza robótica y guante háptico

Fuente: (Autores)

La prueba fue realizada satisfactoriamente salvo en un caso. Se obtuvieron datos que indicaron que los individuos que realizaron la toma de objetos en más tiempo fueron capaces de percibir varios niveles intensidad de vibración, mientras que los individuos que tardaron menos tiempo percibieron solo el nivel máximo de vibración. Todo esto debido a la forma en que realizaron los movimientos con el guante háptico ya que la mayoría realizó movimientos y suaves al tomar el objeto mientras que el que no lo logró realizó movimientos rápidos y bruscos.

4.3. Pruebas de operación del sistema de telepresencia

Para evaluar de forma conjunta el sistema completo de telepresencia, se realizaron 4 pruebas finales con la ayuda de 10 participantes la cual consistió en utilizar el sistema de telepresencia desarrollado y realizar tareas secuenciales. Cada participante tuvo 5 intentos para cumplir cada tarea:

- La primera consistió en la locomoción de la plataforma robótica usando como único medio de visualización la interfaz de usuario.
- La segunda fue tomar un objeto mediante el uso del dispositivo háptico.
- La tercera tarea consistió en rotar 180° a cualquiera de los dos lados disponibles.
- La cuarta tarea se enfocó en regresar al punto de inicio con el objeto recuperado.



Figura 54. Operación de sistema de telepresencia

Fuente:(Autores)

4.3.1. Locomoción inicial

Similar a la prueba de locomoción inicial, el usuario debe trasladarse desde un punto en específico a otro, únicamente con la interfaz de usuario y aplicando el sistema de control mental. Como se puede observar, los resultados mostrados en la tabla 21 reflejan que un total de 4 personas cumplieron con éxitos 5 de 5 tareas asignadas para la acción avanzar dando como resultado una eficiencia del 100%, mientras que 4 personas cumplieron 4 de las 5 tareas asignadas generando un eficiencia del 80%, una única persona cumplió 3 de las 5 tareas similares asignadas a los demás usuarios indicando una eficiencia del 60% y por último únicamente una persona cumplió 2 de las 5 tareas infiriendo en un resultado de un 40% de eficiencia.

Tabla 23. Tabla cruzada de datos de eficiencia, acciones y número de pruebas realizadas

Fuente: (Autores utilizando el software estadístico IBM SPSS)

Numero de Pruebas correctas realizadas		Accion avanzar	Total
5/5	eficiencia 100%	4	4
	Total	4	4
4/5	eficiencia 80%	4	4
	Total	4	4
3/5	eficiencia 60%	1	1
	Total	1	1
2/5	eficiencia 40%	1	1
	Total	1	1
Total	eficiencia 40%	1	1
	60%	1	1
	80%	4	4
	100%	4	4
	Total	10	10

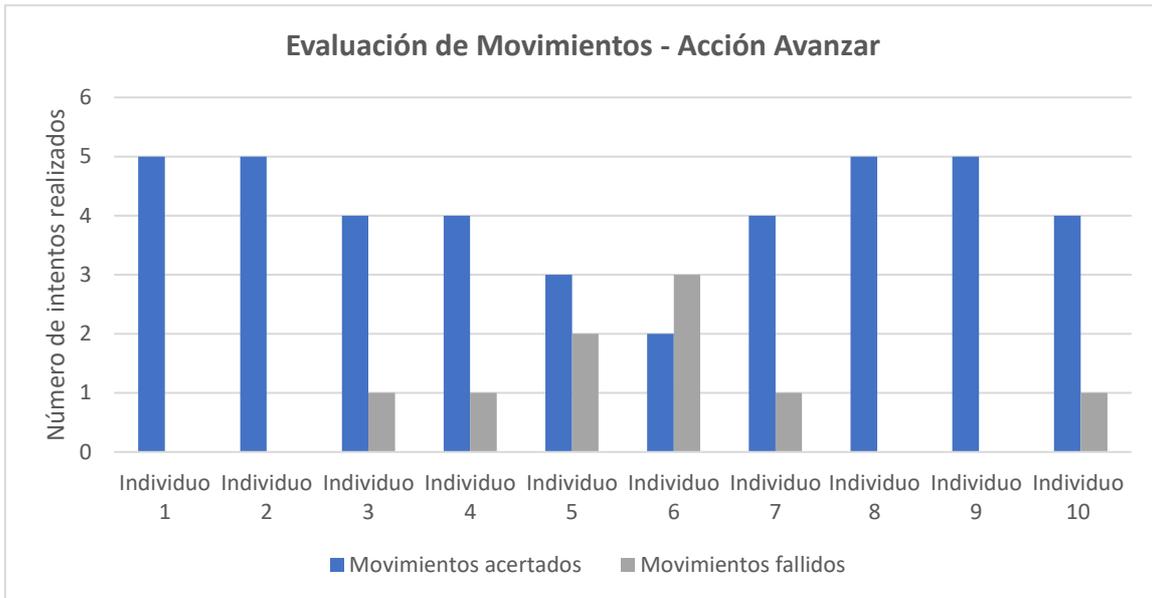


Figura 55..Evaluación de movimientos – Acción avanzar

Fuente:(Autores)

Se considera como número de casos perdidos a aquellas personas que no lograron recorrer la distancia propuesta en ninguno de los 5 casos y como casos validos a aquellas personas que lograron por lo menos una vez cumplir con el objetivo.

4.3.2. Toma del objeto

Cada uno de los usuarios fueron expuestos a 5 eventos cuya finalidad consistía en capturar el objeto, luego de cumplir la tarea anterior.

Tabla 24.Tabla cruzada de datos entre eficiencia y número de pruebas realizadas

Fuente: (Autores utilizando el software estadístico IBM SPSS)

		eficiencia			Total
		60%	80%	100%	
Numero de Pruebas correctas realizadas	5/5	0	0	4	4
	4/5	0	5	0	5
	3/5	1	0	0	1
Total		1	5	4	10

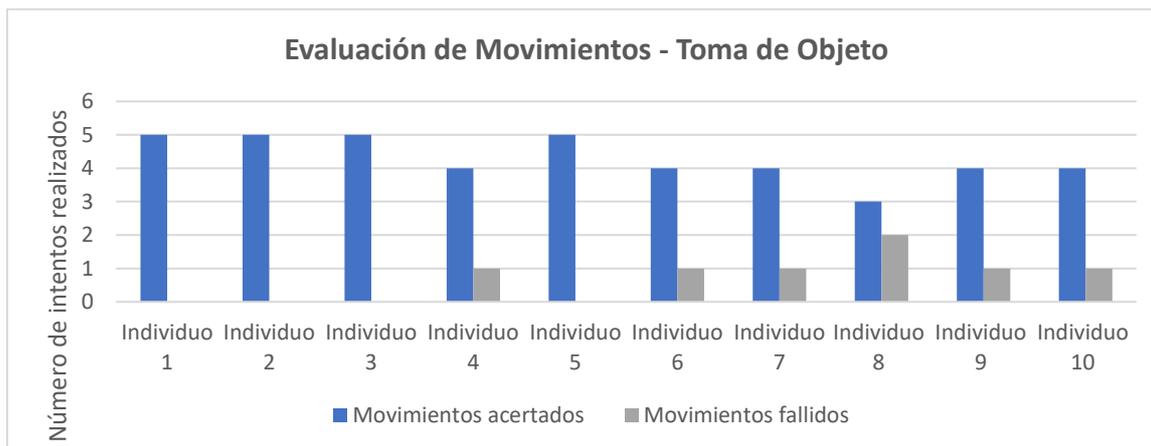


Figura 56. Evaluación de movimientos – Toma de objeto

Fuente: (Autores)

De un total de 5 pruebas realizadas a cada uno de los 10 usuarios, se pudo inferir que 4 personas obtuvieron eficiencias del 100% y un 80% de eficiencia en 6 personas, infiriendo en un resultado promedio de un 90% de eficiencia en tomar el objeto.

4.3.3. Rotación

El proceso de rotación de la plataforma robótica consta de dos posibilidades, una dada de forma horaria y otra forma anti horaria, en el primer caso se puede constatar que, de un total de 10 personas analizadas, 9 de ellas cumplen de manera satisfactoria 5 de las 5 tareas asignadas generando consigo una eficiencia de manejo de un 100 %, mientras que una única persona cumple con 4 de las 5 tareas provocando en si una eficiencia del 80 % y una eficiencia general del 90% en rotar la plataforma robótica .

Tabla 25. Tabla cruzada de datos de eficiencia, acciones y número de pruebas realizadas

Fuente: (Autores utilizando el software estadístico IBM SPSS.)

Numero de Pruebas correctas realizadas			Accion derecha	Total
5/5	eficiencia	100%	9	9
	Total		9	9
4/5	eficiencia	80%	1	1
	Total		1	1
Total	eficiencia	80%	1	1
		100%	9	9
	Total		10	10

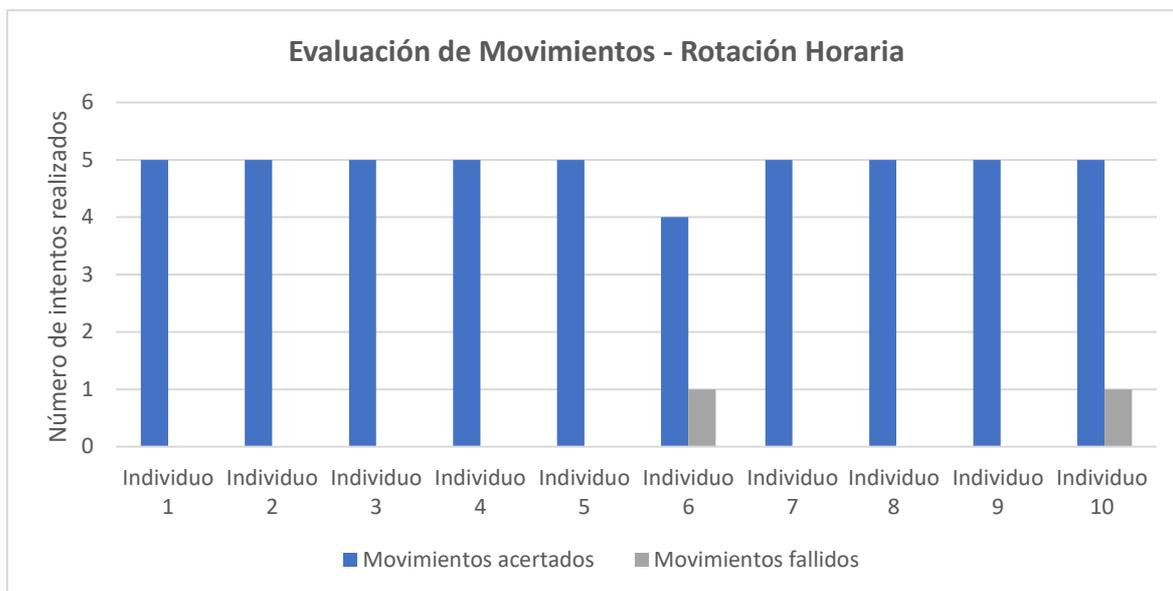


Figura 57. Evaluación de movimientos – Rotación horaria

Fuente: (Autores)

Mientras que para el segundo caso como se puede observar la rotación antihoraria o giro izquierdo de la plataforma robótica consta de una eficiencia de 100 % en 9 personas que realizaron 5 de las 5 tareas propuestas, una eficiencia del 80 % para una única persona que cumplió 4 de las tareas y una eficiencia del 60 % para aquella persona que cumplió 3 de las 5 tareas propuestas por los programadores.

Tabla 26. Tabla cruzada de datos de eficiencia, acciones y número de pruebas realizadas

Fuente: (Autores utilizando el software estadístico IBM SPSS)

Numero de Pruebas correctas realizadas			Accion izquierda	Total
5/5	eficiencia	100%	8	8
	Total		8	8
4/5	eficiencia	80%	1	1
	Total		1	1
3/5	eficiencia	60%	1	1
	Total		1	1
Total	eficiencia	60%	1	1
		80%	1	1
		100%	8	8
	Total		10	10

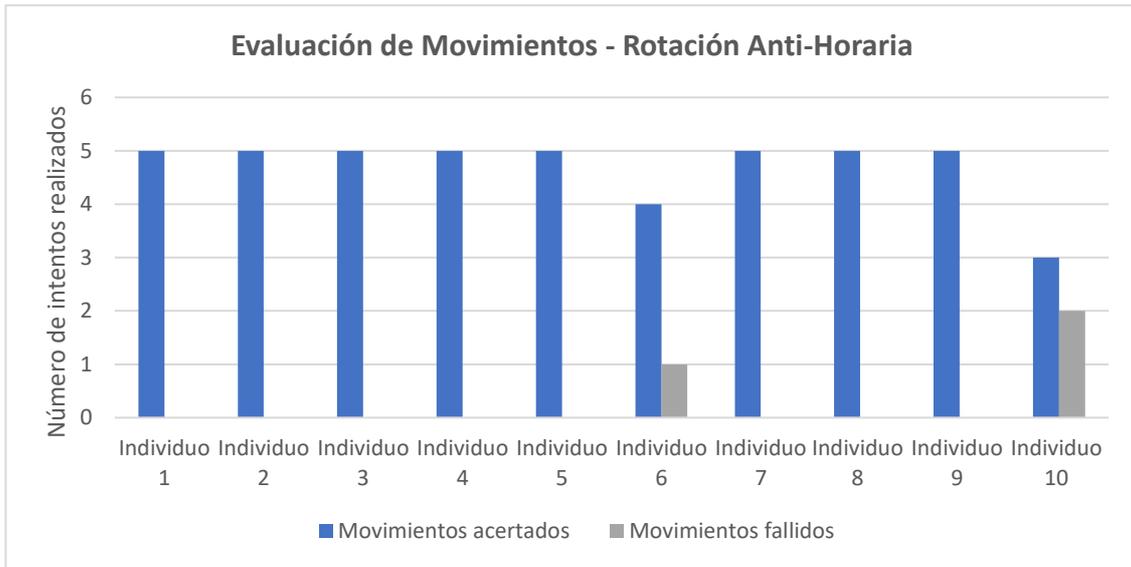


Figura 58. Evaluación de movimientos – Rotación antihoraria

Fuente:(Autores)

4.3.4. Locomoción de retorno

Al generar una acción adicional que provoca en el usuario cierto nivel de presión, se llegó a considerar la posibilidad de soltar el objeto de manera repentina en cualquiera de los dos casos mencionados anteriormente, pero de manera exitosa se observó que del total de 10 personas que tomaron el objeto las 10 personas no soltaron en ningún momento dicho material, generando un valor de tabulación valido del 100%.

Una vez recuperado el objetivo cada usuario debía cumplir la última tarea propuesta, que básicamente consistía en repetir el proceso de la tarea 1 considerando que en este caso existe cierto nivel de dificultad y presión al regresar la plataforma robótica a su punto de partida.

Tabla 27. Tabla cruzada de datos de acción, eficiencia y número de pruebas realizadas

Fuente:(Autores)

Numero de Pruebas correctas realizadas	eficiencia		Total
	80%	100%	
5/5		4	4
	Accion	avanzar	
	Total	4	4
4/5	6		6
	Accion	avanzar	
	Total	6	6
Total	6	4	10
	Accion	avanzar	
	Total	6	10

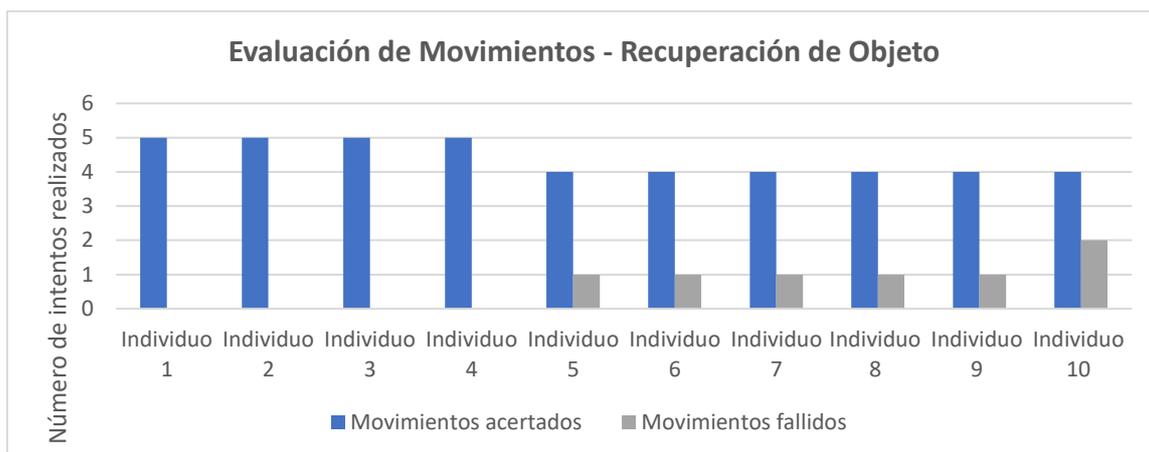


Figura 59. Evaluación de movimiento – Recuperación de objeto

Fuente: (Autores)

Los resultados arrojados indican que el incorporar un nuevo elemento (comando mental) en la escena influyo levemente uno de los comandos más sencillos propuestos, generando una única diferencia en esta última con eficiencias del 80% en 5 personas frente a las 6 analizadas en la tabla 30.

4.4. Análisis general

El presente análisis se basa en realizar una sumatoria de todos los resultados previamente obtenidos por cada usuario y mostrar cuantitativamente el nivel de eficiencia que posee el sistema de telepresencia propuesto al momento de realizar las tareas designadas.

Tabla 28. Tabla de pruebas de eficiencia

Fuente: (Autores)

Sujeto	Comando Avanzar	Comando Girar		Manipulación del objeto	Retorno	Número Total de Comando	Eficiencia (%)
		Horario	Anti-Horario				
1	4/5	5/5	4/5	4/5	4/5	21/25	84
2	4/5	4/5	5/5	4/5	4/5	21/25	84
3	4/5	5/5	5/5	3/5	5/5	22/25	88
4	3/5	5/5	5/5	4/5	5/5	22/25	88
5	4/5	5/5	3/5	5/5	5/5	22/25	88

6	4/5	5/5	5/5	5/5	4/5	23/25	92
7	5/5	5/5	5/5	4/5	4/5	24/25	96
8	5/5	5/5	5/5	4/5	5/5	24/25	96
9	5/5	5/5	5/5	5/5	4/5	24/25	96
10	5/5	5/5	5/5	5/5	4/5	24/25	96
Total:							90.8%

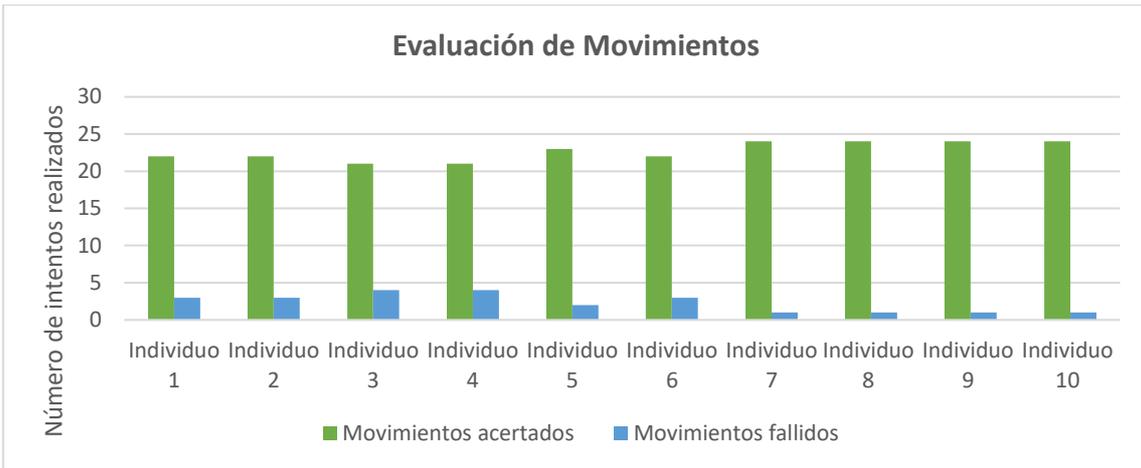


Figura 60. Evaluación general de movimientos obtenidas por la prueba de locomoción

Fuente: (Autores)



Figura 61. Eficiencia de operación del sistema de telepresencia

Fuente: (Autores)

De un total de 25 pruebas realizadas, el sujeto 1 llegó a cumplir exitosamente 22 pruebas, infiriendo en una eficiencia del 88% al momento de ejecutar el conjunto de tareas propuestas, de la misma forma el sujeto 2 mostró una eficiencia similar al observar que

las mismas tareas propuestas lograron obtener un nivel del 88% de éxito y así sucesivamente hasta llegar al usuario 10 que mostro mantener un éxito en las 24 de las 25 tareas, propuestas llegando a mostrar una eficiencia de un 96% para el algoritmo de interpretación, siguiendo el presente gráfico:

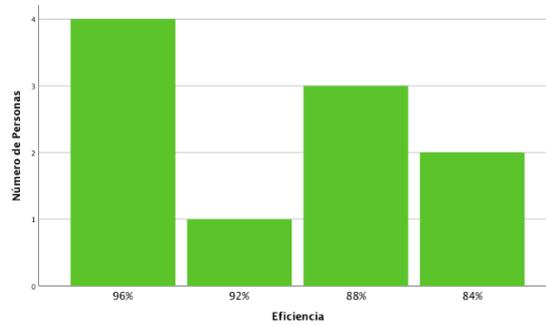


Figura 62. Gráfica de porcentajes de éxito

Fuente: (Autores utilizando el software estadístico IBM SPSS)

Inferiendo de este modo en un resultado aproximado de que, por cada 10 personas sometidas a las pruebas planteados por los programadores, existe una eficiencia del 90.8% al interpretar el conjunto de datos dados por cada usuario.

4.4.1. Análisis de métricas de rendimiento

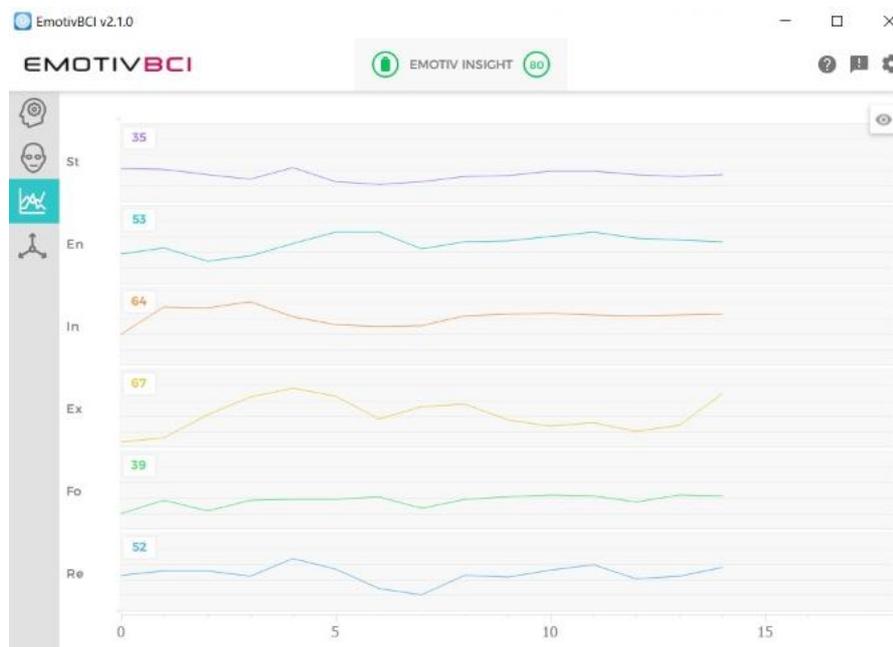


Figura 63. Métricas de rendimiento pertenecientes al participante 1

Fuente: (Autores)

A la par que el grupo de participantes eran sometidos a las diferentes pruebas, se realizó la medición y el análisis de las métricas de rendimiento de cada individuo que participo en las mismas, con el fin de observar el nivel de estrés, interés, excitación, relajación, atención y compromiso pues así se llegó a determinar las diferencias existentes por usuario al momento de controlar la plataforma robótica y deducir la siguiente tabulación:

Tabla 29. Análisis de métricas de individuos de prueba

Fuente: (Autores)

Individuo	Eficiencia (%)	Métricas de Rendimiento					
		Estrés (%)	Interés (%)	Excitación (%)	Relajación (%)	Atención (%)	Compromiso (%)
1	84,00	88,00	66,00	32,00	60,00	79,00	78,00
2	84,00	90,00	72,00	24,00	38,00	83,00	69,00
3	88,00	84,00	69,00	28,00	56,00	75,00	82,00
4	88,00	87,00	68,00	28,00	57,00	72,00	72,00
5	88,00	89,00	71,00	25,00	27,00	68,00	71,00
6	92,00	82,00	70,00	30,00	42,00	70,00	52,00
7	96,00	69,00	65,00	30,00	47,00	69,00	35,00
8	96,00	71,00	81,00	29,00	52,00	76,00	50,00
9	96,00	75,00	73,00	27,00	61,00	73,00	72,00
10	96	50	76	52	21	81	75

De este modo se puede ver la relación entre las métricas de rendimiento y el nivel de eficiencia generada, por ejemplo las de estrés y compromiso manifiestan un patrón aproximado pues todas aquellas personas con eficiencias menores al 90% aumentan significativamente el nivel de compromiso con niveles superiores al 80% al momento de cumplir con la tarea designada, mientras que aquellas personas que lograron cierto dominio en las tareas propuestas con eficiencias mayores al 91% tuvieron menor compromiso por cumplir con la tarea generando niveles menores al 79%. Valores que siguen una distribución de normalidad dada por la tabla 28 la cual a su vez comprueba por medio del coeficiente de Pearson (tabla 29) la correlación existente entre las métricas de rendimiento (figura 64,65,66) del usuario y la eficiencia que este genera al controlar el prototipo robótico.

Tabla 30. Prueba de normalidad

Fuente: (Autores utilizando el software estadístico IBM SPSS)

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Eficiencia	.251	10	.075
Compromiso	.176	10	.200*
Excitación	.155	10	.200*
Interés	.114	10	.200*
Relajación	.167	10	.200*
Atención	.213	10	.200*
Estrés	.254	10	.068

Tabla 31. Estimación del Coeficiente de Pearson

Fuente: (Autores utilizando el software estadístico IBM SPSS)

	Métrica	R cuadrado	F	Sig.	Constante
Cúbico	Compromiso	.912	36.463	.000	-117.197
	Excitación	.060	.219	.806	442.199
	Interés	.620	5.722	0.034	1843.686
Exponencial	Relajación	.076	.656	.441	18.235
Cuadrática	Atención	.178	.756	.504	343.314
	Estrés	.548	4.070	.068	-466.815

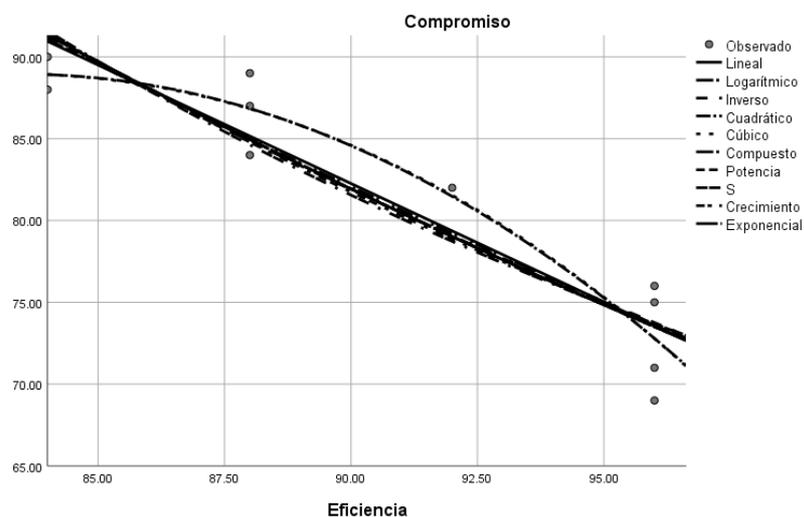


Figura 64. Gráfica de modelo matemático para la métrica compromiso

Fuente: (Autores utilizando el software estadístico IBM SPSS)

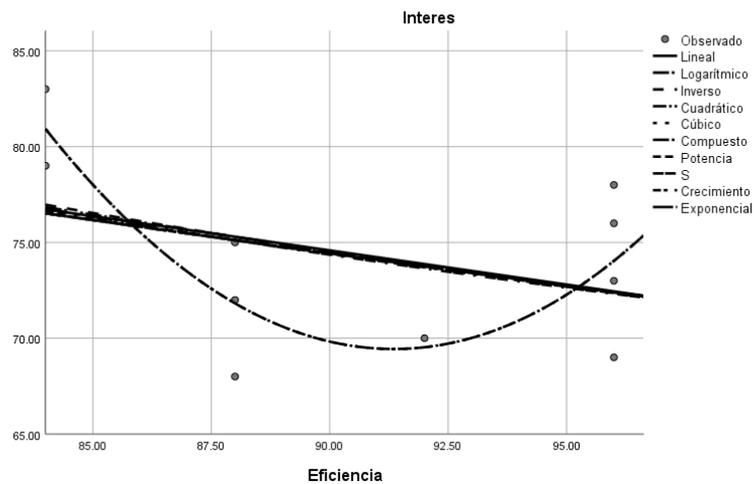


Figura 65. Gráfica de modelo matemático para la métrica eficiencia

Fuente: (Autores utilizando el software estadístico IBM SPSS)

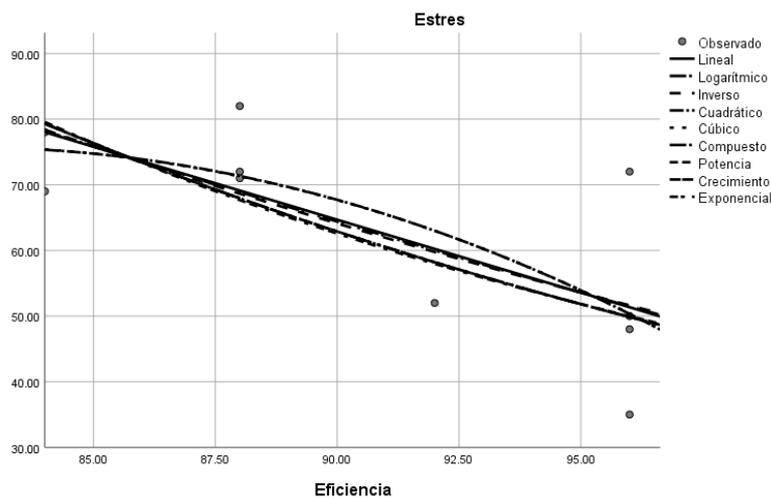


Figura 66. Gráfica de modelo matemático para la métrica estrés

Fuente: (Autores utilizando el software estadístico IBM SPSS)

Instancias que permiten inferir en que aquellas correlaciones dadas por el coeficiente de Pearson bajo la distribución de normalidad Shapiro – Wilk, muestran una correlación directamente proporcional entre la métrica de rendimiento compromiso y la eficiencia (tabla 29), es decir, por ejemplo el incrementar el nivel de compromiso del usuario incrementa el nivel de eficiencia en el control del prototipo robótico, por su correlación directa.

Tabla 32. Correlación Bivariadas de métricas de rendimiento

Fuente: (Autores utilizando el software estadístico IBM SPSS)

		Eficiencia	Compromiso	
Compromiso	Correlación de Pearson	.932**	1	
Atención		.401	1	
Interés		-.371	1	
Relajación		.245	1	
Excitación		.119	1	

4.4.2. Test de usabilidad

Para el análisis del sistema de telepresencia el usuario fue puesto a prueba en distintos entornos tales como parques, calles o lotes baldíos, las pruebas eran simples una vez dentro de estos entornos los usuarios iniciaban el intercambio de información tanto en instrucciones de control, percepción o datos de telemetría para posterior a ello analizar la eficiencia de la usabilidad del sistema de telepresencia, llevando a cabo un proceso de medición cuantitativa, en nuestro caso específico: controlar la plataforma robótica únicamente con la interface de usuario, a fin de probar canales de comunicación, plataformas y el módulo háptico. Para este fin, se utiliza el sistema de escala de usabilidad SUS (Víctor H. Andaluz, Giovanni Cuzco, Jorge S. Sánchez, Carlos R. Sánchez, Washington X. Quevedo, José Varela, 2016) en escala de estilo Likert (Salkind, 2012) la cual nos permite medir actitudes y conocer el grado de conformidad del encuestado con cualquier tipo de afirmación propuesta.

Las preguntas seleccionadas son para este caso son 10, ver tabla 28, de 20 que enmarcan las más consistentes (Anexo 14). La ponderación varía de 1 a 5, que simplificado representa un desacuerdo completo para 1 y un acuerdo completo, para 5.

Tabla 33. Test de usabilidad del sistema de telepresencia

Fuente: (Autores)

Preguntas que contestar	Puntuación	Operación
¿Cuán cómodo fue usar el sistema de telepresencia?	4	4-1=3
¿Cuán compleja fue la manipulación de todos los dispositivos que conforman el sistema de telepresencia?	2	5-2=3

¿Las funciones del dispositivo háptico están correctamente integradas en la plataforma robótica?	5	5-1=4
¿Cree que necesita ayuda para diferenciar los distintos niveles de vibración del dispositivo háptico	1	5-1=4
¿Las funciones incorporadas en el sistema de telepresencia están correctamente integradas en la interfaz de usuario?	4	4-1=3
Encuentro incoherencias entre las sensaciones experimentadas al tomar un objeto con el dispositivo háptico y tomarlo con la pinza robótica	2	5-2=3
¿Cree que el tiempo de respuesta entre la cámara de video de la plataforma robótica y la interfaz de usuario es la adecuada?	4	4-1=3
¿Cree que necesite una capacitación previa a la manipulación del sistema de telepresencia?	2	5-2=3
¿Cree que usaría sistemas de telepresencia frecuentemente?	4	4-1=3
¿Le resulta poco interactivo el sistema de telepresencia propuesto?	1	5-1=4
Puntaje total		33

El valor total promedio obtenido por la sumatoria todas las columna operación, resulta en un valor de 33. En base a este resultado, la puntuación de SUS (figura 62) se calcula y se expresa por medio de la multiplicación de 2.5 y el valor obtenido, dando un valor final del 82.5 lo que significa que el sistema de telepresencia desarrollado se encuentra en un rango aceptable y posee un nivel de usabilidad bueno-excelente, considerando se puede implementar aun mejoras para lograr un puntaje más alto en la funcionalidad de uso.

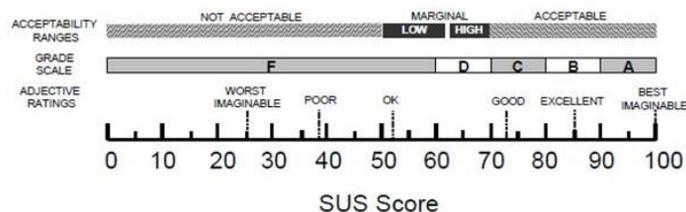


Figura 67. Puntuación de SUS

Fuente (Toni Granollers, 2015)

La evaluación antes mencionada permite identificar posibles deficiencias e idear posibles mejoras a fin de dar un nuevo enfoque al tradicional sistema de telepresencia para que la inmersión en distintos entornos se convierta en una experiencia que facilite el aprendizaje, la investigación en nuevas áreas.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

- Los algoritmos de adquisición e interpretación de datos permitieron el correcto control de la plataforma robótica mediante la utilización de suscripciones a flujos de datos como comandos mentales y sensores de movimiento.
- A través de la interfaz de usuario, la cual permite visualizar parámetros tales como ambientales, de imagen, posición, comandos mentales y la retroalimentación vibro-táctil del guante háptico, se muestra un nivel de usabilidad bueno-excelente al momento de calificar el nivel de interactividad con el usuario.
- La robustez de los canales de comunicación se basan en la redundancia, la cual consiste en la conmutación entre el canal principal y su canal secundario.
- El trabajo de investigación propuesto da un nuevo enfoque a los sistemas de telepresencia tradicionales, con controles aptos para cualquier tipo de persona y mecanismos que otorgan nuevas sensaciones al momento de interactuar con el entorno en el que se encuentra.

5.2.RECOMENDACIONES

- Para obtener cada uno de los vectores de datos dadas por las suscripciones solicitadas, cada una de estas respuestas necesitan de claves accesos únicas para cada programador y deben ser configuradas manualmente por el mismo, requiriendo estrictamente de acceso a internet para validar claves de acceso y stream de datos.
- Emotiv Insigth Neuro-Headset de 5 canales, en su segunda generación de dispositivos, mostro requerir altos niveles de cuidado, con procesos de hidratación de electrodos de hasta 2 veces por semana y de mantenimientos de limpieza continuos en el dispositivo.

- Entrenar cada uno de los perfiles de entrenamiento en base a estímulos visuales, auditivos, enfocados en el movimiento, acciones que puedan relacionar sentimientos importantes o eventos que generaron altos niveles de satisfacción, llegan a reforzar la actividad neuronal y permiten ser captados más fácilmente por la SDK de Emotiv.
- En el caso de entrenar múltiples acciones dentro de un mismo perfil se recomienda no entrenar más de 5 comandos mentales de los 15 posibles debido a que estos tienden a realizar esfuerzos innecesarios y cansancio mental.
- La mejor forma de entrenar comandos mentales es comenzar registrando el estado neutral por lo menos 5 veces, de forma relajada y lo más natural posible en ambientes silenciosos y sin ningún tipo de distracción.
- Al momento de utilizar lecturas del puerto serial en la interfaz de usuario se recomienda dividir el código en funciones ya que agilizará la lectura de este y evitara posibles retardos en el video.
- Utilizar distintos canales de comunicación para el transporte de información es necesario, pues evita interferencias y saturación de los mismos, ahorrando un sin número de inconvenientes y facilitando la detección de errores en los distintos módulos que componen la plataforma robótica.
- Realizar movimientos suaves y lentos al momento de manipular el guante háptico para el control de la pinza, mejora la precisión en la toma de objetos y percepción de cada uno de los niveles de vibración proporcionados por el guante, evitando además de ello posibles daños en la estructura.
- Realizar pruebas de cada una de las etapas que compone la plataforma robótica facilita la detección de errores.
- Evaluar el sistema de telepresencia en distintos escenarios permite identificar posibles mejoras en el prototipo tanto en canales de comunicación como en estructura.

BIBLIOGRAFÍA

- Accenture., P. &. (2018). *Emotiv*. Retrieved from <https://www.emotiv.com/brain-controlled-technology/>
- Argentina, R. (2018). *Robots Didácticos*. Retrieved from <http://robots-argentina.com.ar/didactica/descripcion-y-funcionamiento-del-bus-i2c/>
- Borja Urrea, R. G., & Bravo Ramírez, H. E. (2016). *Diseño e implementación de un robot móvil tipo oruga para exploración en terrenos irregulares*. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6125>
- Cantillo, M., Vicente, J., & Hern, C. (2010). *Desarrollo de aplicaciones basadas en wsn*. 1–108.
- Chowdhury, P., Kibria Shakim, S. S., Karim, M. R., & Rhaman, M. K. (2014). Cognitive efficiency in robot control by Emotiv EPOC. *2014 International Conference on Informatics, Electronics and Vision, ICIEV 2014*, 0–5. <https://doi.org/10.1109/ICIEV.2014.6850775>
- Cortes, F. (2014). *Base de datos y Sistemas de Información*. Retrieved from <https://afcortes.webnode.com.co/>
- Emotiv. (2019). *Emotiv*. Retrieved from <https://www.emotiv.com/product/emotiv-insight-5-channel-mobile-eeg/>
- EPOC, E. (n.d.). *User Manual*.
- Fattouh, A., Horn, O., & Bourhis, G. (2013). Emotional BCI Control of a Smart Wheelchair. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 10(3), 32–36.
- Gitbook. (2019). *Emotiv Cortex API*. Retrieved from <https://emotiv.gitbook.io/cortex-api/>
- Hayward, Vincent; Astley, Oliver R.; Cruz Hernandez, Manuel ; Grant , Danny; Robles de la Torre, G. (2014). Tutorial Haptic interfaces and devices. *Sensor Review*, 16–29.
- Humberto, J., & Rojas, C. (2010). *Diseño mecatrónico y desarrollo de prototipo de máquina reprogramable y flexible para dibujo en 2D*. 7(1), 149–156.
- IBM. (2019). *IBM Knowledge Center*. Retrieved from https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSFKSJ_7.5.0/com.ibm.mq.pro.doc/q002770_.htm

- Ierache, J., Dittler, M., Pereira, G., & Aires, B. (2010). *Control de robots basado en bioseñales*. 641–645.
- Lay, S. M., & Pizarro, D. A. (2015). Robotic motion control with cognitive and facial detection via Emotiv EEG. *INGENIARE - Revista Chilena de Ingeniería*, 23(4), 496–504. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052015000400002>
- Martínez Barros, Marlon Igor; Trout Guardiola, G. (2013). *Conceptos Básicos de la Electroencefalografía*. 18–23.
- Martínez, J., García, A. S., Martínez, D., & González, P. (2009). Desarrollo de un Guante de Datos con Retorno Háptico Vibro-táctil Basado en Arduino. *Interacción 2009 - Jornadas de Realidad Virtual*, 1–10.
- Munoz, J. E., Villada, J. F., Munoz, C. D., & Henao, O. A. (2014). Multimodal system for rehabilitation aids using videogames. *Proceedings of the 2014 IEEE Central America and Panama Convention, CONCAPAN 2014*, (February). <https://doi.org/10.1109/CONCAPAN.2014.7000395>
- Ordoñez, G. (n.d.). *Oocities Sistemas de Comunicacion*. Retrieved from http://www.oocities.org/gabrielordonez_ve/Sistemas_de_comunicacion.htm
- Pereira, G., D'Alotto, J., Sattolo, I., Guerrero, A., Iribarren, A. M., & Ierache, J. S. (2011). Control vía Internet de un robot ubicado en un sitio remoto aplicando una interfase cerebro-máquina. *XVII Congreso Argentino de Ciencias de La Computación*, 1373–1382. Retrieved from <http://lsia.fi.uba.ar/papers/pereira11.pdf>
- Pérez, E. L. (2013). *Curso de Redes de Microcontroladores PIC*.
- Point, T. (2016). *Tutorials Point*. Retrieved from https://www.tutorialspoint.com/websockets/websockets_tutorial.pdf
- Ramos-Argüelles, F., Morales, G., Egozcue, S., Pabón, R. M., & Alonso, M. T. (2013). *Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas*. 32 *Suppl 3*, 69–82. <https://doi.org/10.4321/S1137-66272009000600006>
- Ramos Argüelles, F; Morales, G. (2009). *Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas*.
- Reyes, Y. M. (2012). *Adquisición de características de señales mioeléctricas para uso en protésica*.
- Salkind, N. (2012). “Technique for the Measurement of Attitudes, A.” *Encyclopedia of Research Design*. <https://doi.org/10.4135/9781412961288.n454>

- Semiconductor, N. (2011). *Sparkfun*. Retrieved from https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf
- Solaz, B. R. (2013). *Interfaz Mental Para El Control de Aplicaciones*. 52. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/32734/Memoria.pdf>
- Tedin, Federico; Fraire, J. (2017). *Procesamiento de Bioseñales*.
- V, M. A. S., A, H. A. R., & C., C. A. P. (2015). Desarrollo de un robot explorador operado mediante neuroseñales. *Revista Politécnica*, 10(19), 125–134.
- Víctor H. Andaluz, Giovanni Cuzco, Jorge S. Sánchez, Carlos R. Sánchez, Washington X. Quevedo, José Varela, J. L. M. (2016). *Augmented Reality , Virtual Reality , Multi-user Industrial Training and Education Environment*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-95282-6>
- Vourvopoulos, A., & Liarokapis, F. (2012). Robot Navigation Using Brain-Computer Interfaces. *2012 IEEE 11th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications*, (May 2014), 1785–1792. <https://doi.org/10.1109/TrustCom.2012.247>

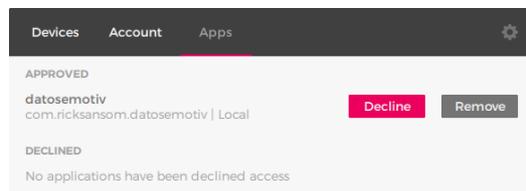
ANEXOS

ANEXO 1

Kit de desarrollo de software de Emotiv

Inicio de sesión

Es una aplicación que permite iniciar sesión con la cuenta de Emotiv, la misma informa cuando hay actualizaciones del software ofrecido por Emotiv, además en él se muestra las aplicaciones creadas por el usuario, el tipo de licencia, y los dispositivos Emotiv conectados al computador (Emotiv, 2019).

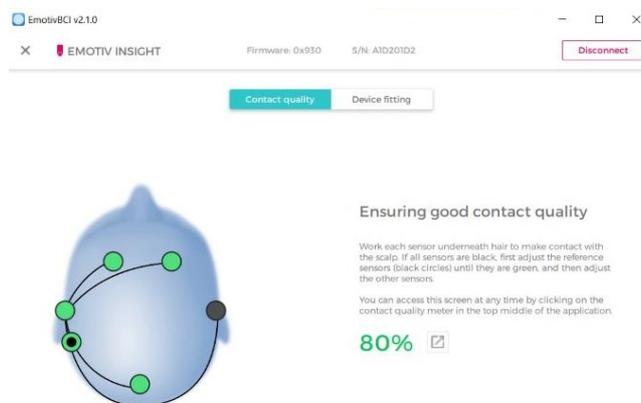


EmotivAPP

Fuente: (Autores)

Entrenamiento y sensores de movimiento

Es una interfaz cerebro-computadora que proporciona la compañía Emotiv por la adquisición de los audífonos Insight y Epoc, la misma que permite crear perfiles de usuario para entrenamiento de comandos mentales y expresiones faciales, así como observar el estado de contacto de los sensores del audífono, estado de la batería del mismo, estado de los sensores de movimiento y métricas de rendimiento.(Emotiv, 2019).



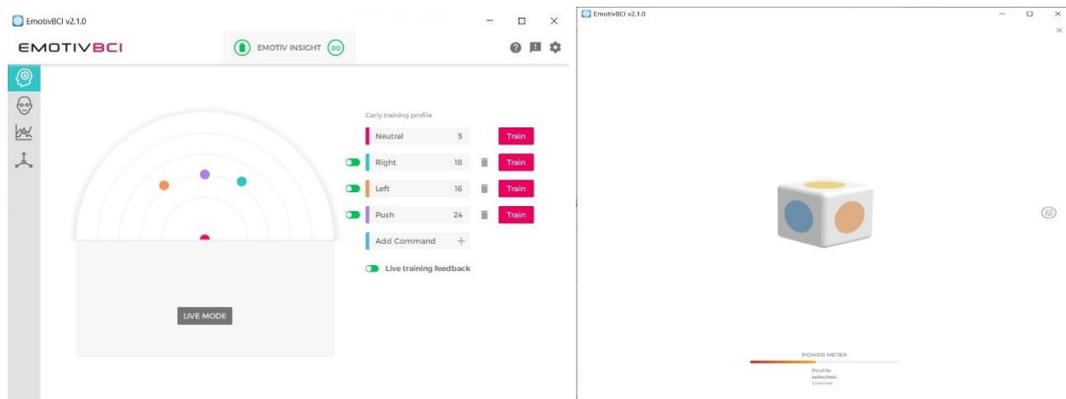
EmotivBCI contacto de sensores y estado de batería del audífono

Fuente:(Autores)

Entrenamiento de comandos mentales

Se lo realiza con la ayuda de un cubo virtual el cual cambia de posición según el comando que ejecutemos, dentro de los comandos mentales que se puede entrenar con la aplicación se encuentran:

- **Neutral.** –Mantiene al cubo en su posición
- **Push.** -Empuja el cubo al fondo de la pantalla.
- **Lift.** -Levanta el cubo de su posición original.
- **Left.** -Mueve el cubo hacia la izquierda.
- **Right.** -Mueve el cubo hacia la derecha
- **Drop.** –Mueve el cubo hacia abajo



a) Entrenamiento de comandos mentales b) Ejecución de comando push en modo libre

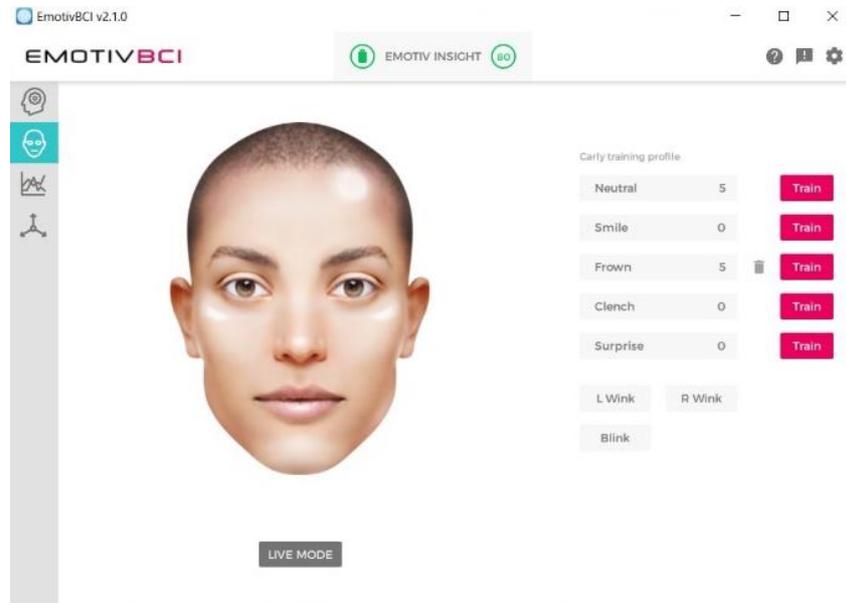
Fuente: (Autores)

Entrenamiento de expresiones faciales

Se realiza con la ayuda de un rostro proporcionado en la pantalla el cual muestra las expresiones faciales de nuestro rostro. Dentro de las expresiones faciales que se pueden entrenar se encuentran:

- **Neutral.** - Muestra nuestro rostro en estado normal sin ninguna expresión.
- **Smile.** - Detecta cuando el usuario sonrío
- **Frown.** - Detecta cuando el usuario frunce el ceño.
- **Surprise.** - Detecta cuando el usuario finge sorpresa

- **Wink.** - Detecta el pestañeo del ojo izquierdo, ojo derecho o ambos.



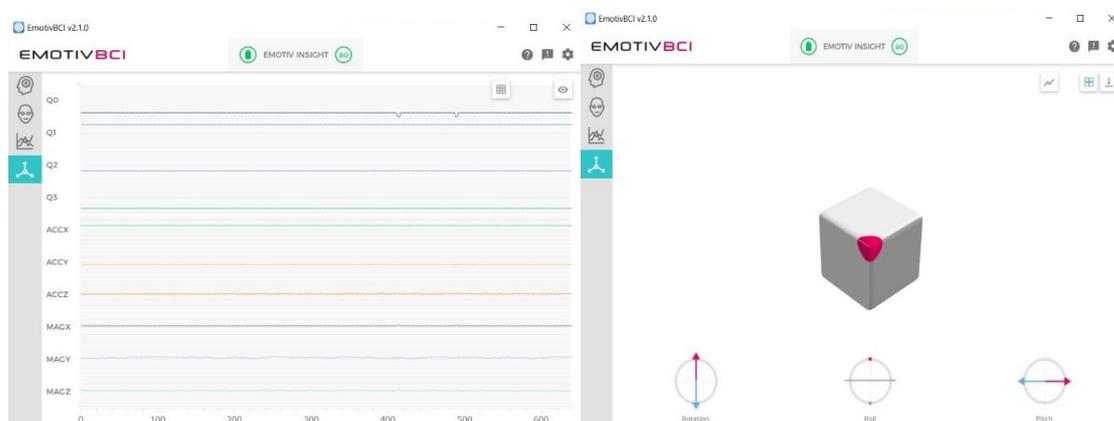
.Entrenamiento de expresiones faciales

Fuente: (Autores)

El entrenamiento de comandos mentales y expresiones faciales se los realiza pensando en una actividad específica durante un tiempo de 8 segundos para que el audífono capte las ondas cerebrales producidas al momento y las almacene para su detección en el futuro.

Sensores de movimiento

Dependiendo la posición que tome el audífono se observa el estado de los sensores del giroscopio, acelerómetro y magnetómetro.

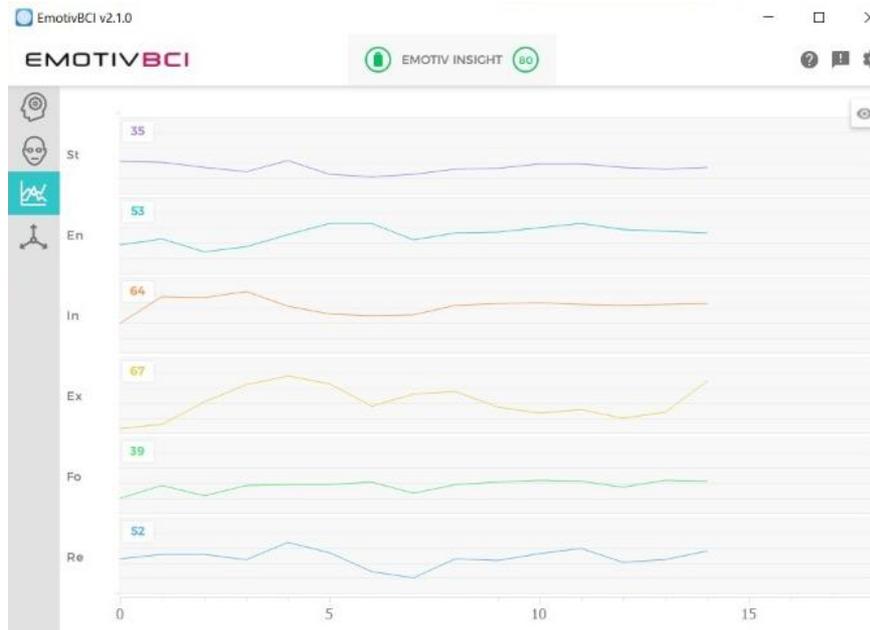


a) Sensores de movimiento b) Modo libre control del giroscopio

Fuente: (Autores)

Métricas de rendimiento

Mediante una gráfica muestra cuanto estrés, interés, excitación, relajación, atención y compromiso muestra el individuo al momento de utilizar el audífono.



.Métricas de rendimiento

Fuente:(Autores)

Interfaz de programación de aplicaciones Cortex v2

Es una API de Emotiv que permite el desarrollo de aplicaciones utilizando flujos de datos provenientes de los dispositivos Emotiv, basa su funcionamiento en la utilización de JSON y Websockets lo cual permite la utilización de distintas plataformas y lenguajes de programación. Consiste en ejecutar un proceso en segundo plano mediante el cual el audífono se comunica con la nube de Emotiv, formando un servidor WebSocket que utilizara el protocolo JSON-RPC para acceder a los distintos flujos de datos (Gitbook, 2019).

Tipo de Flujo de datos

Existen distintos tipos de flujos de datos que pueden ser utilizados mediante el servicio de cortex:

Tipos de Flujos de datos

Fuente: (Autores)

Identificación	Descripción
mot	Datos de los sensores de movimiento del dispositivo
com	Detecta los comandos mentales ejecutados en un perfil de entrenamiento
fac	Resultado de expresiones faciales realizadas
met	Resultados de detección de métricas de rendimiento. Se puede obtener los mismos datos con alta resolución mediante una licencia de pago.
pow	Potencia de bandas de cada sensor EEG entre las cuales se encuentran bandas alfa, beta baja y alta, gama y theta
dev	Datos del audífono en que se muestran nivel de batería, intensidad de señal inalámbrica y calidad de contacto de cada sensor.
sys	Presenta eventos realizados por el sistema como entrenamientos de comandos mentales y expresiones faciales
eeg	Datos EEG puros obtenidos del audífono. Para acceder a este tipo de datos se necesita una licencia de pago

Prerrequisitos

Para la utilización de Cortex es necesario cumplir con ciertos prerrequisitos antes de su utilización (Gitbook, 2019):

- **Crear un EmotivID.** - Es necesario crear una cuenta en la página de EMOTIV.
- **Crear una aplicación Cortex.** - En la misma página de EMOTIV se debe acceder a la sección Cortex Apps, donde se crea una aplicación mediante el ingreso de un nombre obteniendo un ID de aplicación automáticamente, finalmente se obtiene un ID secreto de cliente. Todos estos datos deben ser guardados en un archivo de texto para su futura utilización.



Creación de una aplicación Cortex

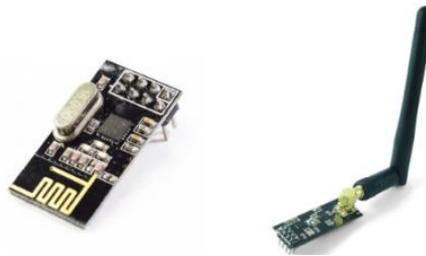
Fuente: (Emotiv)

ANEXO 2

Módulo RF Nrf24101

Características técnicas

- Modulación GFSK
- Tasa de transmisión de 250 Kbps, 1 Mbps y 2 Mbps
- Opera en 125 canales de radiofrecuencia
- Potencia de transmisión de 0 dBm, -6 dBm, -12 dBm y -18 dBm
- Consumo de corriente 11.3 mA a 0 dBm de potencia
- Detección de errores CRC
- Voltaje de operación 3.3 V CD



Módulos transceptores nrf24101

Fuente: (Nordic Semiconductor)

Aplicaciones

- Comunicación inalámbrica de datos
- Telemetría
- Alarmas y sistemas de seguridad
- Sensores industriales
- Automatización de hogares

ANEXO 3

Transmisor y receptores de video

Características Técnicas transmisor

- Voltaje de funcionamiento 2.5- 5.5 V CD
- Potencia de transmisión 25mW
- Corriente de consumo 350 mA
- Incluye antena de trébol
- Formato de imagen NTSC
- Canales disponibles 48



Transmisor de video WT03 Micro FPV 600TVL Camera

Fuente: (Amazon Prime)

Características Técnicas Receptor

- Canales disponibles 150
- Rango de frecuencias
- Sensibilidad -90 dBm
- Corriente de consumo 200 mA
- Alimentación de funcionamiento 5V CD
- Conector SMA Hembra



Receptor de video UVC 5.8 GHz

Fuente: (Amazon Prime)

ANEXO 4

Formato del paquete Enhanced ShockBust



Formato del paquete Enhanced ShockBust

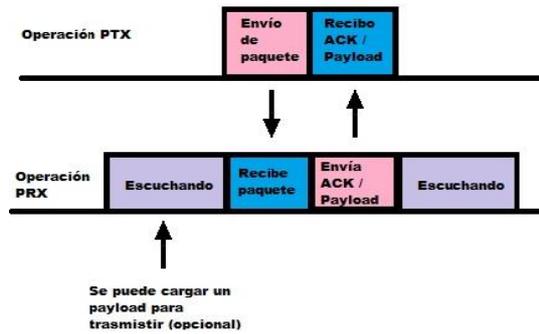
Fuente: (Nordic Semiconductor)



Formato del campo de control de paquetes

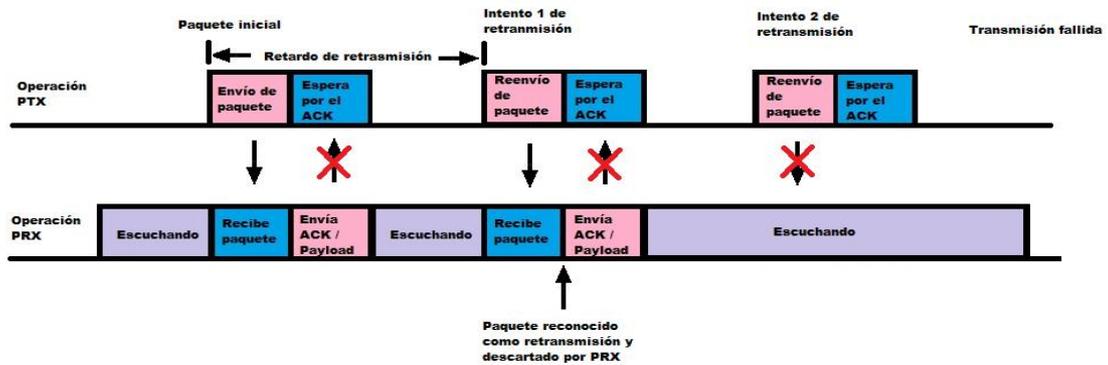
Fuente: (Nordic Semiconductor)

Intercambio de paquetes



Intercambio de paquetes correcta

Fuente: (Autores)



Intercambio de paquetes fallida

Fuente: (Autores)

ANEXO 5

AUTENTICACIÓN

Método GetUserLogin

```
print("\nGetUserLogin...")
receivedData.send(json.dumps({
    "id": 1,
    "jsonrpc": "2.0",
    "method": "getUserLogin"
}))
print(receivedData.recv())
```

Método requestAccess

```
print("\n requestAccess...")
receivedData.send(json.dumps({
    "id": 1,
    "jsonrpc": "2.0",
    "method": "requestAccess",
    "params": {
        "clientId": "xxx",
        "clientSecret": "xxx"
    }
}))
print(receivedData.recv())
```

Método hasAccessRight

```
print("\n hasAccessRight...")
receivedData.send(json.dumps({
    "id": 1,
    "jsonrpc": "2.0",
    "method": "hasAccessRight",
    "params": {
        "clientId": "xxx",
        "clientSecret": "xxx"
    }
}))
print(receivedData.recv())
```

Método Authorize

```
print("\n Authorize...")
receivedData.send(json.dumps({
    "id": 1,
    "jsonrpc": "2.0",
    "method": "authorize",
    "params": {
        "clientId": "xxx",
        "clientSecret": "xxx"
    }
}))
print(receivedData.recv())
```

Método GenerateNewToken

```
print("\n GenerateNewToken...")
receivedData.send(json.dumps({
    "id": 1,
    "jsonrpc": "2.0",
    "method": "generateNewToken",
    "params": {
        "cortexToken": "xxx",
        "clientId": "...",
        "clientSecret": "..."
    }
}))
print(receivedData.recv())
```

Método getUserInformation

```
print("\n getUserInformation...")
receivedData.send(json.dumps({
    "id": 1,
    "jsonrpc": "2.0",
    "method": "getUserInformation",
    "params": {
        "cortexToken": "xxx"
    }
}))
print(receivedData.recv())
```

Método getLicenseInfo

```
print("\n getLicenseInfo...")
receivedData.send(json.dumps({
    "id": 1,
    "jsonrpc": "2.0",
    "method": "getLicenseInfo",
    "params": {
        "cortexToken": "xxx"
    }
}))
print(receivedData.recv())
```

HEADSETS

Método queryHeadsets

```
print("\n queryHeadsets...")
receivedData.send(json.dumps({
    "id": 1,
    "jsonrpc": "2.0",
    "method": "queryHeadsets"
}))
print(receivedData.recv())
```

Método controlDevice

```
print("\n controlDevice...")
receivedData.send(json.dumps({
    "id": 1,
    "jsonrpc": "2.0",
```

```

        "method": "controlDevice",
        "params": {
            "command": "connect",
            "headset": "INSIGHT-12341234"
        }
    }
}
print(receivedData.recv())

```

SESIÓN

Método createSession

```

print("\n createSession n...")
receivedData.send(json.dumps({
    "id": 1,
    "jsonrpc": "2.0",
    "method": "createSession",
    "params": {
        "cortexToken": "xxx",
        "headset": "INSIGHT-12341234",
        "status": "open"
    }
}))
print(receivedData.recv())

```

Método updateSession

```

print("\n updateSession...")
receivedData.send(json.dumps({
    "id": 1,
    "jsonrpc": "2.0",
    "method": "updateSession",
    "params": {
        "cortexToken": "xxx",
        "session": "38fef6d7-979b-420b-aa25-dd60ef5edc02",

```

```

        "status": "active"
    }
}))
print(receivedData.recv())

```

Método querySession

```

print("\n querySession...")
receivedData.send(json.dumps({
    "id": 1,
    "jsonrpc": "2.0",
    "method": "querySessions",
    "params": {
        "cortexToken": "xxx"
    }
}))
print(receivedData.recv())

```

SUSCRIPCIÓN

Método Suscribe

```

print("\n Suscribe...")
receivedData.send(json.dumps({
    "id": 1,
    "jsonrpc": "2.0",
    "method": "subscribe",
    "params": {
        "cortexToken": "xxx",
        "session": "f8cb7289-9a92-438b-8281-e5fdffe8166e",
        "streams": ["met", "mot"]
    }
}))
print(receivedData.recv())

```

ANEXO 6

Lista de comandos para el almacenamiento de información en la base de datos

Descripción	Línea de comando en Arduino
Escritura de datos en clase hijo <i>Distancia</i> de la clase padre <i>Sensores</i> .	Firestore.setInt("Sensores/Distancia", DISTANCIA);
Escritura de datos en clase hijo <i>Humedad</i> de la clase padre <i>Sensores</i> .	Firestore.setInt("Sensores/Humedad", HUMEDAD);
Escritura de datos en clase hijo <i>Temperatura</i> de la clase padre <i>Sensores</i> .	Firestore.setInt("Sensores/Temperatura", TEMP);
Escritura de datos en clase hijo <i>Lux</i> de la clase padre <i>Sensores</i> .	Firestore.setInt("Sensores/Lux", LUX);

Descripción	Línea de comando en Unity
Lectura todos los datos de las clases hijo pertenecientes a la clase padre llamada <i>Sensores</i>	RestClient.Get<Lugares>("https://sensores-c531f.firebaseio.com/Cortex.json").Then(response =>

ANEXO 7

Diagrama de flujo para la recuperación de datos puestos en la DataBase y la asignación de instrucciones de control

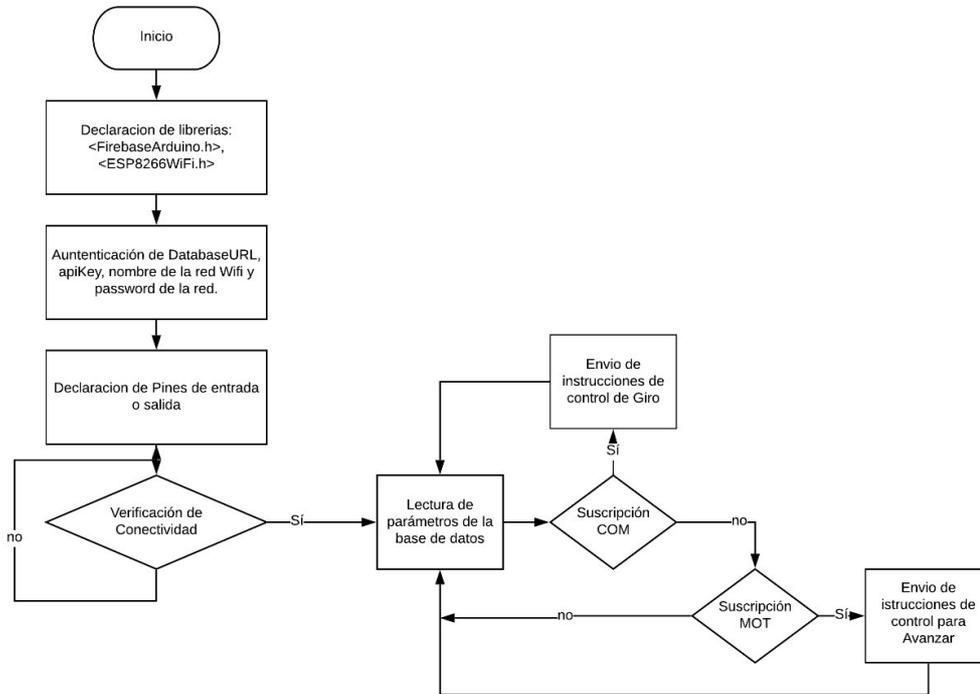
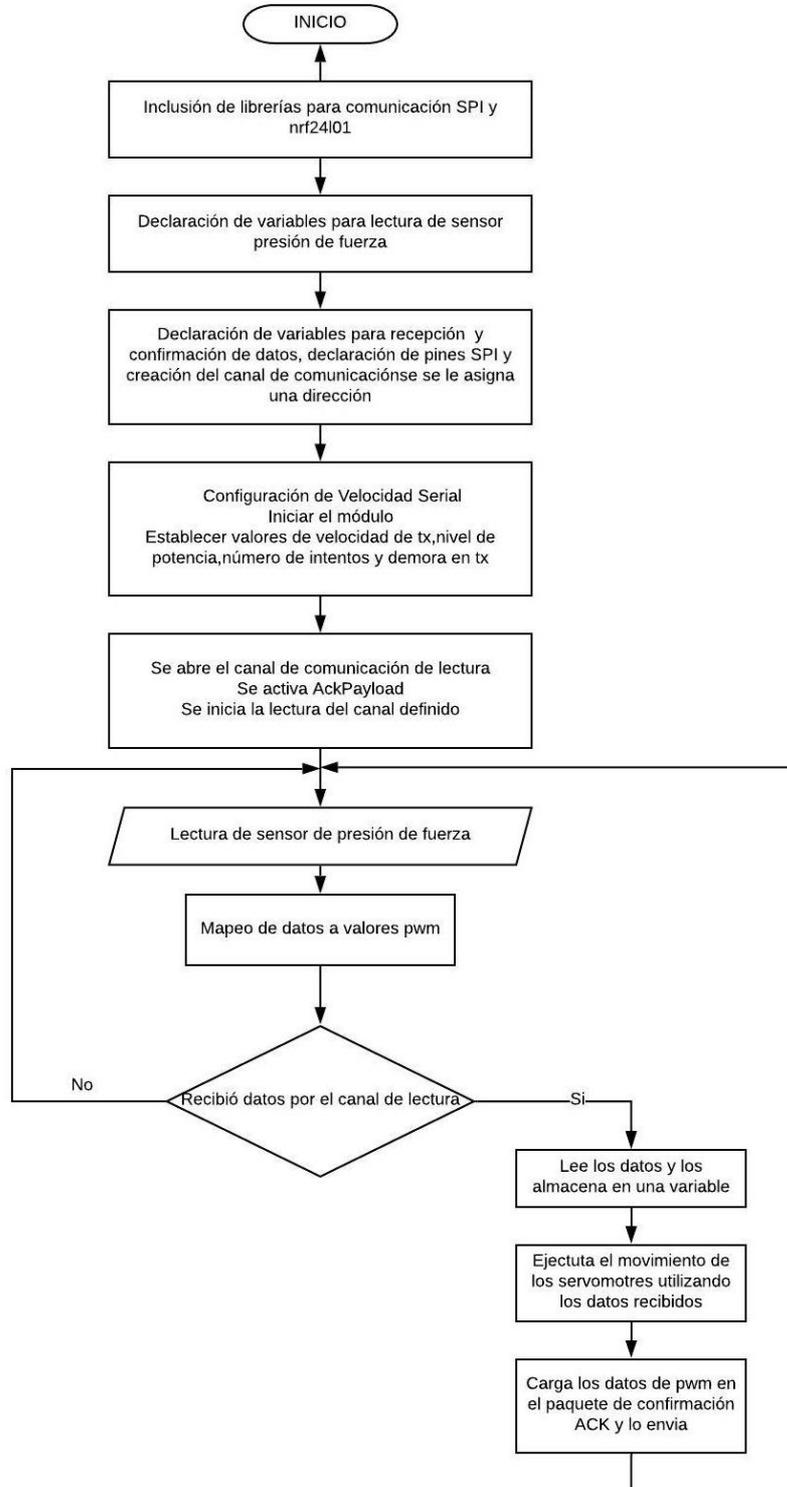


Diagrama de flujo para la recuperación de datos puestos en la DataBase y la asignación de instrucciones de control

Fuente: (Autores)

ANEXO 8

Configuración del módulo transceptor para la recepción de los datos.



Configuración del módulo transceptor para la recepción de los datos.

Fuente: (Autores)

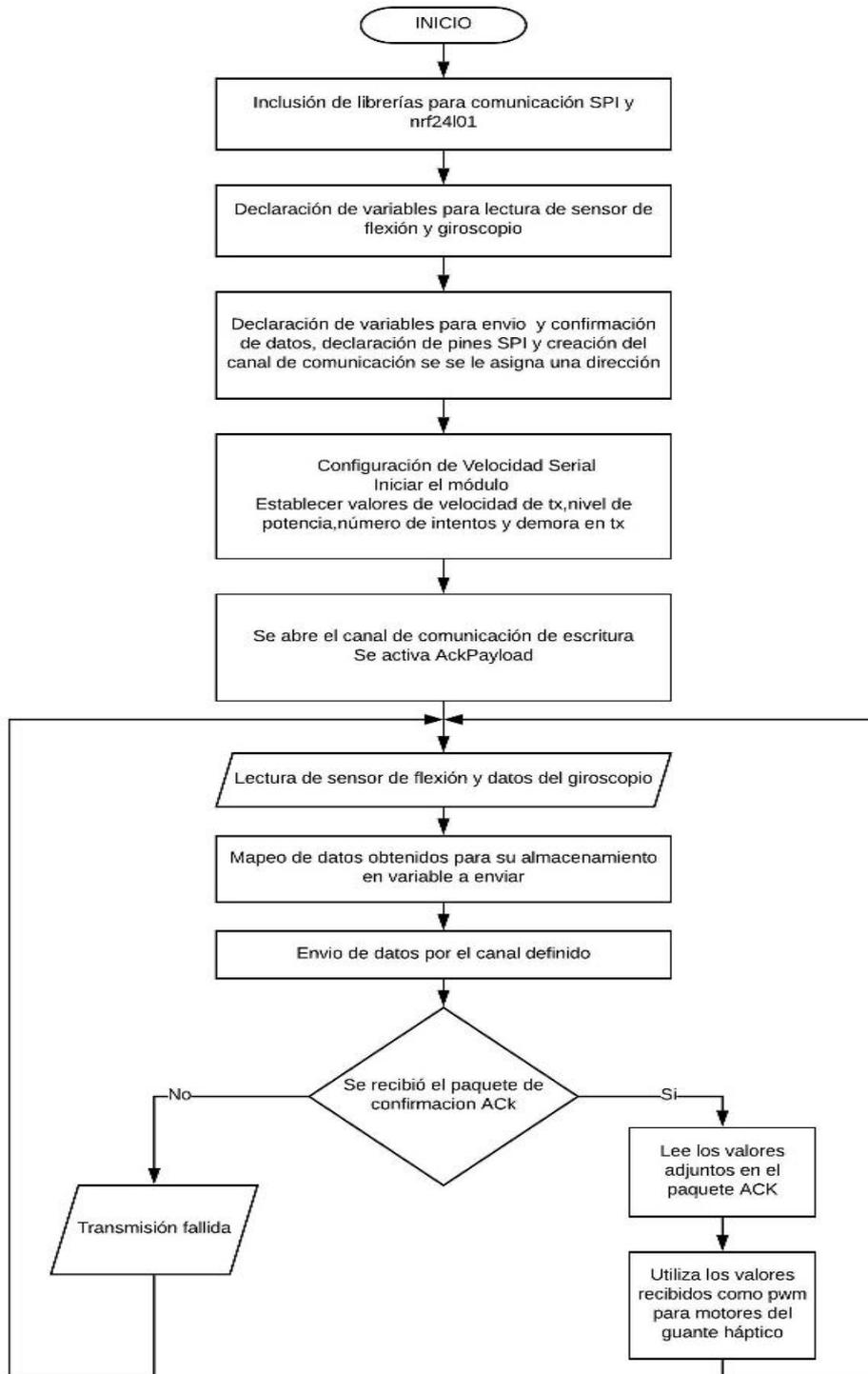
ANEXO 9

Valores digitales sensor flex

Número de muestras	Posición del dedo índice	
	Dedo abierto	Dedo Cerrado
1	775	863
2	774	870
3	774	869
4	775	865
5	776	864
6	775	864
7	779	864
8	780	863
9	768	865
10	769	864
11	769	864
12	769	863
13	769	863
14	770	873
15	771	865
16	772	865
17	776	864
18	778	866
19	777	865
20	773	867
Promedio	773,45	865,3

ANEXO 10

Configuración del módulo transceptor para la transmisión de los datos



Configuración del módulo transceptor para la transmisión de los datos.

Fuente: (Autores)

ANEXO 11

Funciones de configuración del módulo nrf24l01

Funciones	Objetivo
RF24 radio (CE_PIN, CSN_PIN)	Especifica los pines CE y CSN necesarios por el módulo para la comunicación SPI con Arduino.
byte slaveAddress[5] = {'R','x','A','A','A'};	Crea un canal de comunicación con una dirección única. Su tamaño es de 5 bytes.
radio.begin()	Inicializa el módulo nrf24l01
radio.setDataRate(RF24_250KBPS)	Establece la velocidad de transmisión de datos, pudiendo ser la misma de 250kbps, 1mbps y 2mbps
radio.setChannel(100)	Selecciona un canal de entre los 125 disponibles
radio.setPALevel(RF24_PA_LOW)	Establece la potencia de transmisión pudiendo ser la misma mínima (RF24_PA_MIN), baja (RF24_PA_LOW), alta (RF24_PA_HIGH) y máxima (RF24_PA_MAX).
radio.setRetries(10,10)	Especifica el tiempo de demora y número intentos al ocurrir un error en la transmisión de datos. Cada retardo tiene una duración de 250 us pudiendo ser de 15 el número máximo de intentos
radio.available()	Comprueba si hay datos siendo transmitidos por el canal de comunicación.
radio.isAckPayloadAvailable()	Comprueba si hay datos adjuntos en el mensaje de confirmación de transmisión.
radio.openWritingPipe(slaveAddress);	Abre un canal de escritura de datos. Utiliza la dirección especificada en la creación del canal.

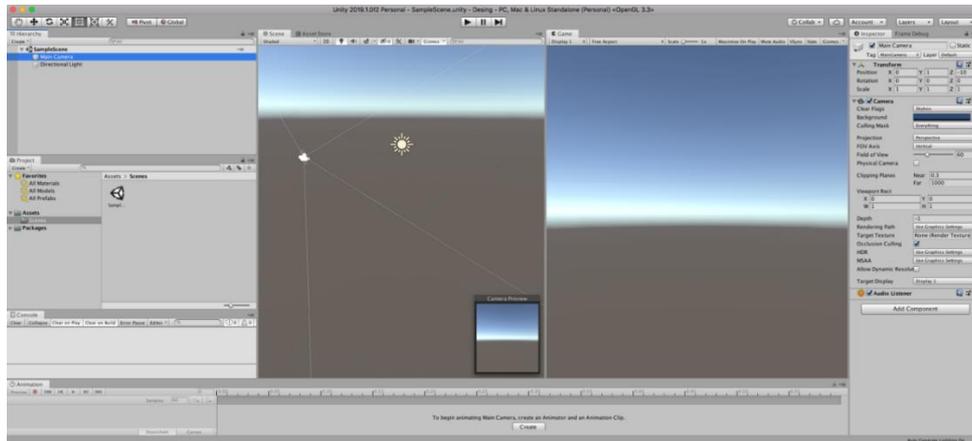
radio.openReadingPipe(1, thisSlaveAddress);	Abre un canal de lectura de datos. Pueden abrirse hasta 5 canales Utiliza la dirección especificada en la creación del canal.
radio.startListening();	Empieza a escuchar por los canales de lectura
radio.enableAckPayload();	Habilita la posibilidad de enviar datos adjuntos al mensaje de confirmación de transmisión.

Funciones	Objetivo
radio.write(&datos, sizeof(datos))	Envía datos por el canal de escritura. El tamaño máximo de los datos es de 32 bytes.
radio.read(&datos, sizeof(datos));	Lee los datos por el canal de lectura.
radio.writeAckPayload(1, &ackData, sizeof(ackData));	Carga datos en el mensaje de confirmación

ANEXO 12

Diseño de Interfaz de Usuario

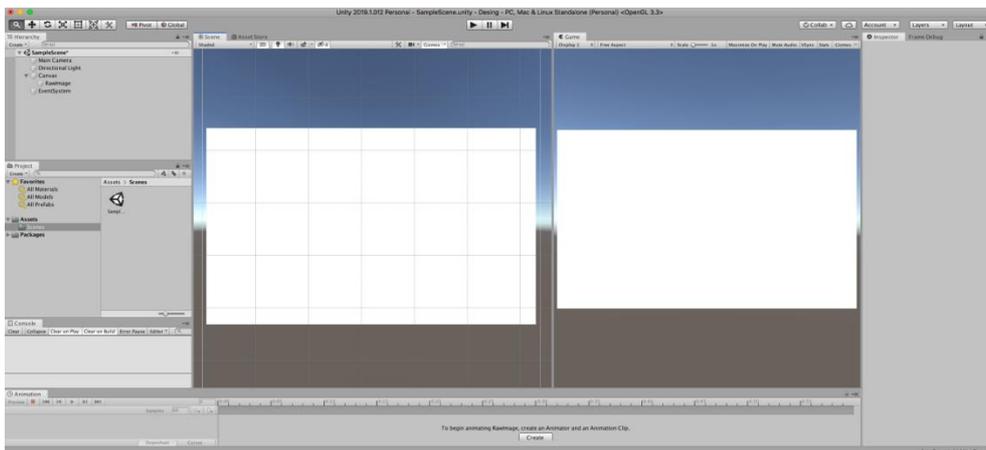
- Inicialmente debe crearse una escena misma que contendrá todos los elementos necesarios para el desarrollo de la interfaz de usuario.



Escena inicial de Unity

Fuente: (Autores)

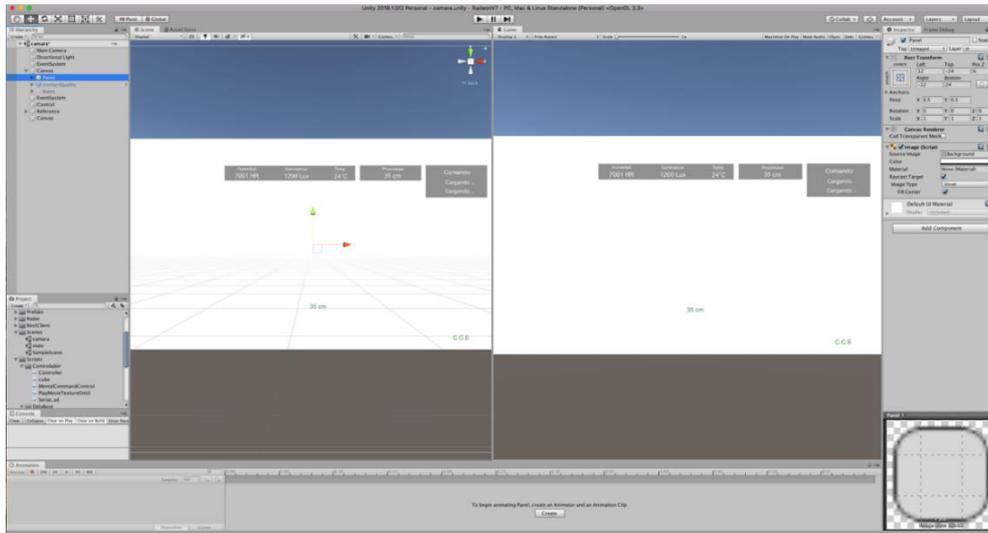
- Crear panel de visualización de cámara basado en RawImage con las dimensiones requeridas para su visualización.



Objeto RawImage para visualización de imagen

Fuente: (Autores)

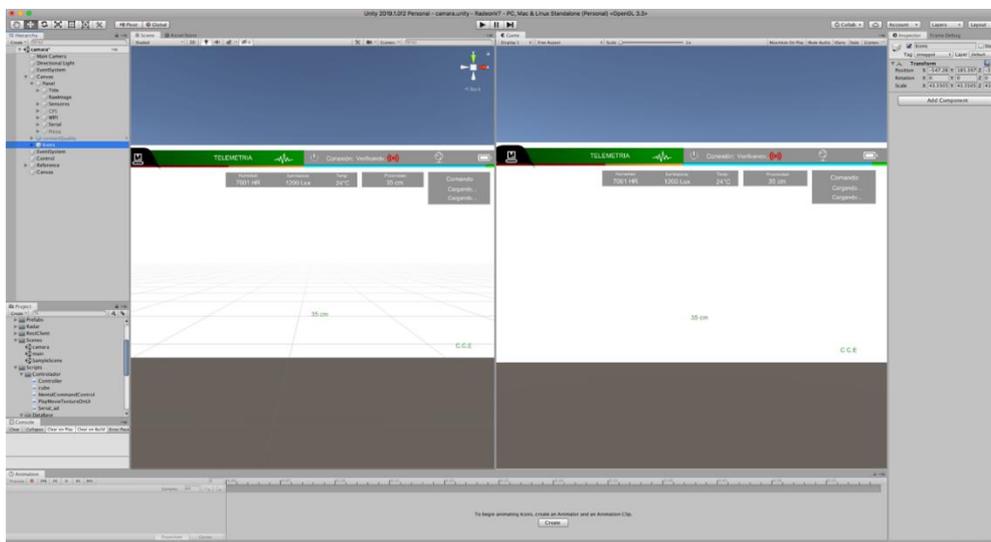
- Incorporar sub-paneles que incorporen objetos tipo texto para la visualización necesarias de información en base a los eventos asignados por los scripts.



Paneles de tipo texto basados en objetos RawImage

Fuente: (Autores)

- Se agrega por medio de objetos tipo RawImage o Image iconos con extensión .png que son indicadores del estado de conexión de la plataforma robótica a Firebase Realtime Database.

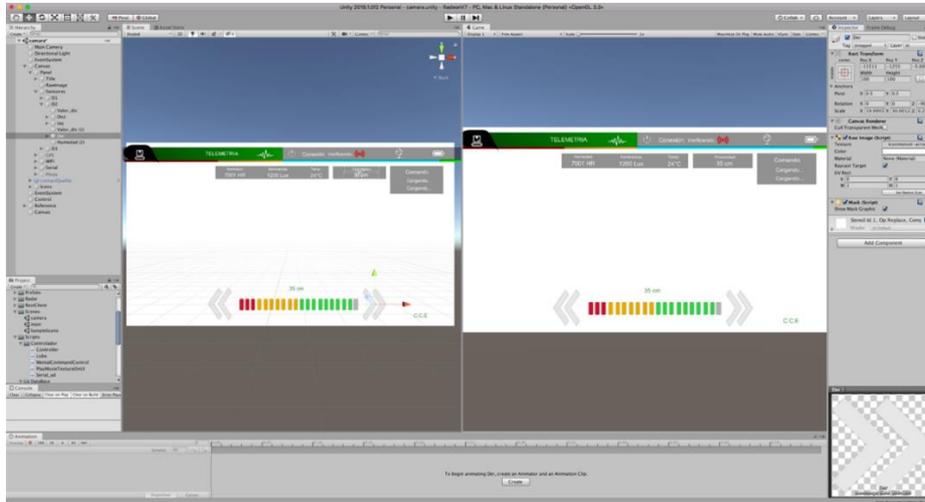


Indicadores de conectividad basados en objetos RawImage

Fuente:(Autores)

- Para relacionar al usuario con una interfaz más amigable se generan más campos visuales que permitan asumir relaciones de medición tal como es el caso del panel indicador de proximidad que toma información del sensor de proximidad y

transforma dichos valores en una barra indicadora basada en colores siendo el color verde un valor de distancia lejana, amarillo un valor de distancia media y rojo un valor de distancia muy cercano.



Objeto RawImage para emular el control de proximidad de manera visual

Fuente:(Autores)

- Otro de los parámetros que nos permite mostrar al usuario cuan efectiva será su acción realizada es la implementación de un sistema que detecte la calidad de contacto del dispositivo EEG pues a mayor contacto, mayor fidelidad de datos existirá, pasando del color gris de sin contacto a un color verde de calidad de contacto y fidelidad de datos alta por sensor.



GameObject dedicado a interpretar la calidad de contacto de los sensores EEG

Fuente:(Autores)

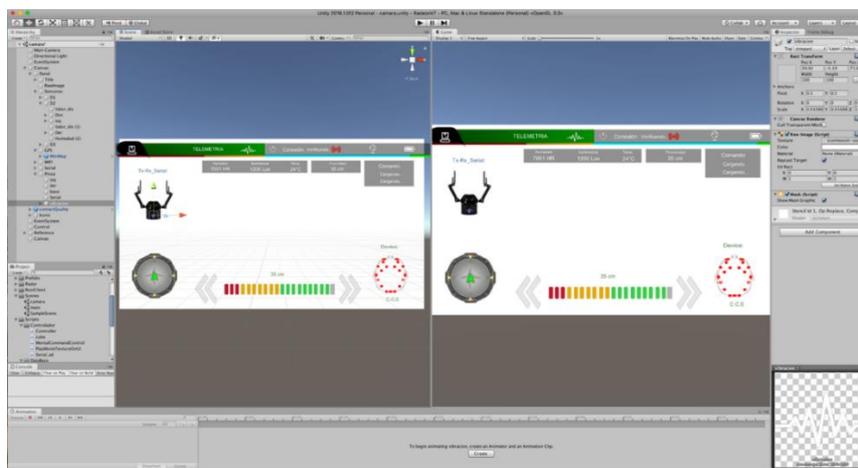
- Los campos de visualización que dispone el usuario hacen necesario el acompañamiento de un sistema de localización basado en los movimientos del robot, permitiendo al usuario tener más de un sistema de ubicación disponible siendo el primero el de visualización y el segundo de cambios de posicionamiento respecto a su posición inicial.



Panel de localización basado en la posición actual de la plataforma robótica

Fuente:(Autores)

También se considera la participación del módulo háptico en la interfaz de usuario capturando datos del guante háptico y recreándolos mediante una animación que simula el movimiento realizado por la pinza robótica, indicando al usuario la posición de la pinza robótica actual.

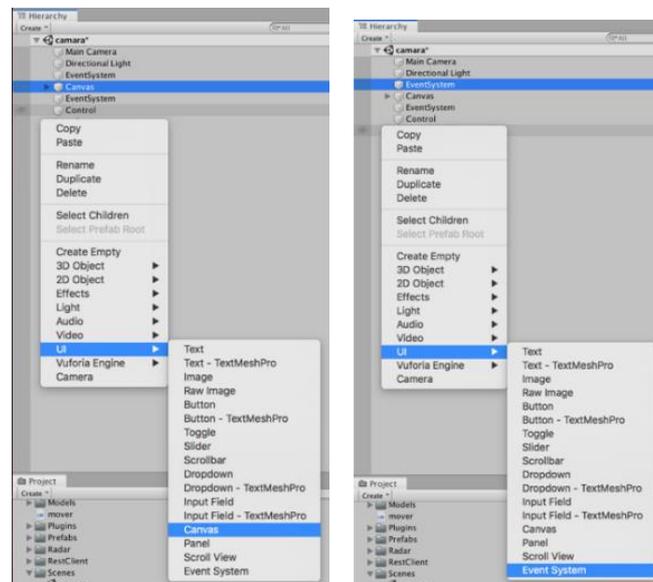


Pinza robótica dedicada a la detección de movimientos dados por el guante háptico

Fuente:(Autores)

Asignación de comandos de control a la interfaz de usuario

Al crear un nuevo proyecto en el motor gráfico de Unity, dentro de la ventana de jerarquía se muestra una nueva escena sin título y sin guardar, esta únicamente contiene una cámara principal llamada Main Camera y una dirección de luz también llamada Directional Light, la cual a su vez crea de forma automática la Scene en la que se va a trabajar, el objetivo básicamente es crear una interface de usuario que ocupe elementos de la UI (user Interface) de Unity, en este caso un Canvas para que junto al EventSystem un facilitador de comunicaciones entre módulos, generen un sistema de mensajes entre objetos, que por medio de scripts C# programables se envíen eventos basados en inputs o entradas, en este caso los categorizados en la base de datos para el control del mismo dentro de la interface de Unity.



Creación de Canvas y de EventSystem

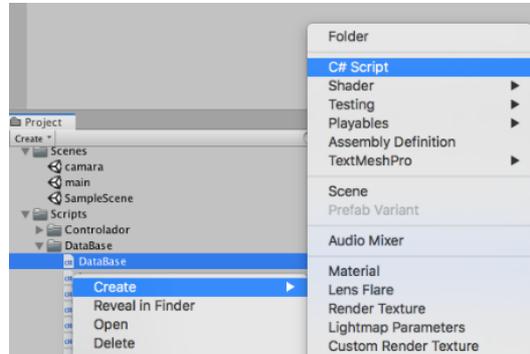
Fuente:(Autores)

Lectura de datos de sensores de Firebase Realtime Database

La clasificación de datos en Firebase Realtime Database juega un papel primordial dentro de Unity, pues el Canvas, el área en donde se encuentran todos los componentes de la UI debe acceder a esta información por medio de su databaseURL y su clase padre junto con su extensión. json, por ejemplo:

“https://interfacebci.firebaseio.com/Clase_padre.json”.

Para lograr dicho objetivo en la ventana de proyecto creamos un script C#.



Creación de C# script para la adquisición de datos provenientes de la base de datos

Fuente:(Autores)

Secuencia

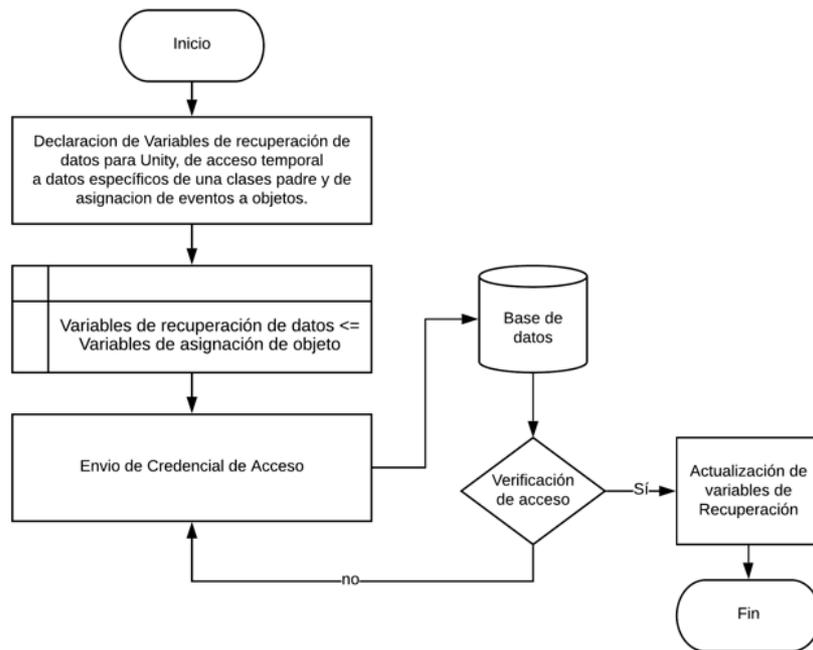
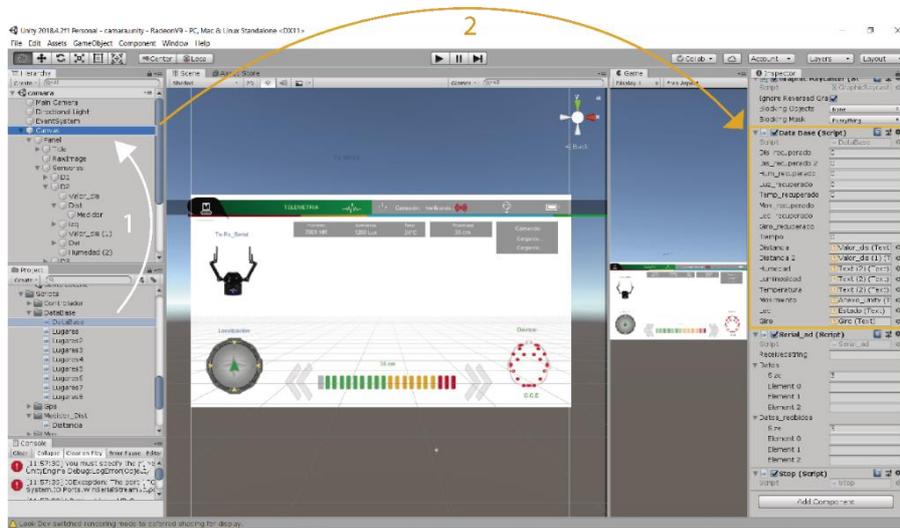


Diagrama de flujo para establecer una conexión entre Unity y la base de datos

Fuente:(Autores)

El proceso de asignación de cada uno scripts a los objetos a la vista de escena es repetitivo y aplicable a cada uno los objetos creados, básicamente tiene como mediador al panel de jerarquía pues es aquí en donde por ejemplo el Script A – DataBase es arrastrado de la ventana de proyecto a la ventana de jerarquía en el objeto Canvas, a fin de crear en el

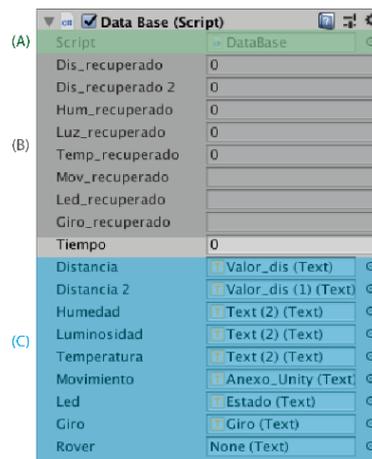
panel inspector parámetros de configuración o de visualización de variables publicas creadas en el script, es decir:



Secuencia de pasos para incorporar comandos de control en un objeto

Fuente:(Autores)

Una vez leídos los datos de Firebase Realtime Database y almacenado dentro de las variables de recuperación de Unity el siguiente paso consiste en verificar si las variables públicas asignadas en el script se muestran en la ventana inspector, las cuales nos permiten relacionar el script a el objeto puesto en la ventana de jerarquía.

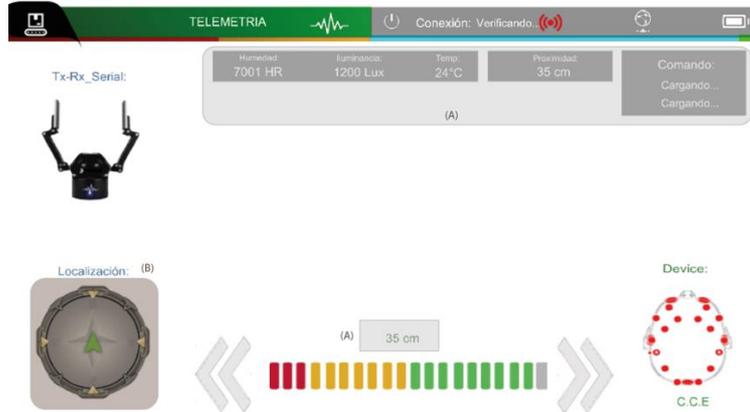


Parámetros de script Database

Fuente:(Autores)

Básicamente este proceso consta de dos etapas la primera consiste en arrastrar el script creado al objeto Canvas para mostrar las variables públicas asignadas en el script y la segunda etapa consiste en arrastrar el objeto de la ventana inspector, en este caso un objeto

tipo text, a los eventos creados por el script en la ventana inspector para mostrar los datos de manera visual en la vista de escena.



Variables de asignación de eventos a objetos tipo text y tipo RawImage para localización

Fuente:(Autores)

Restricciones

- El objeto se encuentra dentro del mismo Canvas.
- Tipo de entrada que necesita el objeto a manipular
- Que algoritmo que se desea implementar bajo los requerimientos deseados
- Todos los archivos creados en Unity deben permanecer dentro de una misma escena bajo el proyecto Assets.

Conexión de cámara FPV

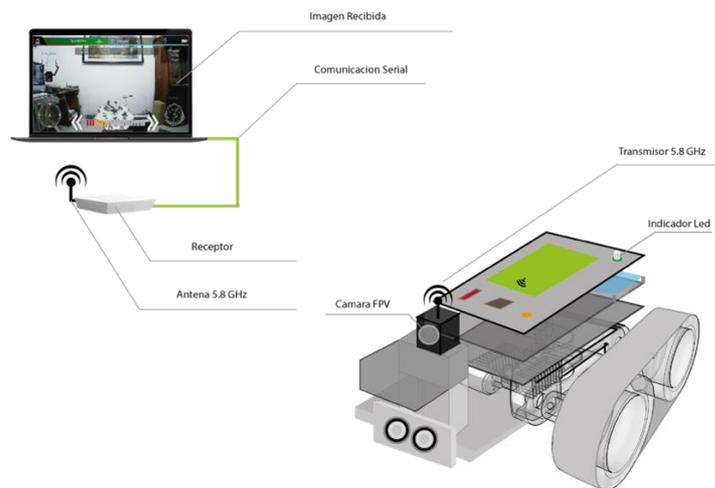


Diagrama general para la comunicación de video

Fuente:(Autores)

Unity, dentro de su ventana de jerarquía permite crear distintos tipos de objetos en cuanto a UI se refiere, uno de ellos es RawImage un controlador de imagen no-interactiva con el usuario que permite mostrar cualquier tipo de texturas o reflejar distintos cambios de uno o varios controladores, configuración que nos permite aprovechar dicha característica para mostrar imágenes de en este caso receptores de 5.8Ghz, en base a configuraciones básicas de detección de cámaras en la pc, en otras palabras es usar la información de cámaras registradas en la pc del usuario para mostrar las imágenes captadas por estos dispositivos como texturas que Unity reconozca a través de scripts C#.

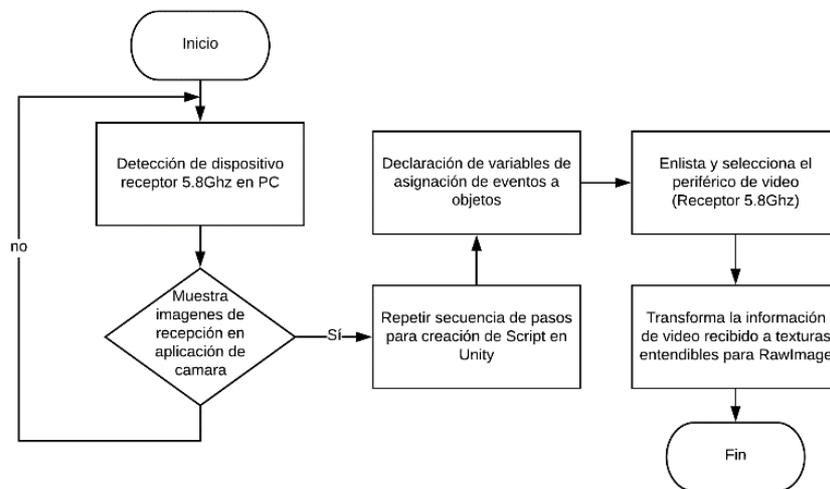


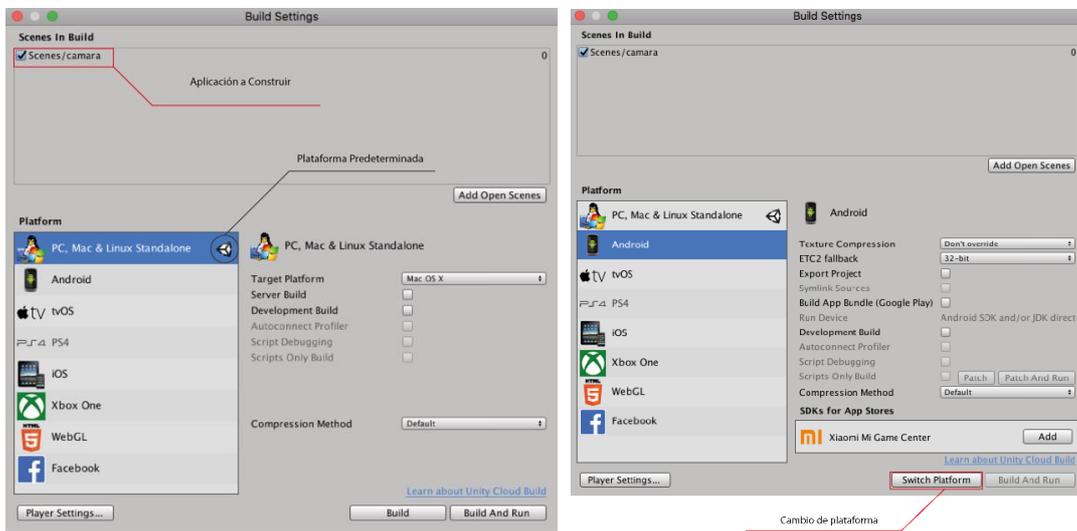
Diagrama de flujo para establecer una conexión entre cámara FPV y motor gráfico Unity

Fuente:(Autores)

Plataformas compatibles con Unity

Plataforma	Recursos Necesarios	Configuraciones Adicionales
PC, Mac, Linux Standalone	Ninguno	Selecciona el sistema operativo adecuado de forma automática
Android	JDK, Android Studio	Configuración de recursos adicionales dados en Preferencias/External Tool de Unity Dispositivo Android debe encontrarse en el modo depuración

tvOS	iTunes, JDK, Android Studio	No Aplica
Ps4	Licencia de Publicación PS4	
iOS	JDK, Android Studio	
Xbox One	Ninguno	
WebGL	JDK Java, HTML5, WebGL	
Facebook	WebGL, HTML5	



ANEXO 13

Entornos de prueba



Cancha

Fuente:(Autores)



Lote baldio

Fuente:(Autores)



Pasillo

Fuente:(Autores)

ANEXO 14

Resultado de test de usabilidad del dispositivo háptico

Preguntas que contestar	Puntuación	Operación
¿Cuán cómodo fue el uso del dispositivo háptico?	4	4-1=3
¿Cuán compleja fue la manipulación de objetos mediante la utilización del dispositivo háptico?	2	5-2=3
¿Cree que el tiempo de respuesta entre dispositivos es la adecuada?	4	4-1=3
¿Cree que necesita ayuda para diferenciar los distintos niveles de vibración del dispositivo háptico	1	5-1=4
¿Las funciones del dispositivo háptico están correctamente integradas en la plataforma robótica?	5	5-1=4
Encuentro incoherencias entre las sensaciones experimentadas al tomar un objeto con el dispositivo háptico y tomarlo con la pinza robótica	3	5-3=2
¿Le ha parecido un dispositivo seguro de utilizar?	4	4-1=3
¿Cree que necesite una capacitación previa antes de manipular dichos dispositivos?	2	5-2=3
¿Cree que usaría dispositivos hápticos frecuentemente en sistemas de telepresencia?	4	4-1=3
¿Encontré el guante háptico poco flexible al utilizarlo?	1	5-1=4
Puntaje total		34

ANEXO 15

Comparación Cortex v1.0 y Cortex v2.0

Cortex v1.0	Cortex v2.0
<p>URL de WebSocket: wss://emotivcortex.com: 54321 Actualmente ya no disponible</p>	<p>URL de WebSocket: wss://localhost: 6868 Disponible</p>
<p>Autenticación: Acepta un modo anónimo es decir no requiere identificación del cliente y código secreto de cliente</p>	<p>Autenticación: Requiere necesariamente crear una cuenta en EmotivID y el uso de identificación del cliente y un código secreto del cliente</p>
<p>Métodos: login, logout. -Se proporciona usuario y contraseña para de la Emotiv ID y la identificación y código secreto del cliente para el uso de la aplicación. Otros acceptLicense. -Acepta la licencia para utilizar el servicio de cortex. controlBluetoothHeadset. -Conecta o desconecta el auricular. updateNote. - Se crea una grabación en una sesión.</p>	<p>Métodos: getUserLogin. -Ya no requiere iniciar sesión en el Emotiv ID, pero si requiere la identificación y código secreto del cliente para el uso de la aplicación. Equivalentes en Cortex V2.0 getUserInformation controlDevice updateRecord</p>

ANEXO 16

Porcentaje de plagio análisis URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TesisBCI.docx (D59705916)
Submitted: 11/26/2019 11:49:00 PM
Submitted By: dalozano.fie@unach.edu.ec
Significance: 4 %

Sources included in the report:

https://es.wikipedia.org/wiki/Base_de_datos
<https://campus.almagro.ort.edu.ar/educacionjudia/articulo/440000/conformacion-del-movimiento-nazi>

Instances where selected sources appear:

20