INCORPORACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGIAS PARA EL CONTROL ROBOTICO POR MEDIO DE INTERFACES CEREBRO COMPUTADOR

JOSE OLMEDO SOTO AGUIRRE
CARLOS JULIO PEÑA VALENCIA

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS
TULUÁ – VALLE
2013

INCORPORACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGIAS PARA EL CONTROL ROBOTICO POR MEDIO DE INTERFACES CEREBRO COMPUTADOR

JOSE OLMEDO SOTO AGUIRRE
CARLOS JULIO PEÑA VALENCIA

Trabajo de grado para optar al título de:
INGENIERO DE SISTEMAS

DIRECTOR
Mg. Paulo Andrés Vélez Ángel

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS
TULUÁ – VALLE
2013

Nota de aceptación:

_____
_____
_____
_____
_____
_____

_____
Firma del presidente del jurado

_____
Firma del jurado

_____
Firma del jurado

Tuluá – Valle, Enero de 2013

Agradecimientos

Daniel 2:23 - "A ti, oh Dios de mis padres, te doy gracias y te alabo, porque me has dado sabiduría y fuerza, y ahora me has revelado lo que te pedimos; pues nos has dado a conocer el asunto del rey"

Primordialmente este trabajo de grado es dedicado al único capaz de darnos sabiduría, entendimiento y fortaleza, Jehová. A mis padres por su grandioso apoyo constante y acompañamiento continuo durante este tramo de difícil caminar, pero de hermosa recompensa; a mi compañero de proyecto y amigo Carlos Julio por su grandioso esfuerzo, tenacidad y paciencia para afrontar un camino lleno de imprevistos pero de grandiosas metas, y finalmente a mi director de tesis y amigo Paulo Andrés Vélez, quien impulsó al desarrollo de este trabajo, nos apoyó y alentó todo el trayecto, siendo una pieza fundamental para el éxito y la culminación proyecto.

"La herencia más grande que puede dejar un padre a su hijo es la educación, ya que con ella podrán obtener todo lo que ellos quieran para su vida" – Olmedo Soto Leal.

J.O.S.@

A Dios.

Por haberme dado la vida, por tener una grandiosa familiar y tener la maravillosa oportunidad de estudiar ingeniería de sistemas, además de brindarme salud para lograr mis metas y *objetivos.*

A mi madre Luz Eugenia.

Por haberme apoyado desde el primer momento que decidí encaminar esta etapa de mi vida, además por sus innumerables esfuerzos para que yo lograra culminar mis estudios; a mi hermana Vanessa que siempre me ha acompañado incondicionalmente en todos los proyectos que he encaminado.

A todos los profesores.

Son muchos los profesores durante estos 5 años, de todos me llevo los mejores consejos y sus grandes conocimientos, que lograron hacer de mí una nueva persona, gracias a Gigae3d; especialmente al Msc. Paulo Vélez, mi director de trabajo de grado, una persona que siempre estuvo en disposición de acompañarnos en el desarrollo de este gran proyecto.
Muchas gracias a mi amigo y compañero de tesis de grado Jose Olmedo, por tenerme paciencia en los diferentes retos que tocó afrontar y superar en estos estupendos años de carrera universitaria.

Carlos Julio.

TABLA DE CONTENIDO

0. INTRODUCCIÓN 12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15
1.1 DEFINICIÓN 15
1.2 DESCRIPCIÓN 15
2. JUSTIFICACIÓN 17
3. OBJETIVOS 18
3.2 OBJETIVO GENERAL 18
3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18
4. MARCO TEÓRICO 19
4.1 ARQUITECTURA E IMPLEMENTACION DE ROBÓTICA MODULAR 19
4.1.1. SNAKE-LIKE ROBOT 20
4.1.2 Movimientos De Control Snake-Like Robot 24
4.1.3 GAIT 27
4.2 NEUROCIENCIA 28
4.2.1 SEÑALES ELECTROENCEFALOGRÁFICAS (EEG) 29
4.2.2 INTERFACES CEREBRO COMPUTADOR (BCI) 35
5. MARCO CONCEPTUAL 37
5.1 ENTORNO DE DESARROLLO 37
5.2 POLULO MAESTRO 38
5.3 Think Gear Connector 38
6. MARCO LEGAL 39
7. ANALISIS 40
7.1. Metodología Iconix 40
7.2. PLAN GUIA 43
7.3. REQUERIMIENTOS 45
7.3.1 Requerimientos Funcionales 45
7.3.2 REQUERIMIENTOS NO FUNCIONAL 48
7.3.2.2 Requerimientos de software 48
7.4 Casos de Uso 50
7.4.1 DEFINICION DE CASOS DE USO 50
7.4.2 DIAGRAMA DE CASOS DE USOS 51
7.4.2.1 Casos De Uso General 51

7.4.2.2 Caso de uso extendidos.....52
 Caso de uso Registrar usuario 52
 Caso de uso ingresar al sistema.....52
 Caso De Uso Gestionar Usuario.....53
 Caso De Uso Guardar Ondas Cerebrales 53
 Caso De Uso Consultar Ondas Cerebrales 54
 Caso de Uso Control Robótico 54
 Caso de Uso Generar Reportes 54
7.5 Escenarios de los casos de uso del sistema 55
7.6 Diagrama de paquetes.....62
8. DISEÑO.....63
8.1 Diagrama de Secuencia 63
8.2 Diagrama de Clases. 67
8.3 Diagramas de Robustez. 68
8.4 Diagrama Entidad Relación. 69
8.5 Diagrama de componentes.....70
9. IMPLEMENTACION.....71
9.1 Descripción de Herramientas de Diseño.....71
9.2 Esquema de implementación.....72
9.2.1 Java.....72
9.2.2 C Sharp 74
9.3 Descripción de la aplicación 75
10. PRUEBAS.....80
11. SISTEMA DE DETECCIÓN DE ONDAS CEREBRALES Y CONTROL ROBÓTICO.....84
11.1 CAPTURA DE INFORMACIÓN 85
11.2 MUESTREO Y TOMA DE DECISIONES.....86
11.3 CONTROL ROBÓTICO 87
12. CONSTRUCCIÓN Y ESAMBLE SNAKE ROBOT.....89
13. RECOMENDACIONES Y PROYECCIONES.....92
13.1 Recomendaciones. 92
13.2 Proyecciones. 92
14. COSTOS DEL PROYECTO.....93

15. CONCLUSIONES 94
16. BIBLIOGRAFIA 95
17. ANEXOS 97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Obstáculo Cotidiano 21
Figura: 2 Hirose's ACM III snake doing lateral undulation. 22
Figura: 3 Our modification of Mark Yim's PolyBot design, developed at the Sensor Based Planning lab, doing rectilinear locomotion. 22
Figura 4: Movimiento Serpentine. 24
Figura 5: Movimiento Sinus-Lifting. 25
Figura 6: Movimiento Side-Winding 25
Figura 7: Linear Progression 26
Figura 8. Fórmulas de movimiento vertical y horizontal. 28
Figura 9: Corteza Cerebral. 29
Figura 10: Señal Onda Delta. 32
Figura 11: Señal Onda Theta. 33
Figura 12: Señal Onda Alpha. 33
Figura 13: Señal Onda Beta. 34
Figura 14: Señales Ondas Cerebrales. 34
Figura 15: BCI 35
Figura 16: Controladores Polulo Maestro. 38
Figura 17: Estructura de la aplicación en Java. 72
Figura 18: Contenido del paquete *mainbci.* 73
Figura 19: Contenido del paquete *modelo*. 73
Figura 20: Contenido del paquete *controlador*. 74
Figura 21: Estructura de la aplicación en C Sharp. 74
Figura 22: Archivos para la instalación de la aplicación en C Sharp. 75
Figura 23: Archivos para la ejecución de la aplicación en Java. 75
Figura 24: Inicio de sesión. 76
Figura 25: Formulario de registro. 76
Figura 26: Interfaz principal de la aplicación. 77
Figura 27: Interfaz para actualizar datos del usuario. 78
Figura 28: Interfaz de lectura de Ondas cerebrales y control robótico. 78
Figura 29: Consulta de Ondas cerebrales y reportes. 79
Figura 30: Manera Correcta de utilizar el MindSet y Diseño. 85
Figura 31: Sensor Frente

Figura 32: Puntos tierra alrededor de la 85
Figura 33: Servomotor Tower, Primer módulo Snake Robot 88
Figura 34: Sostenedores Servomotores Tower – Diseño y Medidas 89
Figura 35: Articulaciones Forma ‘U’ - Diseño y Medidas. 90
Figura 36: Servomotores con sus articulaciones 90
Figura 37: Resultado Final de la estructura robótica modular - Snake Robot. 91

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Ingreso al Sistema 63
Diagrama 2: Registrar Usuario 64
Diagrama 3: Secuencia Gestión Usuario. 65
Diagrama 4: Secuencia Guardar y Consultar Ondas Cerebrales. 66
Diagrama 5: Robustez - Inicio de Sesión 68
Diagrama 6: Robustez – Registrar Usuario. 68
Diagrama 7: Robustez – Gestión Usuario. 68
Diagrama 8: Robustez – Guardar y Consultar Ondas Cerebrales 69
Diagrama 9: Robustez – Control Robótico 69

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de Requerimientos. 45
Tabla 2: Escenario CU-01.1 55
Tabla 3: Escenario CU-01.2 56
Tabla 4: Escenario CU-01.3 57
Tabla 5: Escenario CU-01.4 58
Tabla 6: Escenario CU-01.5 59
Tabla 7: Escenario CU-01.6 60
Tabla 8: Escenario CU-01.7 61

0. INTRODUCCIÓN

Durante algunos años la ciencia ficción, escritores, y reconocidos cineastas, han presentado su punto de vista sobre la robótica y sistemas de control mental; durante muchos años han mostrado una serie de factores que conllevan a el control de la raza humana por robots, guiados con su gran capacidad de procesar información gracias a la inteligencia artificial con que se dotaron. También esta ciencia ficción ha mostrado grandes tecnologías donde una persona cuadripléjica se puede comunicar y mover por medio de las ondas cerebrales, enviando diferentes señales para controlar una silla de ruedas o responder preguntas, tal cual lo hacía el Capitán Pike; él queda cuadripléjico debido a un accidente con radiación, y por medio de ondas cerebrales podía hacer que una silla de ruedas se lograra mover pasivamente hacia delante, hacia atrás, hacia su derecha o izquierda, al igual de contestar preguntas por medio de señales luminosas, donde una pulsación era un "Si" y dos pulsaciones eran el "No". En *Star Trek* creada en el año 1966 se vio esta historia, la cual ha guiado a grandes científicos a la investigación y desarrollo de esta tecnología.

Los sistemas robóticos hoy en día están diseñados para el servicio y bien humano, constituidos para la investigación, ocio, y demás intereses que puedan surgir en algún momento; estos sistemas son flexibles, lo cual permite tener una amplia gama de diseños, funcionalidades y estructuras, de tal modo que logra satisfacer cualquier necesidad que una persona u organización puedan tener. En esta gran variedad de diseños se encuentran los robots modulares, dotados de una variedad de articulaciones o módulos los cuales son todos idénticos[1], estas plataformas robóticas modulares son capaces de proporcionar diferentes aplicaciones, gracias a su versatilidad y estructura móvil, la cual se puede adecuar a diferentes terrenos, movimientos y funciones.

Galvani en 1790 demostró dos propiedades eléctricas fundamentales de los músculos: 1) La contracción muscular ocurre con la estimulación eléctrica, 2) Durante una contracción originada por un pinchazo se producía una corriente eléctrica. Era pues de suponer que estas dos observaciones tuvieran propiedades semejantes. En efecto en 1875, el fisiólogo ingles Caton demostró actividad eléctrica en el cerebro de conejos, En 1899, con el invento del galvanómetro de cuerda por Einthoven, los fisiólogos y clínicos fueron capaces de estudiar el fenómeno eléctrico producido por la contracción de un musculo y el corazón[2].

---

[1] Yim, M.. Locomotion With A Unit-Modular Reconfigurable Robot. *a dissertation submitted to the department of mechanical engineering and the committee on graduate studies of stanford university*. 1994.

[2] RESTREPO, Navarro. Carlos Eduardo. Editorial Universidad de Antioquia.2006. Medellín Colombia.

En 1926, Hans Berger, psiquiatra de Jena, Alemania, empezó por primera vez a registrar la actividad eléctrica cerebral en humanos por lo cual se le considera el padre de la electroencefalografía. Para poder lograr esto se valió del tubo al vacio, o tubo de radio, inventado por De Forest y Fleming, que actúa como un verdadero amplificador , ya que el voltaje o las diferencias de potencial que se generan en las celular nerviosas son extraordinariamente débiles, de 10-152 microvoltios. Los trabajos de Berger, no obstante fueron mirados en esa época con escepticismo y tuvieron escasa resonancia.

En 1934, los fisiólogos ingles Adrián y Matthews reemprendieron los trabajos de Berger, eliminando todas las posibilidades de artefactos y confirmaron el origen cerebral del ritmo alfa descrito por Berger en las regiones occipitales y propusieron el nombre de ritmo de Berger[3]. De este modo si un sujeto se encuentra en un estado relajado, las señales eléctricas predominantes consistían en una onda cíclica de unos 10 Hz y con una amplitud de unos 50 microvoltios, a la cual llamo onda alfa. Por otro lado, cuando el sujeto estaba envuelto en alguna actividad mental, aparecía una onda de mayor frecuencia y menor amplitud que la alfa, a la cual denominó onda beta[4].

Posteriormente los trabajos se multiplicaron rápidamente y este método de investigación fue adoptado por en muchos centros. Gibbs, Davis y Lennox empezaron en Norteamérica a investigar las descargas eléctricas asociadas a crisis epilépticas. Gracias a estos estudios, hoy en día se estudia y se implementa las Interfaces Cerebro Computador o también llamadas como BCI (Brain-Computer Interface).

Los dispositivos BCI son sistemas que permiten traducir en tiempo real la actividad eléctrica del resultado del pensamiento en órdenes para controlar directamente los dispositivos[5], de tal modo con la debida interpretación de las señales y aplicando un algoritmo de inteligencia artificial, se da el paso a la creación de esta nueva investigación, control de un sistema modular por medio de interfaces cerebro computador.

---

[3] VELEZ, A. Hernán, ROJAS, M. William y otros. Fundamento de Medicina :NeurologiaEdición , Editorial Corporacion para investigaciones biológicas.

[4] ANGEVIN, R. R. Retroalimentación en el entrenamiento de una interfaz cerebro computadora usando técnicas basadas en realidad virtual. 2005.

[5] MÍNGUEZ, Javier.. Tecnología interfaz cerebro - computador Grupo de Robótica, Percepción y Tiempo Real. 2005.

En el mundo ha crecido el interés por esta novedosa tecnología, como sus aplicaciones y desarrollos en diferentes áreas; los sistemas BCI han estado presentes en investigaciones que permiten la detección de enfermedades, la corrección de problemas de desorden mental, al igual que el desarrollo de videojuegos controlados por los diferentes estados mentales, como también el desarrollo de mecanismos que ayudan a controlar sillas de ruedas u otros dispositivos para el beneficio humano.

Se requiere un gran esfuerzo en el momento de hacer un entrenamiento previo para que el sistema aprenda las diferentes ondas y variaciones de estas en una persona. La concentración, frustración, cansancio, distracción, motivación, son algunos de los factores que pueden afectar a la capacidad de éste para controlar sus señales EEG y no son tenidos en cuenta a la hora de establecer un protocolo de entrenamiento que garantice un aprendizaje más eficaz[6], estos factores pueden ser una interferencia a los niveles normales de una persona; son niveles altos que ocasionan ruido, ya que distorsionan la señal pura de una persona, dificultando la lectura para un proceso previo de registro.

[6] Ibid.,p.20

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, los avances tecnológicos son cada vez más rápidos y se ha convertido en parte fundamental del desarrollo de un país, mejorando la calidad de vida a nivel personal y laboral. Debido a esto es necesario involucrar nuevas tecnologías que propicien grandes avances y desarrollos en la vida cotidiana.

En la región colombiana poco se conoce sobre las Interfaces Cerebro Computador, su funcionamiento, la interacción y comunicación Hombre-Máquina, debido a esto es necesario comenzar a implementar proyectos novedosos que incorporen esta tecnología y así convertir a Colombia en un país competente en el área de investigación por medio de BCI y control robótico.

1.1 DEFINICIÓN

Hoy en día la investigación de la BCI *(Brain-Computer Interfaces)*, avanza y evoluciona muy rápidamente; en Colombia el progreso de esta tecnología no se ha visto evolucionar de una manera óptima, ya que esta apenas se está dando a conocer en el entorno que cubre a las líneas investigativas de inteligencia artificial y robótica. Por este motivo nace la necesidad de dar a conocer una nueva aplicación de la tecnología BCI, tal como es el control de una plataforma robótica.

Uno de los aspectos que ha permitido estos desarrollos han sido los avances de la tecnología BCI dado que son sistemas que permiten traducir en tiempo real la actividad eléctrica del resultado del pensamiento en órdenes para controlar directamente los dispositivos[7].

1.2 DESCRIPCIÓN

El problema general que se maneja en este proyecto es la poca investigación e implementación de las interfaces cerebro computador en Colombia, debido a esto surge la necesidad de realizar este proyecto donde se estudiaran y se desarrollara una aplicación que permita la captura, codificación e interpretación de las señales cerebrales, mediante un canal de comunicación hombre máquina de forma natural, obtenidas por medio de un dispositivo de BCI, para ser incorporadas a un sistema robótico.

[7] Ibi. p.1.

De este modo se busca alcanzar ser uno de los pioneros en la investigación de las aplicaciones cerebro – maquina, logrando así impulsar el desarrollo de futuras investigaciones con la tecnología BCI.

2. JUSTIFICACIÓN

En el futuro la BCI será la tecnología que permitirá mejorar la interacción del hombre con los dispositivos electrónicos[8] permitiendo que este manejo sea natural, es decir que tan solo con el pensamiento se pueda realizar alguna función en específico, traduciendo las intenciones directamente en órdenes. Por esto se ve la necesidad de comenzar a mostrar los diferentes campos en los que se desarrolla esta tecnología, tales como las deficiencias motoras severas, el control de videojuegos, ambientes inteligentes, la neurorobótica y sistemas robóticos.

Este proyecto está enfocado en controlar por medio de la tecnología BCI, plataformas robóticas modulares, y así visualizar movimientos pre programados diseñados para este tipo de robots, de tal modo que se pueda expandir la idea principal a diferentes campos de la vida cotidiana, permitiendo que este país se vincule o cree organizaciones de desarrollo tecnológico que centren su investigación en los BCI.

En Colombia se está iniciando la investigación de estas nuevas tecnologías, así que se ve la oportunidad de ser pioneros en el control robótico por medio de las BCI, brindando a la comunidad innovadoras ideas para el progreso de las investigaciones.

En la actualidad los procesos Hombre-Máquina han sido ligados a la dependencia de periféricos, los cuales realizan las acciones que una persona quiere hacer, las ideas no van directamente desde el cerebro a las computadoras o dispositivos inteligentes, sino que deben pasar por intermediarios como son los teclados, ratones, lápices para pantallas táctiles, etc.; estos periféricos reciben por medio de un estímulo muscular una orden, esta orden fue generada por un deseo iniciado en el cerebro, el cual no se ejecutó en el momento de concebirse sino, que debió tener una serie de pasos para lograr convertirse, de un deseo a una acción reflejada por algún dispositivo. Con el progreso de esta investigación se puede tener una acción reflejada directamente en un dispositivo desde que se genera la idea, de tal modo que se pueda hacer que lo que se piense se pueda ver reflejado sin necesidad de moverse a tomar un ratón, o presionar una tecla, sino que por medio del pensamiento se pueda controlar cualquier dispositivo que posea esta tecnología. Con este proyecto se puede mostrar algo similar, controlando un robot tipo Snake y haciendo que realice algunos movimientos según el estado mental, de tal modo poder controlar la plataforma robótica planteada para este trabajo sin necesidad de periféricos, sino que haya un transductor que permita hacer que el robot entienda que significa cada estado mental, y así haga el movimiento para el que fue programado.

[8] Ibid. p. 1.

3. OBJETIVOS

3.2 OBJETIVO GENERAL

- Incorporar la tecnología de las interfaces cerebro computador por medio del diseño de una plataforma robótica y un algoritmo inteligente de control para la interpretación de los diferentes estados mentales obtenidos.

3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar una plataforma robótica modular, basada en la Snake Robot, la cual ayude a la visualización del movimiento *Linear Progression* según las variaciones de las ondas alfa, beta, teta y delta obtenidas por medio de la codificación del sistema BCI.

- Crear un algoritmo que permita la recepción, decodificación y depuración de las señales obtenidas por medio del dispositivo BCI elegido.

- Interpretar las señales capturadas por medio del dispositivo BCI a través de un algoritmo Fuzzy encargado de interpretar los cambios de las variaciones de las ondas alfa, beta, teta y delta.

- Realizar un algoritmo que permita controlar los movimientos del robot Snake según el estado relajación o estrés de una persona.

- Hacer un registro de las diferentes ondas cerebrales de una persona, para tener un historial de los diferentes estados obtenidos durante el proceso de utilización del programa.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 ARQUITECTURA E IMPLEMENTACION DE ROBÓTICA MODULAR

La utilización de la robótica modular se ha comenzado a desarrollar para el enfrentamiento de terrenos de mayor dificultad[9], ya que permite reconfigurar su estructura para sobrepasar obstáculos que otro tipo de robot no podría hacerlo; otras arquitecturas robóticas al enfrentarse a terrenos no planos, y con obstáculos de mayor complejidad que un escalón, se verían fracasar en la mayoría de sus configuraciones, otras se demorarían mucho más en sobre pasar esos obstáculos y proseguir su camino, en cambio las arquitecturas de los diferentes robots modulares están diseñadas para la adaptación de los diferentes terrenos, lo cual les ayuda al enfrentarse óptimamente a esta variedad de dificultades que pueden existir y presentarse en un lugar dado.

Los robots modulares están compuestos de básicamente una estructura de varios bloques relativamente pequeños, al igual de interfaces de interconexión uniformes, los cuales permiten la transferencia de datos, alimentación y fuerzas necesarias para que los actuadores puedan ejercer los diferentes movimientos[10].

la robótica modular se encuentra situada en uno de los grupos más grandes, las cuales tienen como característica principal su versatilidad, su eficacia y su bajo costo, tanto en consumo como en implementación, cada de las diferentes subestructuras de la robótica modular se encuentran ligadas a tener una de las tres arquitecturas básicas: Lattice, chain/tree y mobile/stochastic; cada una tiene sus propias características las cuales son diseñadas para el desempeño de las diferentes plataformas en los variados terrenos a los que se pueden enfrentar normalmente; en esta tesis se utilizará la arquitectura de chain/tree (árbol de cadena), ya que permite la interconexión de los diferentes módulos formando entre ellos una cadena, esto ofreciendo una robustez en su diseño y configuración, ya que las cadenas pueden moverse en cualquier dirección, con mucha eficiencia y flexibilidad, con bajo coste y gran desempeño.

La idea de un robot modular reconfigurable comenzó en la década de los 90's con el trabajo de Fukuda Nakagawa en 1998[11], luego Chirikjian en 1991[12] and Mark

[9] YIM. Op.Cit.,p.1

[10] Ibid.,p.2

[11] Nakagawa, T. F.. Dynamically reconfigurable robotic system" in Robotics and Automation. *Proceedings, 1988 IEEE International Conference on*. 1998.

Yim en 1994[13]. Yim, hizo un robot modular en cual le llamo Polypod, un robot modular, capaz de unir y separar sus módulos por sí mismo; él propuso algunos gaits capaces de funcionar sobre otros gaits, y de tal modo hacer que la estructura chain/tree se moviera autónomamente y así logrando realizar su gait, el cual le permitió a su robot realizar este movimiento.

4.1.1. SNAKE-LIKE ROBOT

Un snake robot es una subestructura de un robot modular, de hecho el Snake-Like robot y los robots modulares no son lo mismo, pero ambos tienen las mismas bases y características muy similares, como una trasmisión de datos y de alimentación redundante, una habilidad de tener una locomoción no habitual, una estructura mecánica, entre otras; pero tienen como diferencia su reconfiguración, arquitectura, métodos de control y sobre todo el diseño inusual[14].

Este diseño permite tener una gran versatilidad, movilidad, desempeño y eficiencia, al moverse en todos los terrenos existentes en el medio ambiente, al igual que en el medio ambiente inhóspito de otro planeta; los Snakes-like Robots son diseñados y programados con diferentes gaits, los cuales permiten que este efectué varios movimientos, dando así una forma precisa de sobrepasar los diferentes obstáculos terrenales que se puedan presentar, su diseño articulado y de cableado redundante permite que sus movimientos sean coordinados y efectuados de una manera óptima, dando así al robot una eficacia en el terreno que se encuentre.

El planeta tierra tiene terrenos los cuales pueden causar una dificultad para el movimiento de muchos tipos de mecanismos robóticos, aquí se puede observar un ejemplo (figura 1), donde se muestra un terreno el cual no puede ser sobrepasado por un robot común y como este se atasca fácilmente; en cambio la estructura de cadena que tiene la Snake-Like Robot, permite que con facilidad esta pueda sobrepasar estos obstáculos terrenales, los cuales son muy comunes en el medio ambiente y pueden presentar un desafío para los robots no articulados.

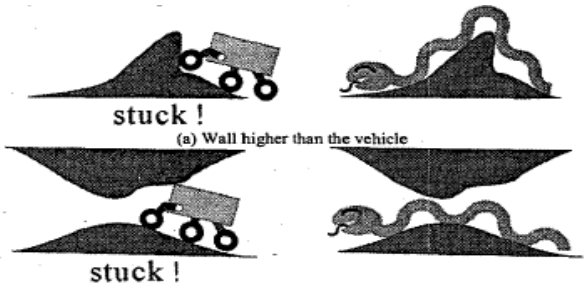
---

[12] BURDICK, G. C.. Hyper-redundant robot mechanisms and their applications, in Intelligent Robots and Systems [online] . En: *Intelligence for Mechanical Systems, Proceedings IROS '91. IEEE/RSJ International Workshop*. 1991.

[13] Yim, M.. Locomotion With A Unit-Modular Reconfigurable Robot. *a dissertation submitted to the department of mechanical engineering and the committee on graduate studies of stanford university*. 1994.

[14] MELO, Kamilo.Serial Hyper-redundant Locomotion system for Variational Non-structured terrain Autonomous transitions. *Thesis Doctoral*. 2011.

Figura 1. Obstáculo Cotidiano



Fuente: KIMURA, Hitoshi S. H.. Stuck evasion control for Active-Wheel Passive-Joint snake-like mobile robot 'Genbu". *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics 8 Automation New Orleans*. 2004.

Un Snake-Like robot es una categoría de los robots articulados móviles, estos están compuestos por múltiples módulos unificados[15]; estos módulos al generar un movimiento, accionan un reacción en cadena lo cual hace que los módulos superiores se muevan con más fuerza y con menos esfuerzo, permitiendo ganar velocidad, fuerza y estabilidad, sin necesidad de tener un gasto energético mayor; también permite que la fricción que se genera al tener un módulo en el suelo se reduzca de modo que se pueda avanzar sin sobrecargar ningún módulo y disminuir aún más el coste de energía en cada módulo, al igual que proporciona más impulso, lo cual genera más velocidad.

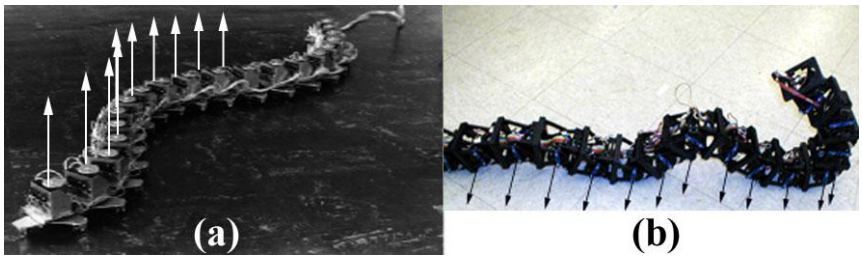
Su estructura articulada, permite que se puedan añadir o disminuir el número de módulos en el robot, lo cual ayuda a crear estructuras más largas, las cuales puedan surcar más fácilmente los terrenos que opongan más dificultad.

[15] KIMURA, Hitoshi S. H.. Stuck evasion control for Active-Wheel Passive-Joint snake-like mobile robot 'Genbu". *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics 8 Automation New Orleans*. 2004.

4.1.1.1 Antecedentes. El primer mecanismo de tipo Snake-Like robot fue hecho por Hirose en el instituto de tecnología de Tokio en 1972 por (Elie Shammas Alon Wolf H. Ben Brown[16] y Shigeo Hirose[17] (Figura 2ª), en su trabajo, realizó estudios sobre la locomoción en el plano de esta estructura robótica, este robot tenía solo 2 grados de libertad, el cual se movía por medio de puerto serial, este era muy básico y tenía en su estructura ruedas que permitían que sus movimientos fueran más rápidos y estables.

Figura: 2 Hirose's ACM III snake doing lateral undulation.

Figura: 3 Our modification of Mark Yim's PolyBot design, developed at the Sensor Based Planning lab, doing rectilinear locomotion.



Fuente: SHAMMAS, Elie Alon Wolf H. Ben Brown, J. H.. New Joint Design for Three-dimensional Hyper Redundant Robots [online]. *University, Pittsburgh, PA 15213, USA, Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems Las Vegas, Nevada*. 2003.

Luego en 1991 Gregory introdujo el término robots híper-redundantes[18], para describir robots con numerosos e independientes grados de libertad (DOF, por sus siglas en ingles), luego Choset y su grupo de trabajo, comenzaron a indagar y diseñar mecanismos de articulaciones *spatial hyper redundant* (SHR) con tres dimensiones, el hizo una snake robot, la cual podía moverse tanto en el 2d como en 3d, también acompañada por ruedas las cuales le permitían un movimiento más prolongado y rápido, además que por medio de las gaits podía moverse hacia arriba.

[16] SHAMMAS, Elie Alon Wolf H. Ben Brown, J. H.. New Joint Design for Three-dimensional Hyper Redundant Robots [online]. *University, Pittsburgh, PA 15213, USA, Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems Las Vegas, Nevada*. 2003.

[17] HIROSE, Shigeo M. M.. Biologically Inspired Snake-like Robots. *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*. 2004.

[18] BURDICK.Op.,cit.p.2

En el año 2000 Mark Yim con Polybot incorporo nuevas gaits, que permitían hacer mejores movimientos a un robot tipo snake (Figura 2[b])[19], estos desarrollos permitieron la mejora de muchas versiones de snake robots, dando así paso a la estructuración de mejores gaits, las cuales permiten un desplazamiento y mejores movimientos a la plataforma robótica.

Un robot móvil se compone de varios enlaces interconectados por medio de una conexión serial, lo cuales se conocen como Snake-Like Robots. Pero también hay unos que usan interconexiones activas y pasivas, y módulos que se auto propulsan como por ejemplo añadiendo ruedas o pistas que permitan un mejor desplazamiento por el campo[20].

En las últimas dos décadas varios investigadores han estado desarrollando sobre estos tipos de robots, tales como Hirose, el cual ha trabajado en este tipo de plataformas móviles para el rescate[21]. Luego Matsuno comenzó su investigación e hizo su aporte con un robot de rescate llamado KOHGA[22].

4.1.1.2 Estructura Activa. El objetivo de esta investigación es diseñar un robot el cual posea un cuerpo activo sin ruedas, muchos investigadores han optado por proporcionar ruedas a sus robots, para hacer más fácil el movimiento plano (2D) de un Snake-Like Robot.

Varios investigadores han optado por hacer sus primeros modelos con una estructura activa y ruedas activas, lo cual les permitió a sus primeros prototipos de robots articulados tener un movimiento plano más visible y más óptimo; varios investigadores han buscado la inspiración en la biología, donde encontraron los múltiples movimientos de una culebra, descubriendo que esta podía moverse por todos los terrenos del planeta (agua, tierra, desiertos, montañas, rocas, arboles, hasta planear en el aire), lo cual les pareció muy interesante y comenzaron a desarrollar este tipo de plataformas robóticas basadas en el modelo biológico de una culebra. El primer investigador que comenzó su investigación basado en el movimiento de las serpientes fue Hirose en el año 1972[23], con el ACM (Active Chord Mechanism), donde la fricción de sus ruedas con el terreno no hacía que se

---

[19] YIM, Mark D. G.. "PolyBot: a Modular Reconfigurable Robot". *roceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation* . 2000.

[20] MELO.Op.Cit.,p.10

[21] KIMURA.Op.Cit.,p.3

[22] KAMEGAWA, T."Development of the snake-like rescue robot," in Robotics and Automation. *Proceedings. ICRA '04. 2004 IEEE International Conference on, vol. 5*. 2004.

[23] HIROSE.Op.Cit.,p.2

necesitara mucha más energía de propulsión, sino que permitía que se propulsara por la velocidad que iba adquiriendo. Luego en el transcurso de los años otros investigadores fueron perfeccionando los diseños, haciendo ya que sus movimientos no fueran solo planos (2D), sino que se pudieran mover en el espacio (3D), Klaassen y Paap en 1999, propusieron un diseño de un snake robot con ruedas que rodearan el cuerpo, lo cual hizo que se proyectara no solo en el movimiento plano (2D), sino también en el movimiento espacial (3D).

Luego fueron propuestos los snake robots sin ruedas, lo cual permitió tener un ahorro de energía motriz y ampliando la similitud en su biología natural. Las investigaciones de los movimientos dieron como resultado el desarrollo de las gaits básicas para todo robot tipo snake.

4.1.2 Movimientos De Control Snake-Like Robot

4.1.2.1 Serpentine. El movimiento serpentine (Figura 3), es aquel que representa el movimiento común de una serpiente, el cual hace que esta se mueva solo sobre el eje plano (2D). Este movimiento puede llevar el robot hacia adelante y hacia atrás, dependiendo el ángulo que se programe puede hacer giros leves hacia sus laterales. Este movimiento de esta regido por el ángulo que se haya programado, este por medio de fórmulas le da la velocidad y dirección de los movimientos[24], este movimiento es perfecto para los snake robots con ruedas, ya que se pueden deslizar rápidamente, haciendo útil el movimiento; en los robots sin ruedas el robot quedará en el suelo haciendo el movimiento, pero sin desplazamiento frontal.

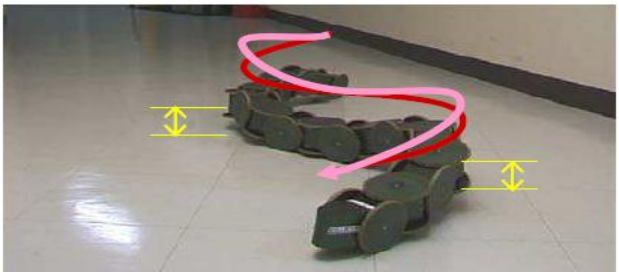
Figura 4: Movimiento Serpentine.

Fuente : HIROSE, Shigeo M. M.. Biologically Inspired Snake-like Robots. *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*. 2004.

[24] Ibid.,p.2

4.1.2.2 Sinus-Lifting. Este movimiento puede generarse gracias a la combinación del movimiento serpenteante horizontal y el vertical, este movimiento se genera ganando altitud y amplitud, pero muy poca; la ventaja de este movimiento es la propulsión que alcanza cada vez que un módulo sube y vuelve a tocar el suelo (Figura 4); esto ayudando a disminuir la fricción que se genera y brinda más estabilidad en los movimientos[25].

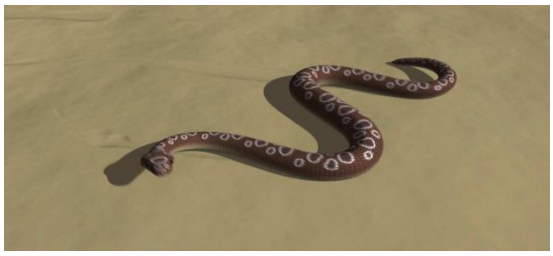
Figura 5: Movimiento Sinus-Lifting.



Fuente:

4.1.2.3 Side-Winding. Este movimiento fue inspirado por la culebra del desierto, la cual hace un movimiento serpenteante, el cual eleva parte de su cuerpo mientras la otra está tocando el suelo, esto permitiéndole tomar un impulso mayor, con menos gasto de energía y alejándola de las altas temperaturas de las arenas del desierto (Figura 5).

Figura 6: Movimiento Side-Winding



www.snakerobots.com

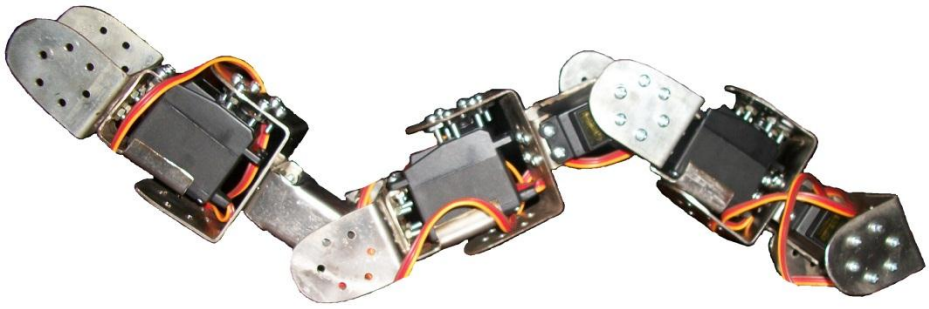
Este movimiento esta guiado por una onda sinodal constante, la cual permite tener un desplazamiento por los diferentes ejes, haciendo que el cuerpo del robot avance con gran eficiencia[26]. Este movimiento según las teorías que se han

[25] Ibid.,p.2
[26] Ibid. p.

planteado es el que menos tiene fricción, por lo tanto es el más eficaz, rápido y eficiente que cualquier otro movimiento; este movimiento se basa en tener 2 porciones del cuerpo en tierra y el resto en el aire, conservando el momento[27].

4.1.2.4 Linear Progression. El linear progression es el movimiento típico de una oruga, el cual hace que la parte trasera su cuerpo comience una ondulación hacia el frente, formando una onda sinodal, de este modo se produce un movimiento linear hacia el frente o hacia atrás, proporcionando un impulso que permite el desplazamiento del robot.

Figura 7: Linear Progression



Este movimiento es lento, su velocidad depende de los ángulos programados, tal que si el ángulo es muy proporcionado tendiendo a los 63 grados, el movimiento va a ser más lento, con mucha más altitud y poca amplitud en su desplazamiento; se considera el linear progression un movimiento eficiente ya que es constante y conserva el momento[28].

4.1.2.5 Rolling. Este es un movimiento que gasta más energía que los otros, ya que hace que el cuerpo del robot gire sobre su propio eje, de tal modo que permite un desplazamiento lateral rápido pero con mucho gasto energético, ya que hace que los módulos del centro se esfuercen más que los de la cabeza o los de la cola[29].

---

[27] TESCH, Matthew, K. L.. "Parameterized and Scripted Gaits for Modular Snake Robots" Advanced Robotics. *Department of Robotics, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213, USA Received*. 2008.

[28] Ibid.,p.2

[29] Ibid.,p.3

4.1.3 GAIT

Los gaits son movimientos programados, los cuales simulan los de una animal; en este trabajo se simularán 3 movimientos, el Side-Winding, el linear progression, y el Rolling.

Para esta investigación se define que los módulos impares serán los que manejan los movimientos horizontales, y los módulos pares manejan los movimientos verticales; también se ha definido que los módulos se numeran desde la cabeza hasta la cola, dando al primer módulo el número 0; por lo tanto los módulos pares son los responsables de la propagación de la onda vertical y los módulos impares serán los responsables de propagar la onda horizontal[30].

Al igual de Choset se tomará la denotación de términos como $offset_{vertical}$, $offset_{lateral}$, $amplitud_{vertical}$, $amplitud_{lateral}$, para identificar los parámetros que afectarán las dos ondas ortogonales[31]. Para generar las ondas verticales y horizontales se toman las formulas (Figura 6), donde se observan las fórmulas que se deben utilizar para el movimiento lateral y vertical; cada formula está escrita para cualquier cantidad de módulos; el offset en cualquiera de las dos fórmulas, son definidos como el ángulo inicial que tendrán los módulos, típicamente su valor es cero, pero puede ser modificado para brindar una mayor estabilidad a algunos movimientos; el valor n, se define como las cantidades de módulos existentes en robot; el valor de amplitud, es el valor que describe las amplitudes de las ondas perpendiculares que genera el movimiento cinético de la estructura robótica; en la mayoría de los casos la amplitud y la velocidad están correlacionados, al incrementarse la amplitud se incrementará la velocidad, lo cual puede mejorar y sobrepasar obstáculos mayores, pero al incrementarse demasiado la amplitud del robot, la estabilidad de este puede verse afectada y caer de lado; el $d\theta/dn$ permiten que más módulos puedan participar en una onda, y a su vez permite tener más ondulaciones en los movimientos; la frecuencia de la onda sinodal es determinada por θ, el cual incrementa a lo largo del tiempo y a lo largo de la longitud de la Snake robot, el ritmo al que cambia θ está dado por $d\theta/dn$ y $d\theta/dt$; la onda seno que se muestra en los movimientos del robot, tienen tanto componente espacial como temporal, dados por $d\theta/dn$ y $d\theta/dt$ respectivamente; Por último, δ es simplemente una fase de desplazamiento para controlar el tiempo entre los movimientos de las dos ondas ortogonales. Estos parámetros se pueden modificar para cambiar el tipo y la naturaleza de la marcha realizada por el robot[32].

---

[30] LIPKIN,Kevin I. B.. Differentiable and Piecewise Differentiable Gaits for Snake Robots. *Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems San Diego*. 2007.

[31] Ibid.,p.3

[32] Ibid.,p.3

Figura 8. Fórmulas de movimiento vertical y horizontal.

$$angle(n,t) = \begin{cases} offset_{even} + amplitude_{even} * \sin(\theta),\ n = even, \\ offset_{odd} + amplitude_{odd} * \sin(\theta + \delta),\ n = odd, \end{cases} \quad (1)$$

$$\theta = \left(\frac{d\theta}{dn} * n + \frac{d\theta}{dt} * t \right), \quad (2)$$

La configuración inicial para el $offset_{lateral}$ debe ser un valor mayor de 5, ya que así se brinda una mayor estabilidad en los movimientos; ya que el snake robot va hacer cableado, se va a tener un obstáculo en los movimientos, por esto se hace necesario tener un $offset_{lateral}$ configurado, así se evita la inestabilidad que se puedan dar por la obstaculización del cableado.

4.2 NEUROCIENCIA

El hombre es una máquina de procesos, el cual está compuesto por millones de neuronas encargadas de procesar, almacenar y manipular grandes cantidades de información y tráfico de manera inigualable, el comportamiento humano es el resultado de una actividad y funciones neuronales; la investigación de neurociencia tiene como objetivo principal explicar las diferentes actividades cerebrales que se obtengan del sistema nervioso central.

Las diferentes ondas cerebrales se dan por medio de las señales eléctricas que recorren las neuronas que se encuentran procesando la información recibida por el sistema sensorial; en este capítulo se tomaran estas ondas cerebrales se describirá su función, estas ondas son conocidas como Alpha, Beta, Theta, Delta, y Gamma.

Para el estudio de estas ondas se debe utilizar un sistema de recepción y monitoreo denominado electroencefalógrafo, el cual por medio de diferentes electrodos posicionados en el cuero cabelludo de la persona obtienen unas lecturas de estas ondas.

El cerebro humano es un sistema muy complejo y amplio, la neurociencia permite tomar este sistema y dividirlo en diferentes subsistemas, el cual permite procesar de manera más óptima las señales e interpretarlas de una manera más acertada, siempre buscando el bien de los usuarios y el desarrollo de aplicaciones para el bien común, esta investigación es guiada al estudio de las diferentes formas de procesar una señal de manera que todas las personas las puedan utilizar sin tener algún riesgo.

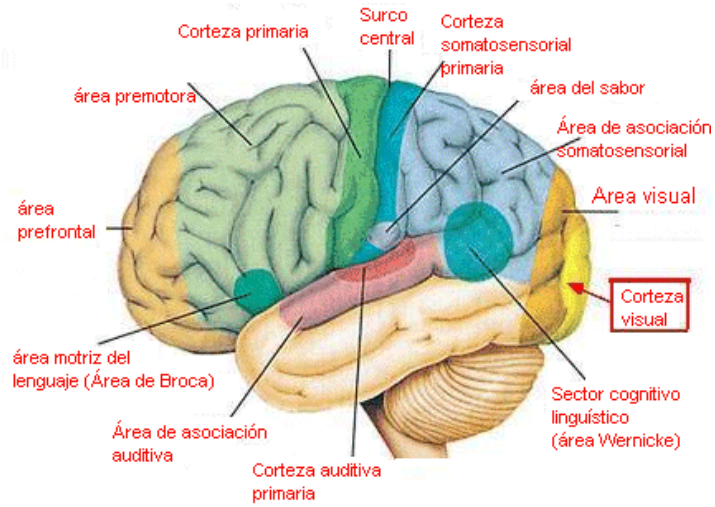
4.2.1 SEÑALES ELECTROENCEFALOGRÁFICAS (EEG)

La Electroencefalografía es el registro y evaluación de señales generados por el cerebro con el fin de estudiar el sistema nervioso, dichas señales son obtenidas por medio de electrodos situados sobre la superficie del cuero cabelludo. Las células nerviosas son conocidas como neuronas, de las cuales en el cerebro humano existen alrededor de 100 billones, además ellas pueden estar conectadas y formar una gran red, por otro lado están dispuestas a recibir diferentes estímulos nerviosos de otros órganos receptores. Dicha actividad eléctrica cerebral puede ser medida y existen 4 niveles diferentes, los cuales son: Desde el interior del cerebro, desde la superficie de la corteza cerebral, desde la base del cráneo y desde la superficie del cuero cabelludo utilizando electrodos para obtener las señales eléctricas.

4.2.1.1 El Cerebro

El cerebro humano es el órgano del ser humano más importante y capaz de procesar diferentes actividades que se realizan a diario como el control del cuerpo, el pensamiento, la memoria. Presenta una actividad eléctrica que es generada por unas células nerviosas denominadas neuronas. Se estima que en el sistema nervioso puede haber entre 50 y 100 billones de neuronas.

Figura 9: Corteza Cerebral.



Fuente: http://aprendemente.blogspot.com/

Cada neurona puede ser excitada por estímulos naturales procedentes de los órganos receptores (por ejemplo, los ojos u oídos) o por impulsos neuronales procedentes de otros nervios, teniendo como consecuencia la aparición de un impulso eléctrico que a su vez puede propagarse a otras neuronas. Dicha actividad eléctrica en el cerebro puede ser medida a través de unos electrodos colocados en la superficie de éste. A esta técnica de medida se le conoce como electroencefalografía y a las señales obtenidas, electroencefalograma (EEG) o señales electroencefalográficas (señales EEG), presentando una amplitud de entre 10 y 200 μV y una frecuencia de oscilación de entre 0.5 y 100 Hz.[33].

De otro modo, por medio del electroencefalograma se pueden detectar algunas alteraciones o problemas en el cerebro humano como tumores, hemorragias, encefalitis, traumatismos entre otras.

La corteza cerebral se encuentra divida por dos hemisferios, el hemisferio izquierdo y el hemisferio derecho, los cuales están conectados por fibras nerviosas que permite el paso de información por medio de señales bioeléctricas. El tejido nervioso más voluminoso es conocido como el cuerpo calloso que tiene unos 25 millones de fibras nerviosas. Esta vía de comunicación entre hemisferios, permite a cada lado del cerebro intercambiar información con más libertad, aunque cada hemisferio procesa las cosas de manera diferente.[34]

En el hemisferio izquierdo se encuentran todos los procesos de la información analítica, matemática, lógica y lineal de todas nuestras acciones, se especializa en el manejo del lenguaje y la comunicación verbal de las personas, ejecución planificación y toma de decisiones.

En el hemisferio derecho se encuentra la integración de varios tipos de información (sonidos, imágenes, olores, sensaciones), especialista en sensaciones, sentimientos y el desarrollo de habilidades para artísticas y musicales.

Cada hemisferio se divide en cuatro grandes lóbulos: frontal, parietal, temporal y occipital, de este modo se podrá identificar con más exactitud cuál es la labor y actividad cerebral de cada lóbulo, es decir que los lóbulos parietales contienen un detallado mapa de la sensibilidad, los lóbulos occipitales se encargan de la visión, los temporales del oído, y los lóbulos frontales son los encargados de un gran número de funciones, como resolver problemas complejos o controlar la actividad muscular. A pesar de que haya una gran simetría entre los hemisferios derecho e

---

[33] ANGEVIN, R. R. Retroalimentación en el entrenamiento de una interfaz cerebro computadora usando técnicas basadas en realidad virtual. 2005.

[34] JENSEN, Eric. *Cerebro* y aprendizaje: competencias e implicaciones educativas.2004

izquierdo, sus funciones son distintas. Sin más, el hemisferio izquierdo controla los músculos del lado derecho del cuerpo, y el derecho los del lado izquierdo.[35]

Para el desarrollo de la investigación y ejecución del proyecto se debe escoger el dispositivo BCI adecuado, actualmente en el mercado existen dos dispositivos, uno es el Mindset de la empresa NeuroSky que cuenta con un único canal de electroencefalografía ubicado en la parte pre frontal del cráneo y el otro dispositivo es el Epoc de Emotiv que cuenta con 14 canales de electroencefalografía. Para efecto de este proyecto se escogió el Mindset el cual posee un electrodo que está ubicado en la zona pre frontal, el cual permite obtener las diferentes lecturas e interpretaciones de los estados mentales de relajación y niveles de excitación cerebral alto.

[35] ANGEVIN, R. R. Retroalimentación en el entrenamiento de una interfaz cerebro computadora usando técnicas basadas en realidad virtual. 2005.

4.2.1.2 Ritmos Cerebrales

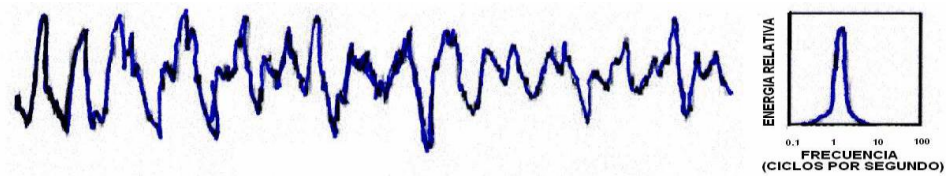
La actividad electroencefalografía del cerebro humano incluye una variedad de diferentes ritmos identificados por su frecuencia, localización y otros aspectos relacionados con la función cerebral. Dicha actividad siempre está presente – mientras se esté dormido o despierto, mientras se esté en meditación o en hipnosis –, sin embargo, puede variar dependiendo del estado mental, de los pensamientos o de determinadas acciones.

Si bien en la literatura especializada en el campo de la electroencefalografía se han propuesto numerosos ritmos para clasificar las señales electroencefalográficas, se pueden distinguir principalmente cuatro ritmos, cada uno de ellos asociado a una determinada banda de frecuencia. Estas bandas han sido identificadas a lo largo de los años como consecuencia de su relación con varios fenómenos psicológicos y fisiológicos[36].

Las ondas cerebrales pueden clasificarse según la frecuencia y voltaje en: Delta, Theta, Alfa, Mu, Beta, Ram alta y ondas gamma, a continuaciones se hará una descripción de cada una de ellas[37].

- Onda Delta: Su frecuencia está comprendida entre 0.2 y 3.5 ciclos por segundo y su amplitud puede variar entre 10 y 50 µV. En estado de meditación en adultos esta onda corresponde a un estado de sueño profundo.

Figura 10: Señal Onda Delta.



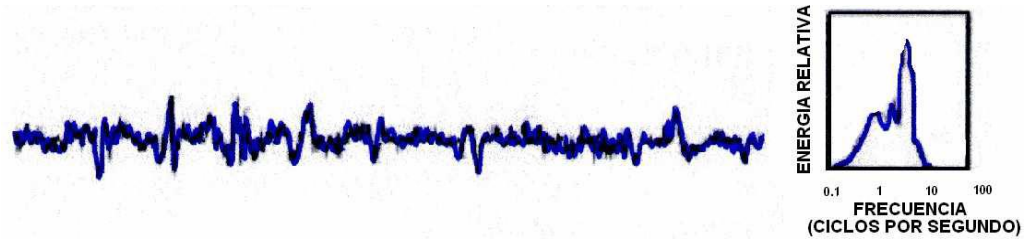
Fuente: VELEZ, Paulo Andres H. S.. *clasificación básica de neuroseñales.* 2010.

[36] Physiological, A. J.. *Psychophysiology: Human Behavior & Physiological.* New York: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Publishers, fourth edition. 2000.

[37] VELEZ, Paulo Andres H. S.. *clasificación básica de neuroseñales.* 2010.

- Onda Theta: Corresponde con una onda entre 3.5 y 7.5 Hz y un margen de amplitud que va desde los 50 hasta los 100 µV. Se asocia a estados de relajación o inactividad mental.

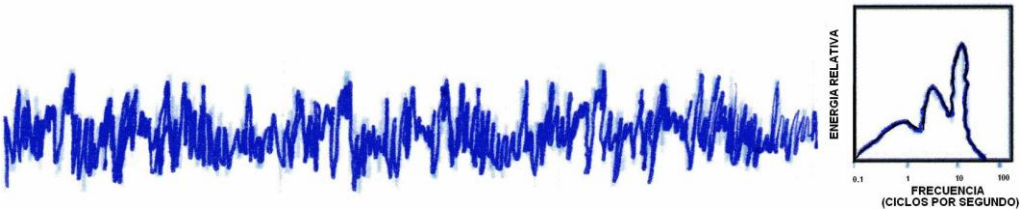
Figura 11: Señal Onda Theta.



Fuente: VELEZ, Paulo Andres H. S.. *clasificación básica de neuroseñales.* 2010.

- Onda Alfa: Presenta una amplitud de entre 100 y 150 µV y una frecuencia de oscilación de entre 7.5 y 13 Hz. Estado cuando una persona se tienen los ojos abiertos, corresponde a un estado de relajación y tranquilidad.

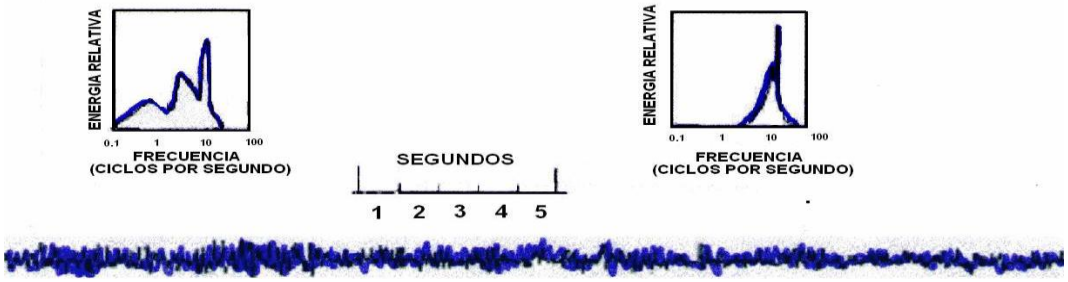
Figura 12: Señal Onda Alpha.



Fuente: VELEZ, Paulo Andres H. S.. *clasificación básica de neuroseñales.* 2010.

- Onda Beta: Señal de 150 a 200 µV y con frecuencias de 13 a 18 Hz. Se relaciona al movimiento de las extremidades del cuerpo, estados de alerta o ansiedad.

Figura 13: Señal Onda Beta.



Fuente: VELEZ, Paulo Andres H. S.. *clasificación básica de neuroseñales.* 2010.

- Ondas Gama: a una onda de frecuencia mayor a 30 Hz, están asociadas a procesos de comunicación y sincronización entre las distintas zonas neuronales.

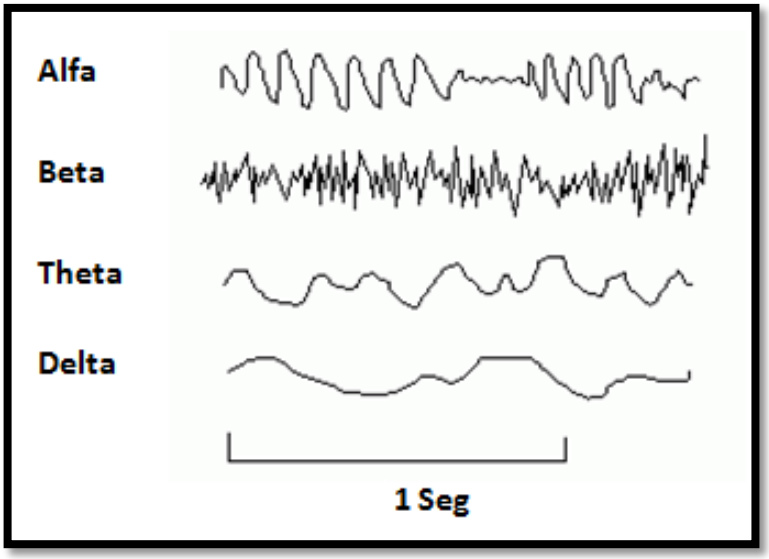


Figura 14: Señales Ondas Cerebrales.

4.2.1.3 Electrodos

Para lograr estudiar y evaluar las señales electroencefalografías, es necesario utilizar unos electrodos que permiten convertir las corrientes iónicas existentes en la superficie de la piel en corrientes eléctricas de los cables, es necesario utilizar un gel para el contacto entre el cuero cabelludo y el electrodo.

En la actualidad, los electrodos superficiales más utilizados para el registro de señales EEG son los de Plata-Cloruro de plata (Ag/AgCl) debido a la estabilidad eléctrica que proporcionan, permitiendo una conversión entre corriente iónica y corriente eléctrica prácticamente constante e independiente de la frecuencia[38].

4.2.2 INTERFACES CEREBRO COMPUTADOR (BCI)

Cualquier forma de comunicación o control natural, requiere de un procesamiento donde se activan diversas áreas del cerebro proporcionando señales al sistema nervioso, de este modo a diario los seres humanos realizan miles de tareas donde el cerebro es el principal motor.

Las interfaces cerebro-computadora conocidas como BCI (*Brain-Computer Interface*), nacen como un sistema artificial de comunicación donde se basan en el análisis de las señales procedentes de la actividad eléctrica del cerebro, muy especialmente de las señales electroencefalográficas (señales EEG), las cuales pueden ser modificadas intencionadamente por el usuario.

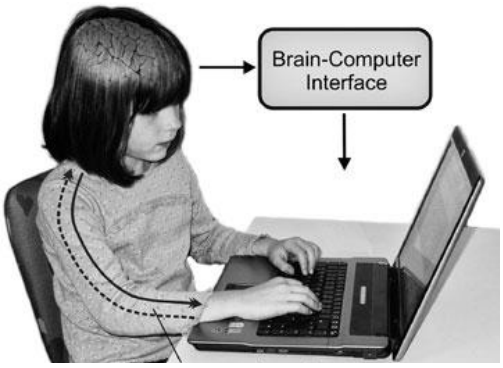


Figura 15: BCI

Fuente: Graimann, Bernhard. Brain computer interfaces. Gert Pfurtscheller.2010

[38] ANGEVIN,Op.Cit.,p.1

Las señales de control requeridas en este tipo de interfaces se obtienen a partir de los potenciales bioeléctricos que se generan en el cerebro y que pueden ser detectados a través de electrodos aplicados en el cuero cabelludo[39]. De hecho esta interfaz Hombre-máquina se puede comparar con alguna interfaz física como un teclado o un ratón de computadora, solo que el medio de comunicación y transmisión son diferentes.

La definición más reciente de este tipo de interfaces es la propuesta durante el primer congreso internacional sobre tecnologías BCI celebrado en junio de 1999 en el Instituto de Rensselaerville en Nueva York, y que definía a una interfaz cerebro-computadora como un sistema de comunicación que no depende de las vías normales que usa el cerebro: nervios periféricos y músculos[40].

[39] Ibid. p.

[40] WOLPAW J.R., B. N.. *Brain-computer interface technology: a review of the first international meeting.* IEEE Trans. Rehab. Eng Vol. 8, Nº. 2, pp. 164-.2000.

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1 ENTORNO DE DESARROLLO

El presente proyecto será realizado mediante el entorno de desarrollo Visual Studio C Sharp 2008, el cual es de propiedad de la empresa multinacional Microsoft.

Visual Studio 2008 fue publicado (RTM) el 17 de noviembre de 2007 en inglés, mientras que la versión en castellano no fue publicada hasta el 2 de febrero de 2008. [16]

El nuevo framework (.NET 3.5) está diseñado para aprovechar las ventajas que ofrece el nuevo sistema operativo *Windows Vista* a través de sus subsistemas *Windows Communication Foundation* (WCF) y *Windows Presentation Foundation* (WPF). El primero tiene como objetivo la construcción de aplicaciones orientadas a servicios, mientras que el último apunta a la creación de interfaces de usuario más dinámicas que las conocidas hasta el momento[41].

Visual C Sharp es un lenguaje de programación orientado a objetos desarrollado y estandarizado por Microsoft[42], el cual es similar al lenguaje de programación java, tomando como base la sintaxis del lenguaje C/C++.

En este proyecto se hará uso de este lenguaje para programar la sincronización, lectura e interpretación de las ondas cerebrales, las cuales dados unos parámetros proporcionarán salidas que serán utilizadas para generar en la plataforma robótica una serie de movimientos dadas las condiciones que se presenten.

Al igual que permitirá programar la locomoción de la plataforma robótica, en los diferentes movimientos que se puede obtener por medio de este diseño, dando así gran libertad de desarrollo, evita problemas de compatibilidad de lenguajes de programación, así como brinda diferentes herramientas para el muestreo, el trazo de los datos y diferentes interfaces gráficas para hacer visible la lectura de las ondas que se están leyendo.

---

[41] Corp, M. *Microsoft Visual Studio*. Recuperado el 2011, de http://msdn2.microsoft.com/es-es/vstudio/default.aspx, 2007.

[42] KOVACS, J.. *C#/.NET History Lesson*. Obtenido de http://jameskovacs.com/2007/09/07/cnet-history-lesson/.2007.

5.2 POLULO MAESTRO

Es una librería diseñada por la empresa POLULO, para el control, envío y recepción de flujo de datos por medio del puerto COM USB, este se ha utilizado para tener un control del flujo de datos que se transmite vía puerto USB hacía el controlador POLULO, así poder controlar las frecuencias de movimientos de los servomotores; esto se hace posible por medio de cuatro librearías que él programa hecho en Visual Studio 2008 Express edition, incorpora en su entorno para la utilización, estas librerías son:

- Usc: Librería que contiene los diferentes métodos de transmisión y recepción de datos vía USB, hacia o desde los servomotores.
- UscCMD: Utilidad para comandos en línea para configurar y controlar Maestro.

Por medio de estas librerías se puede tener acceso al controlador y de este modo crear un control en cualquiera de los seis servomotores conectados a este.

Figura 16: Controladores Polulo Maestro.

5.3 Think Gear Connector

El Think Gear Connector es una librería creada por NeuroSky, el cual permite recibir por medio de un conector USB el flujo de datos recibidos por medio de los receptores que tiene el dispositivo MindSet y de este modo interpretarlas por medio del software desarrollado en Visual Studio 2008 Express edition C Sharp, y lograr el objetivo de interpretar las señales obtenidas y lograr el control robótico.

6. MARCO LEGAL

- Resolución 689 de 2004: Atribuyó bandas de frecuencias para uso libre en la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local. Resolución 1689 de 2007 derogó el Artículo 9[43].

- CLM69: Se atribuye, a título secundario, para frecuencia ultra alta (UHF) ondas decimétricas 300 – 3000 MHz entre 0.002 – 0.0001 Km, espectro ensanchado 5.384A – 5.396A, la banda de frecuencias 2 300 – 2 400 MHz para operación de sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que empleen las tecnologías de espectro ensanchado y la modulación digital, de banda ancha y baja potencia, previo registro ante el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones[44].

- En Colombia, no existe ley que prohíba o limite la utilización de electrodos que permitan censar la actividad cerebral, por medio de la tecnología EEG y BCI; así se tiene la libertad de utilizar los dispositivos BCI y EEG sin inconvenientes y con libertad.

[43] COLOMBIA. MINISTERIO DE COMUNICACIONES. Comisión Nacional de Televisión. Resolución 689 de 2004 (28, abril, 2004).

[44] COLOMBIA. MINISTERIO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES. Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, Apéndices del Manual de Gestión Nacional del Espectro Radioeléctrico. (2010). Aplicaciones del espectro radioeléctrico para los servicios de radiocomunicación de 9 KHz a 1000 GHz.

7. ANALISIS

7.1. Metodología ICONIX

La metodología ICONIX es un proceso de desarrollo de simplificado en comparación con otros procesos tradicionales como RUP (Proceso Unificado de Rational) ni radical como el XP (Programación Extrema), agrupa un conjunto de métodos de orientación a objetos para concentrar todo el ciclo de vida del proyecto. Dado que presenta uno pasos claros a seguir, ICONIX se convierte en la metodología que se adapta las nuevas necesidades del Desarrollo de Software actual ya que es pura, práctica y simple.

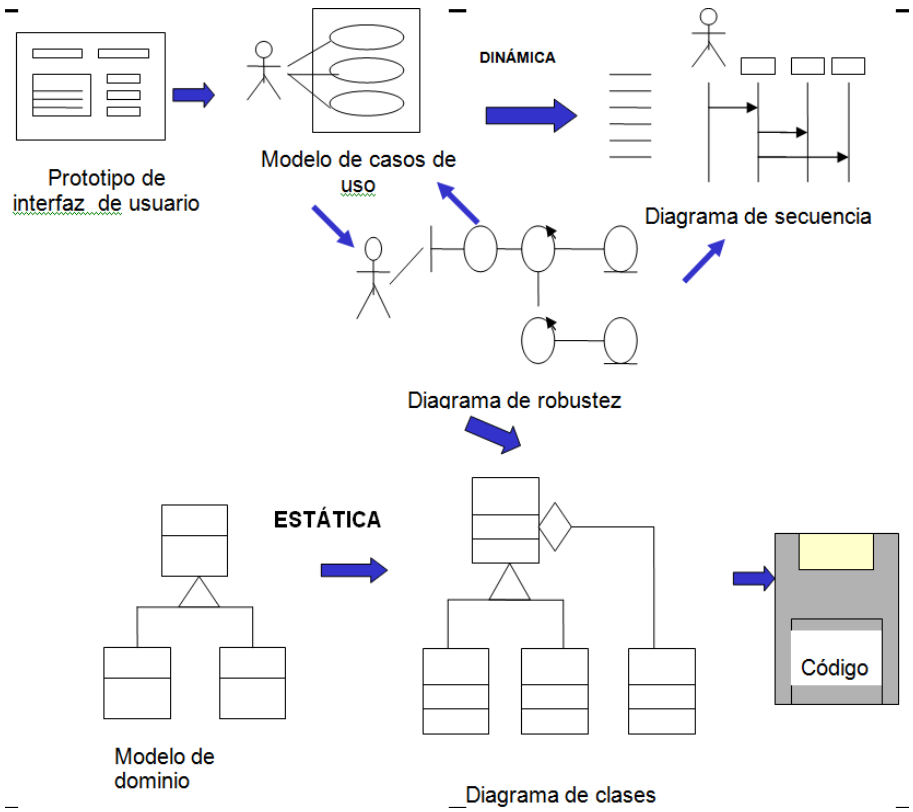


Figura 17: Componentes metodología ICONIX

Fuente: CONNALEN, Jim. Building Web Applications with UML. Addison Wesley. The UML extension for Web applications [en línea]. 1999.

Las tres propiedades fundamentales de la metodología ICONIX son:

- Iterativo e incremental: varias iteraciones ocurren entre el desarrollo del modelo del dominio y la identificación de los casos de uso. El modelo estático es incrementalmente refinado por los modelos dinámicos.

- Trazabilidad: cada paso está referenciado por algún requisito. Se define trazabilidad como la capacidad de seguir una relación entre los diferentes artefactos producidos.

- Dinámica del UML: La metodología ofrece un uso “dinámico del UML” como los diagramas del caso de uso, diagramas de secuencia y de colaboración.

Las principales tareas o etapas de la metodología ICONIX son:

- Análisis de requisitos
    - Identificar objetos del dominio y relaciones de agregación y generalización.
    - Identificar casos de uso.
    - Organizar casos de uso en grupos (paquetes).
    - Asignar requerimientos funcionales a casos de uso y objetos del dominio.

- Análisis
    - Documentar descripciones de casos de uso
    - cursos básico y alternos
    - Análisis de robustez
    - Identificar grupos de objetos que realizan escenario

- Diseño
    - Asignar comportamiento
    - Para cada caso de uso
        - Identificar mensajes y métodos
        - Dibujar diagramas de secuencia
        - (opcional) diagramas de colaboración
        - (opcional) Diagramas de estados
        - Actualizar clases
    - Terminar modelo estático

    - Verificar cumplimiento de requerimientos

- Implementación
    - Producir diagramas necesarios
    - Componentes
    - Escribir el código
    - Pruebas

7.2. PLAN GUIA

	Plan guía	Documento #: PG -001	Rev: 001
Título: INCORPORACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA EL CONTROL ROBÓTICO POR MEDIO DE INTERFACES CEREBRO COMPUTADOR			Página #: 1/1 Fecha: Sep/30/2011

¿Cuál es el propósito de la aplicación?

Ofrecer una visualización de las señales enviadas por el dispositivo BCI por medio del protocolo de Bluetooth (IEEE 802.15.1), como proporcionar una interfaz que permita controlar el robot modular Basado en Snake Robot utilizando los diferentes estados mentales y de tal manera generar algunos movimientos característicos. De este modo se logrará la incorporación de nuevas tecnologías para el desarrollo de diferentes áreas del conocimiento.

¿Qué encontrarán los clientes en la aplicación?

En esta aplicación se encontrarán las siguientes actividades:

- Inicio de Sesión : Control de acceso a la aplicación
- Registro de Ondas cerebrales: Proporciona el registro de las diferentes Ondas cerebrales del usuario
- Conexión dispositivo BCI: Permite realizar la conexión del Computador con el dispositivo BCI por medio de Bluetooth
- Graficas señales del dispositivo BCI: En la aplicación se mostrará las gráficas de las ondas cerebrales más utilizadas.
- Reportes
- Control robot modular

¿A quién está dirigida la aplicación?

A todas las empresas y personas que deseen implementar la nueva tecnología de BCI, con el fin de incorporar nuevas formas de desarrollar aplicaciones mucho más interactivas, innovadoras y que ayuden a la ingeniería a incursionar en más ámbitos de la sociedad. Además de estar a la vanguardia de las grandes potencias mundiales las cuales dedican muchos estudios en la tecnología BCI.

¿Dónde estará instalado el servidor?

La aplicación estará instalada en el computador personal o de escritorio del cliente de forma local.

7.3. REQUERIMIENTOS

7.3.1 Requerimientos Funcionales

Tabla 1: Tabla de Requerimientos.

	Especificación de requerimientos funcionales	Documento #: PG -001	Rev: 001
Título: INCORPORACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA EL CONTROL ROBÓTICO POR MEDIO DE INTERFACES CEREBRO COMPUTADOR			Página #: 1/1
			Fecha: Sep/30/2011

N°.req	DESCRIPCIÓN	TIPO
1.1	La aplicación en su interfaz de inicio tendrá dos opciones: • Inicio de Sesión • Registro	v
1.2	El sistema permitirá al usuario hacer un registro de sus datos personales y estados mentales , dicho registro tendrá los siguientes campos: a. Nombres b. Apellidos c. Nombre de Usuario d. Contraseña	V
1.3	El usuario una vez registrado, podrá iniciar sesión en la aplicación donde se le pedirán que digite los siguientes datos: • Nombre de Usuario • Contraseña	v
1.4	En la interfaz principal de la aplicación, se encontraran las siguientes opciones: • Perfil de Usuario • Consultar Ondas • Control Robótico • Guardar Ondas • Reportes	v
1.5	Cuando el Usuario de clic en la opción Perfil de Usuario, tendrá la opción de consultar y modificar los datos básicos.	v
1.6	Cuando el Usuario de clic en la opción de Consultar Ondas, el sistema mostrará en una tabla el registro de todas las Ondas capturadas por el despóticos BCI.	v
1.7	Cuando el usuario de clic en Control Robótico, el sistema por medio del sistema BCI leerá las ondas cerebrales y las enviara al computador para asignar un movimiento al robot.	O
1.8	El registro de las Ondas cerebrales (Alfa, Beta, Teta, Delta) serán obtenidas por medio del dispositivo BCI.	O

1.9	Se realiza una selección de las 8 Ondas cerebrales recibidas, derivadas de las 4 ondas cerebrales principales.	O
1.10	El sistema permitirá la conexión y desconexión computador con el dispositivo BCI a través de Bluetooth.	V
1.11	Realizar la captura e interpretación de los datos obtenidos por la lectura del dispositivo BCI.	O
1.12	La aplicación en su interfaz principal mostrará la graficas de las Ondas cerebrales (Alfa, Beta, Teta, Delta).	V
1.13	La plataforma robótica modular será conectada por medio de una interfaz TTL por puerto USB.	V
1.14	La plataforma robótica modular tendrá 6 grados de libertad.	V
1.15	La plataforma robótica modular realizará 4 movimientos los cuales son: linear progression, Rolling izquierda y derecha, Side-Winding	V
1.16	El sistema generará unos reportes sobre los estados mentales obtenidos y los movimientos realizados por el robot modular.	V

7.3.2 REQUERIMIENTOS NO FUNCIONAL

7.3.2.1 Requerimientos del Hardware

Equipo en el cual se implementara el sistema • Procesador Dual Core 1.80 GHz • Disco Duro(80 GB) • Memoria RAM 2,00 MB • Tarjeta de red **Equipo en el cual se desarrollará las pruebas del sistema** • Equipos con especificaciones de hardware básicas, simulando a un usuario inexperto.

7.3.2.2 Requerimientos de software

Equipo en el cual se implementara el sistema • Sistema Operativo Windows 7 y posteriores. • Postgresql. • Microsoft .NET C# • JRE 7.0 o Posteriores.

7.3.3 Requerimientos del Sistema

No.	Función
1.1	La aplicación debe permitir al usuario realizar consultar eficientes para la generación de reportes.
1.2	La aplicación debe permitir al usuario la opción de finalizar sesión, al igual que regreso a la interfaz principal.
1.3	La aplicación debe proveer al usuario un menú de opciones que le permita interactuar con las diferentes interfaces.
1.4	La aplicación deberá ofrecer la opción de cancelar cualquier proceso de la aplicación.
1.5	La aplicación deberá validar la entrada de los datos numéricos o alfanuméricos de los formularios, para evitar cualquier bloqueo en la ejecución del programa.
1.6	La aplicación debe proporcionar en las diferentes interfaces títulos que ayuden al usuario a entender en que procesos se encuentra.
1.7	La aplicación bebe mostrar al usuario mensajes de autenticación, error y ejecuciones correctas de los diferentes procesos.
1.8	La aplicación debe tener una resolución óptima para la visualización de los diferentes componentes.

7.4 Casos de Uso

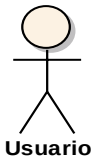
7.4.1 DEFINICION DE CASOS DE USO

Descripción de los actores.

Los actores son los usuarios del sistema y el mismo sistema. Los usuarios del sistema se agrupan según los perfiles de usuario nombrados a continuación:

Actor Usuario

Es el usuario que interactúa con la aplicación en todos los procedimientos correspondientes al desarrollo del sistema.



Actor Usuario

Este actor podrá crear, consultar, modificar y eliminar los siguientes procesos.

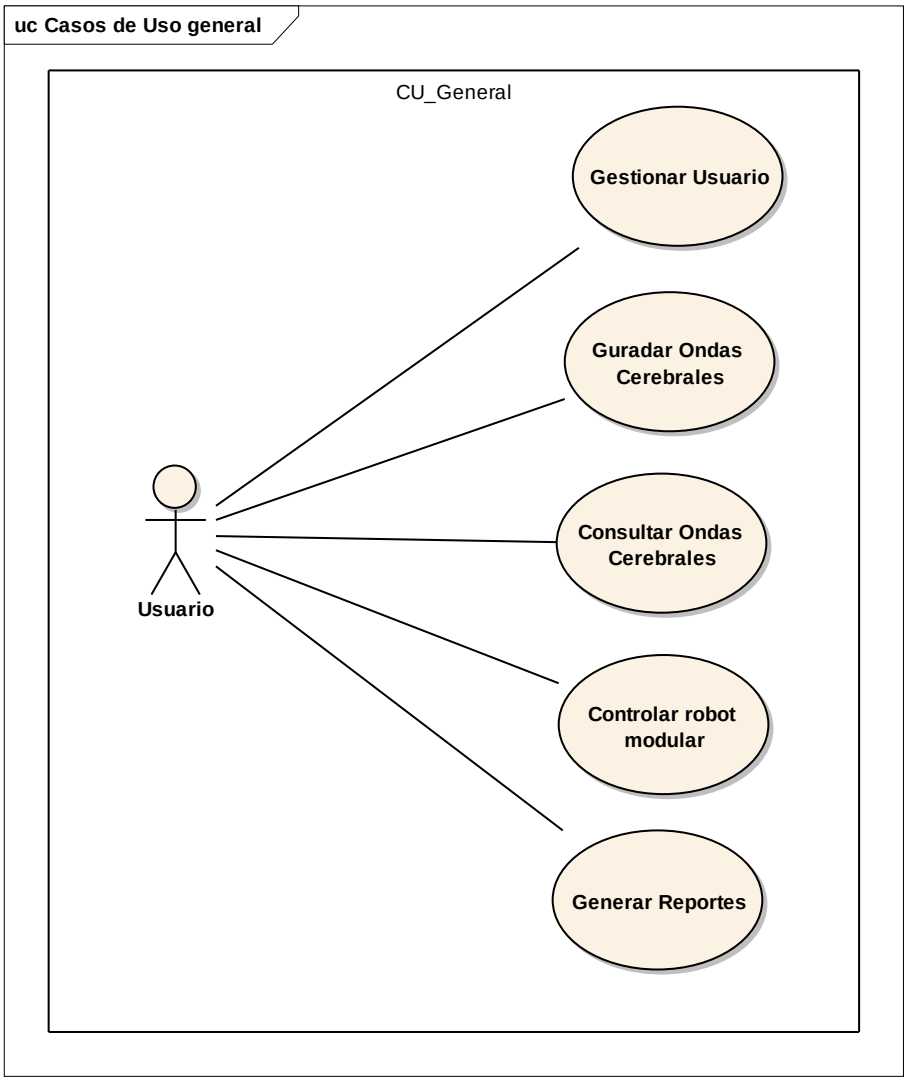
- Gestionar Perfil Mental
- Gestionar Usuario

Además, podrá realizar las siguientes actividades.

- Controlar robot modular
- Realizar reportes

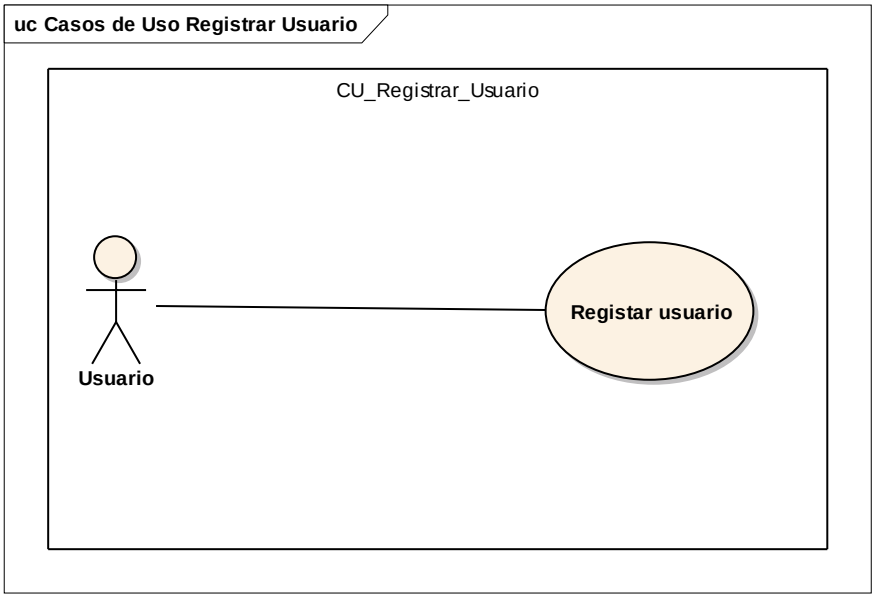
7.4.2 DIAGRAMA DE CASOS DE USOS

7.4.2.1 Casos De Uso General

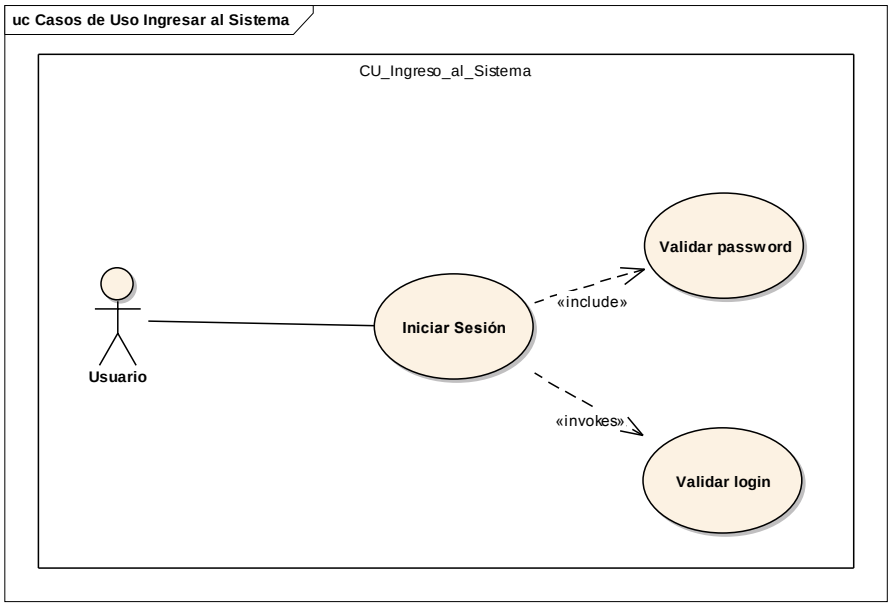


7.4.2.2 Caso de uso extendidos

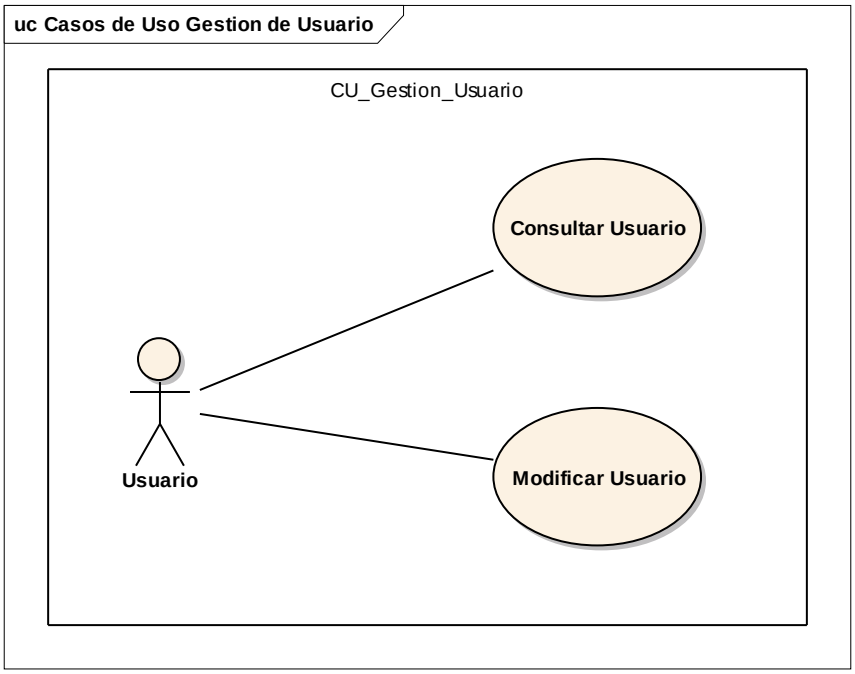
- Caso de uso Registrar usuario



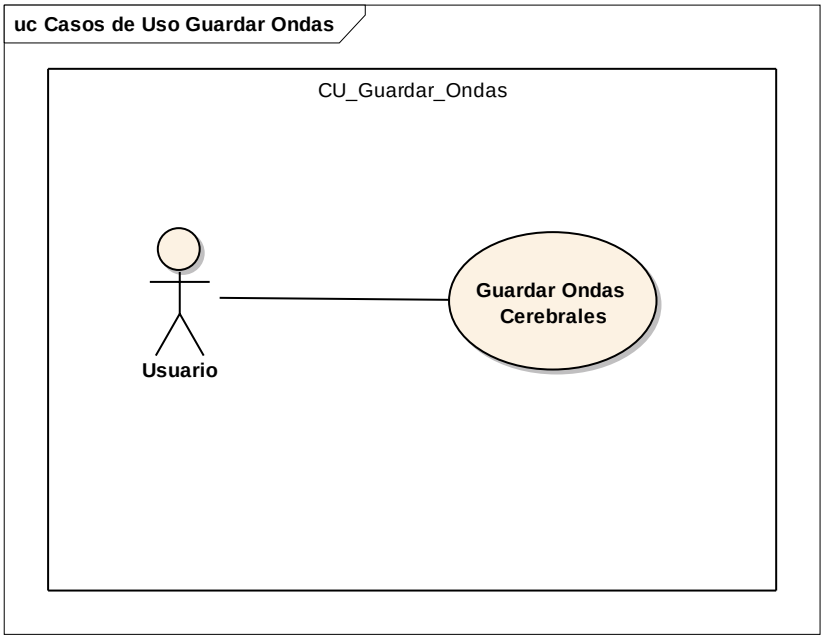
- Caso de uso ingresar al sistema



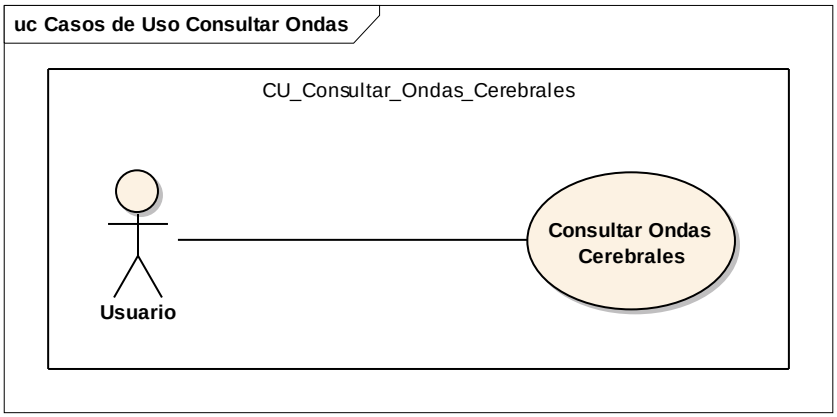
- Caso De Uso Gestionar Usuario



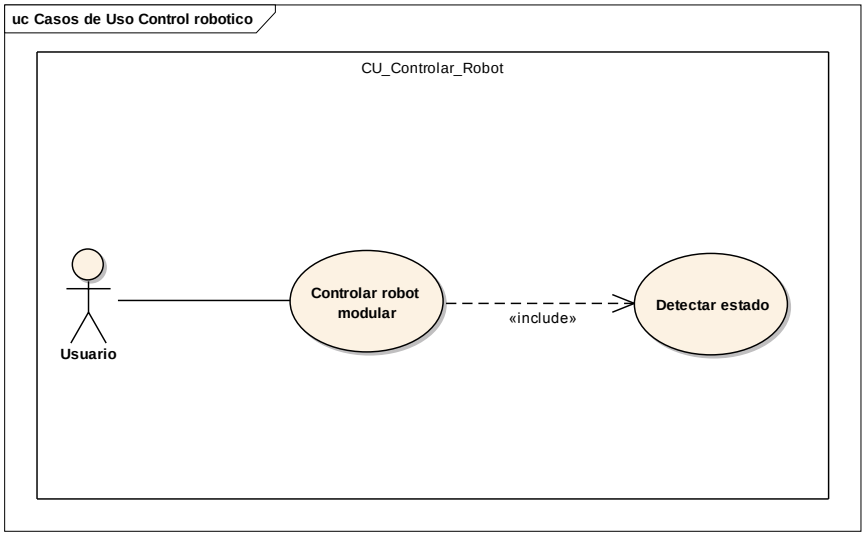
- Caso De Uso Guardar Ondas Cerebrales



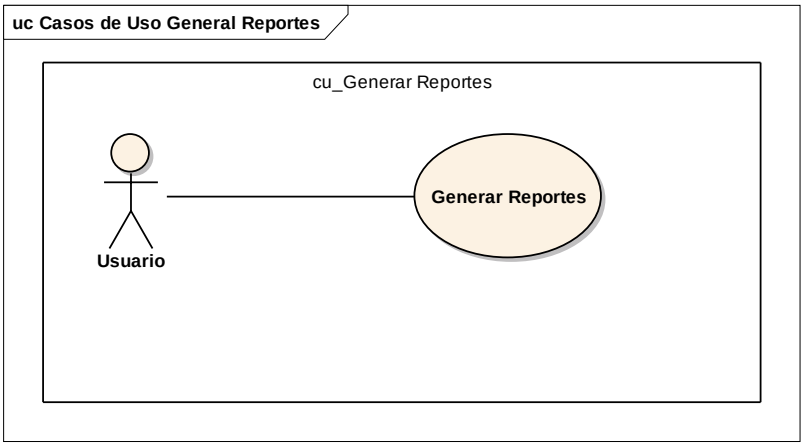
- Caso De Uso Consultar Ondas Cerebrales



- Caso de Uso Control Robótico



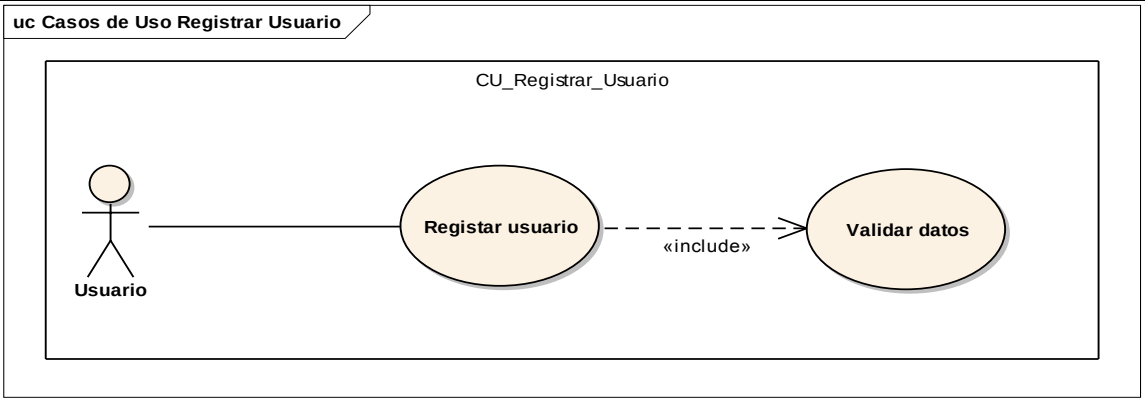
- Caso de Uso Generar Reportes



7.5 Escenarios de los casos de uso del sistema

Tabla 2: Escenario CU-01.1

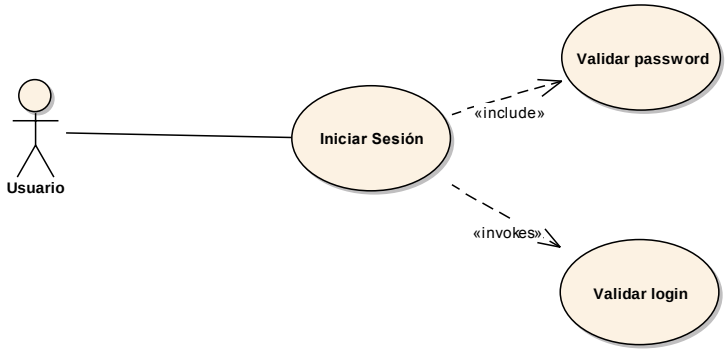
	Incorporación de nuevas tecnologías para el control robótico por Medio de interfaces cerebro computador.
Nombre: Registrar Usuario	**Documento:** CU-01.1



INFORMACIÓN GENERAL		
Actores:	Usuario	
Propósito: Este caso de uso se encarga de permitir el registro del usuario al sistema.		
Tipo de Requerimiento:	Funcional ▬	No Funcional ▭
Referencias Cruzadas:		
Precondiciones		
Curso Normal de los Eventos		
Acción de los Actores	**Respuesta del Sistema**	
1. El usuarios ingresa a la aplicación. 3.el usuario ingresa los datos personales y da clic en el boton aceptar. 5. el usuario escoje las opciones que desee realizar en la aplicación.	2. Despliega la interfaz de Registro de Usuarios. 4. realiza las validaciones respectivas y carga la Interfaz de ingreso a la aplicacion.	
Curso alterno 1. No existe una conexión con la base de datos. 2. El usuario digite mal el campo de fecha de nacimiento. 3. El nombre de usuario ya exista. 2. No exista conexión con la aplicación. 3. El usuario no escoge una opción para continuar.		
Creado por:	Actualizado Por:	Fecha de creación
Carlos Julio Peña – Jose Soto		9/05/2012

Tabla 3: Escenario CU-01.2

	Incorporación de nuevas tecnologías para el control robótico por medio de interfaces cerebro computador.
Nombre: Ingresar al Sistema	**Documento:** CU-01.2



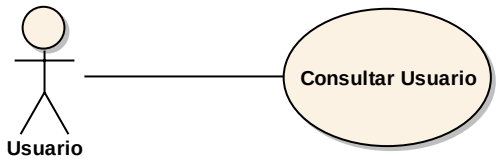
INFORMACIÓN GENERAL		
Actores:	Usuario	
Propósito: Este caso de uso se encarga de generar un esquema de los ingresos al sistema de los usuarios tales como su login y password personal, el usuario podrá acceder a la aplicación una vez este registrado.		
Tipo de Requerimiento:	Funcional ■	No Funcional □
Referencias Cruzadas:	R.1.1	
Precondiciones: • El usuario debe estar registrado previamente.		

Curso Normal de los Eventos	
Acción de los Actores	**Respuesta del Sistema**
1. El usuarios ingresa a la aplicación. 3.el usuario ingresa su login y su password y le da en boton aceptar. 5. el usuario escoje las opciones que desee realizar en la aplicación.	2. Despliega la interfaz de login y password 4. realiza la validacion y carga la aplicacion.
Curso alterno 1. No existe una conexión con la base de datos. 2. El usuario digite mal su login o password. 3. No exista conexión con la aplicación.	

Creado por:	Actualizado Por:	Fecha de creación
Carlos Julio Peña – Jose Soto		9/05/2012

Tabla 4: Escenario CU-01.3

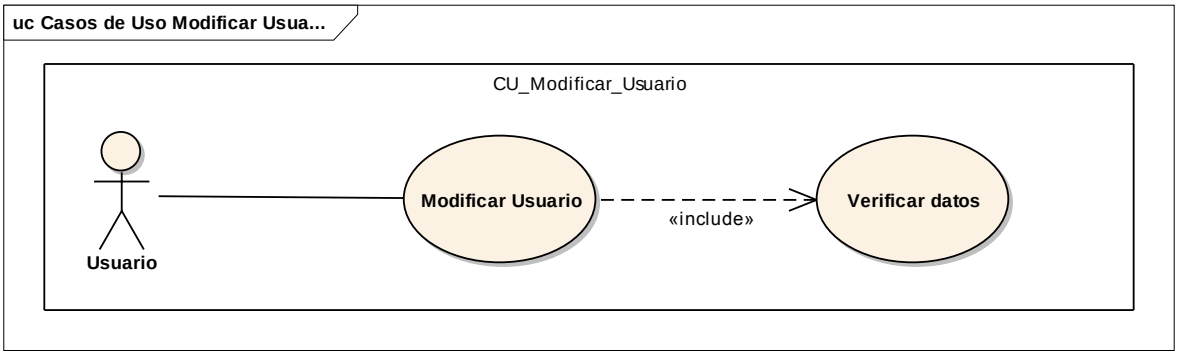
	Incorporación de nuevas tecnologías para el control robótico por medio de interfaces cerebro computador.
Nombre: Consultar Usuario	**Documento:** CU-01.3



INFORMACIÓN GENERAL		
Actores:	Usuario	
Propósito: Este caso de uso el usuario podrá consutar los datos personales.		
Tipo de Requerimiento:	Funcional ▬	No Funcional ▭
Referencias Cruzadas:	R.1.1, R.1.2	
Precondiciones: • El usuario debe estar registrado previamente. • El usuario debe haber iniciado sesion.		
Curso Normal de los Eventos		
Acción de los Actores	**Respuesta del Sistema**	
1. El usuarios ingresa a la aplicación. 4. Da clic en salir.	2. Despliega la interfaz Gestion de Usarios 3.Despliega una interfaz con los datos personales del usuario	
Curso alterno 1. No existe una conexión con la base de datos. 2. No exista conexión con la aplicación.		
Creado por:	Actualizado Por:	Fecha de creación
Carlos Julio Peña – Jose Soto		9/05/2012

Tabla 5: Escenario CU-01.4

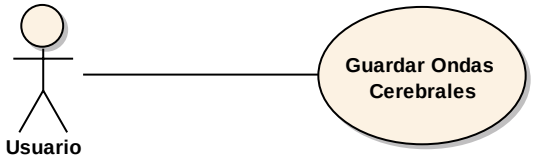
	Incorporación de nuevas tecnologías para el control robótico por medio de interfaces cerebro computador
Nombre: Modificar Usuario	**Documento:** CU-01.4



INFORMACIÓN GENERAL		
Actores:	Usuario	
Propósito: Este caso de uso el usuario podrá modificar los datos personales.		
Tipo de Requerimiento:	Funcional ▬	No Funcional ▭
Referencias Cruzadas:	R.1.1, R.1.2	
Precondiciones: • El usuario debe estar registrado previamente. • El usuario debe haber iniciado sesion.		
Curso Normal de los Eventos		
Acción de los Actores	**Respuesta del Sistema**	
1. El usuarios ingresa a la aplicación. 3.Modifica o actualiza los datos personales del usuario. 4. Da clic en Modificar. 6. Da clic en salir	2. Despliega la interfaz Gestion de Usarios 5. Valida los datos modificados.	
Curso alterno 1. No existe una conexión con la base de datos. 2. No exista conexión con la aplicación.		
Creado por:	Actualizado Por:	Fecha de creación
Carlos Julio Peña – Jose Soto		9/05/2012

Tabla 6: Escenario CU-01.5

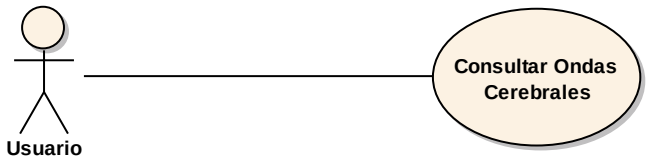
	Incorporación de nuevas tecnologías para el control robótico por medio de interfaces cerebro computador
Nombre: Guardar Ondas Cerebrales	**Documento:** CU-01.5



INFORMACIÓN GENERAL		
Actores:	Usuario	
Propósito: Este caso de uso el usuario podrá guardar las ondas cerebrales : Alfa, Beta, Gama y Delta.		
Tipo de Requerimiento:	Funcional ■	No Funcional □
Referencias Cruzadas:	R.1.1, R.1.2	
Precondiciones: • El usuario debe estar registrado previamente. • El usuario debe haber iniciado sesion.		
Curso Normal de los Eventos		
Acción de los Actores	**Respuesta del Sistema**	
1. El usuarios ingresa a la aplicación. 3.El usauario por medio del Dispositivo BCI registra las ocho ondas cerebrales 4. Da clic en Guardar. 6. Da clic en salir	2. Despliega la interfaz principal donde se encuentra la opcion de guardas ondas. 5. Guarda las 8 ondas cerebrales.	
Curso alterno 1. No existe una conexión con la base de datos. 2. No exista conexión con la aplicación. 3.No existe conexión el dispositivo BCI con la aplicación		
Creado por:	Actualizado Por:	Fecha de creación
Carlos Julio Peña – Jose Soto		9/05/2012

Tabla 7: Escenario CU-01.6

	Incorporación de nuevas tecnologías para el control robótico por medio de interfaces cerebro computador
Nombre: Consultar Ondas Cerebrales	**Documento:** CU-01.6



INFORMACIÓN GENERAL		
Actores:	Usuario	
Propósito: Este caso de uso el usuario podrá consultar las ondas cerebrales: Alfa, Beta, Gama y Delta.		
Tipo de Requerimiento:	Funcional ▬	No Funcional ▭
Referencias Cruzadas:	R.1.1, R.1.2, R1.5	

Precondiciones:

- El usuario debe estar registrado previamente.
- El usuario debe haber iniciado sesion.
- El usuario debe haber creado un perfil mental.

Curso Normal de los Eventos

Acción de los Actores	**Respuesta del Sistema**
1. El usuarios ingresa a la aplicación. 3.El usauario da clic en la opcion Consultar Ondas cerebrales. 5. Da clic en salir	2. Despliega la interfaz principal de la aplicación. 4. Mostrarà en una interfaz por medio de una tabla el registro de las 8 ondas cerebrales .

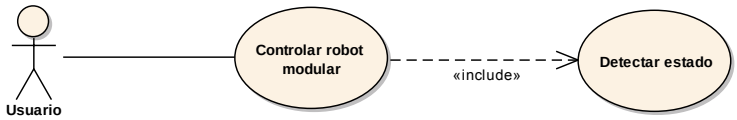
Curso alterno

1. No existe una conexión con la base de datos.
2. No exista conexión con la aplicación.
3.No existe conexión el dispositivo BCI con la aplicación

Creado por:	Actualizado Por:	Fecha de creación
Carlos Julio Peña – Jose Soto		9/05/2012

Tabla 8: Escenario CU-01.7

	Incorporación de nuevas tecnologías para el control robótico por medio de interfaces cerebro computador.
Nombre: Controlar Robot Modular	**Documento:** CU-01.7



INFORMACIÓN GENERAL		
Actores:	Usuario	
Propósito: Este caso de uso el usuario podrá controlar el robot modular por medio de los estados : Relajado o Estresado.		
Tipo de Requerimiento:	Funcional ▬	No Funcional ▭
Referencias Cruzadas:	R.1.1, R.1.2,R.1.5	

Precondiciones:

- El usuario debe estar registrado previamente.
- El usuario debe haber iniciado sesion.
- El usuario debe haber creado un perfil mental.

Curso Normal de los Eventos

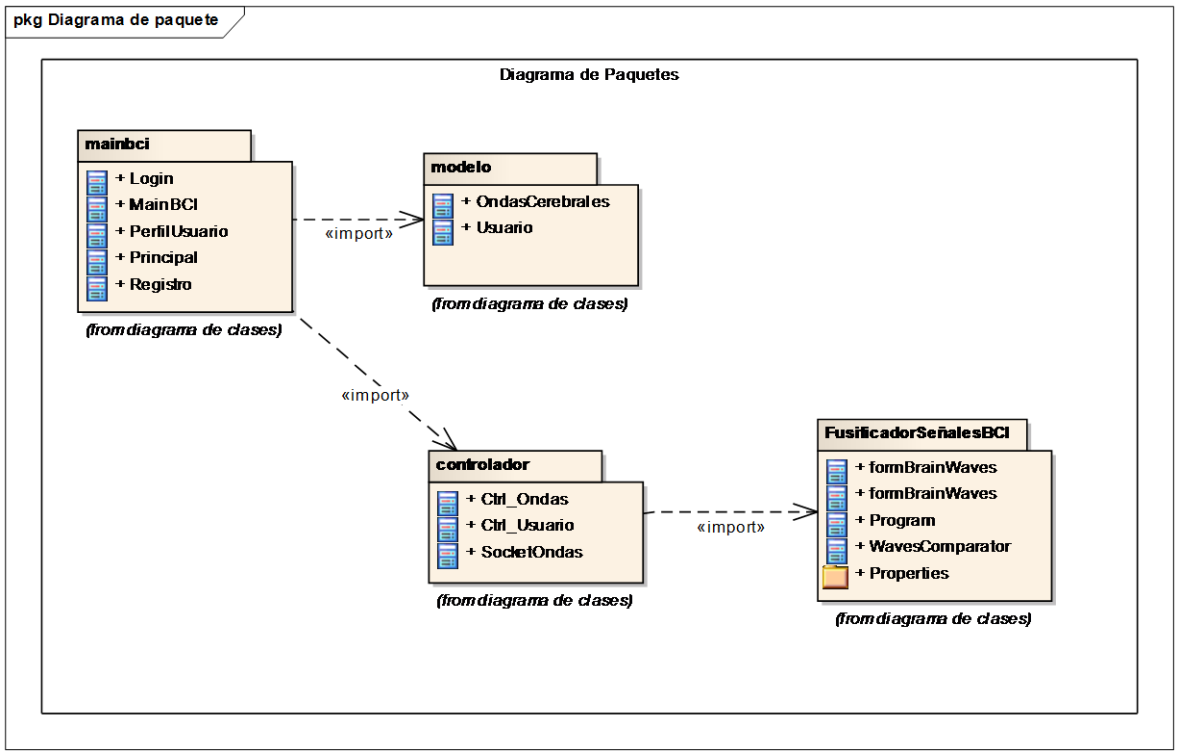
Acción de los Actores	**Respuesta del Sistema**
1. El usuarios ingresa a la aplicación. 3.El usauario da clic en la opcion Iniciar control robotico. 6. Da clic en salir	2. Despliega la interfaz principal de la apliacion. 4. Dependiendo del estado mental del usuario, el robot realizara algun movimiento.

Curso alterno

1. No existe una conexión con la base de datos.
2. No exista conexión con la aplicación.
3.No existe conexión el dispositivo BCI con la aplicación

Creado por:	Actualizado Por:	Fecha de creación
Carlos Julio Peña – Jose Soto		9/05/2012

7.6 Diagrama de paquetes



8. DISEÑO

8.1 Diagrama de Secuencia

Diagrama 1: Ingreso al Sistema

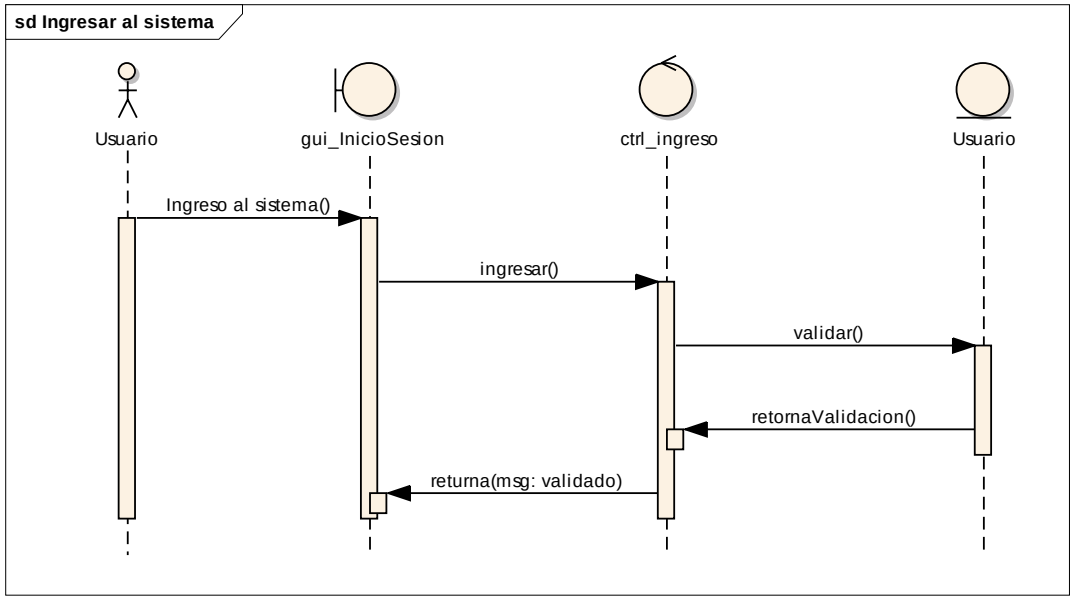


Diagrama 2: Registrar Usuario

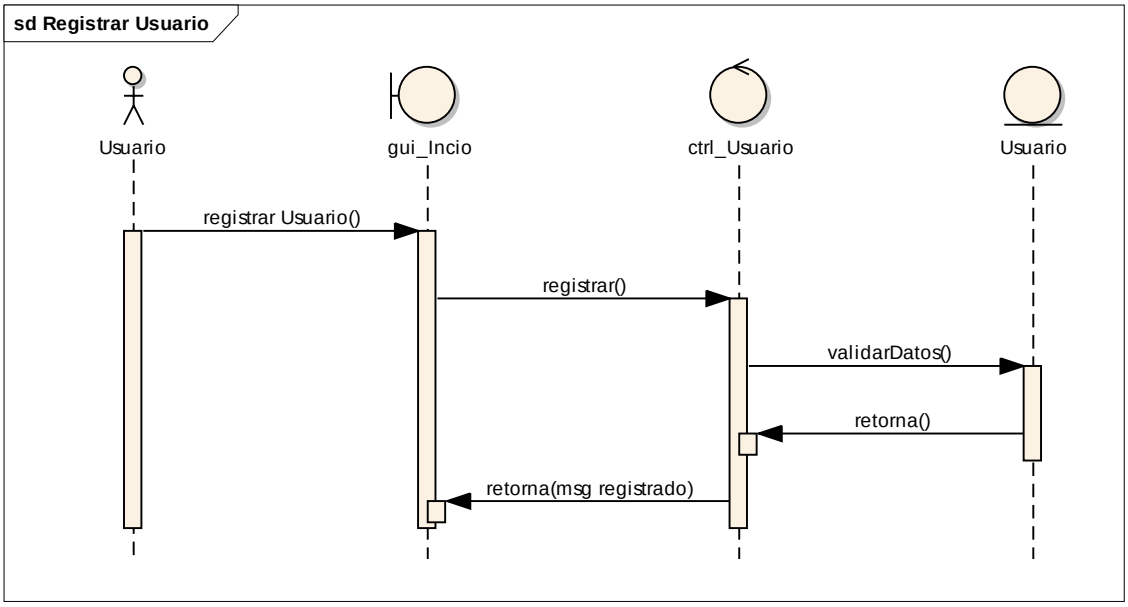


Diagrama 3: Secuencia Gestión Usuario.

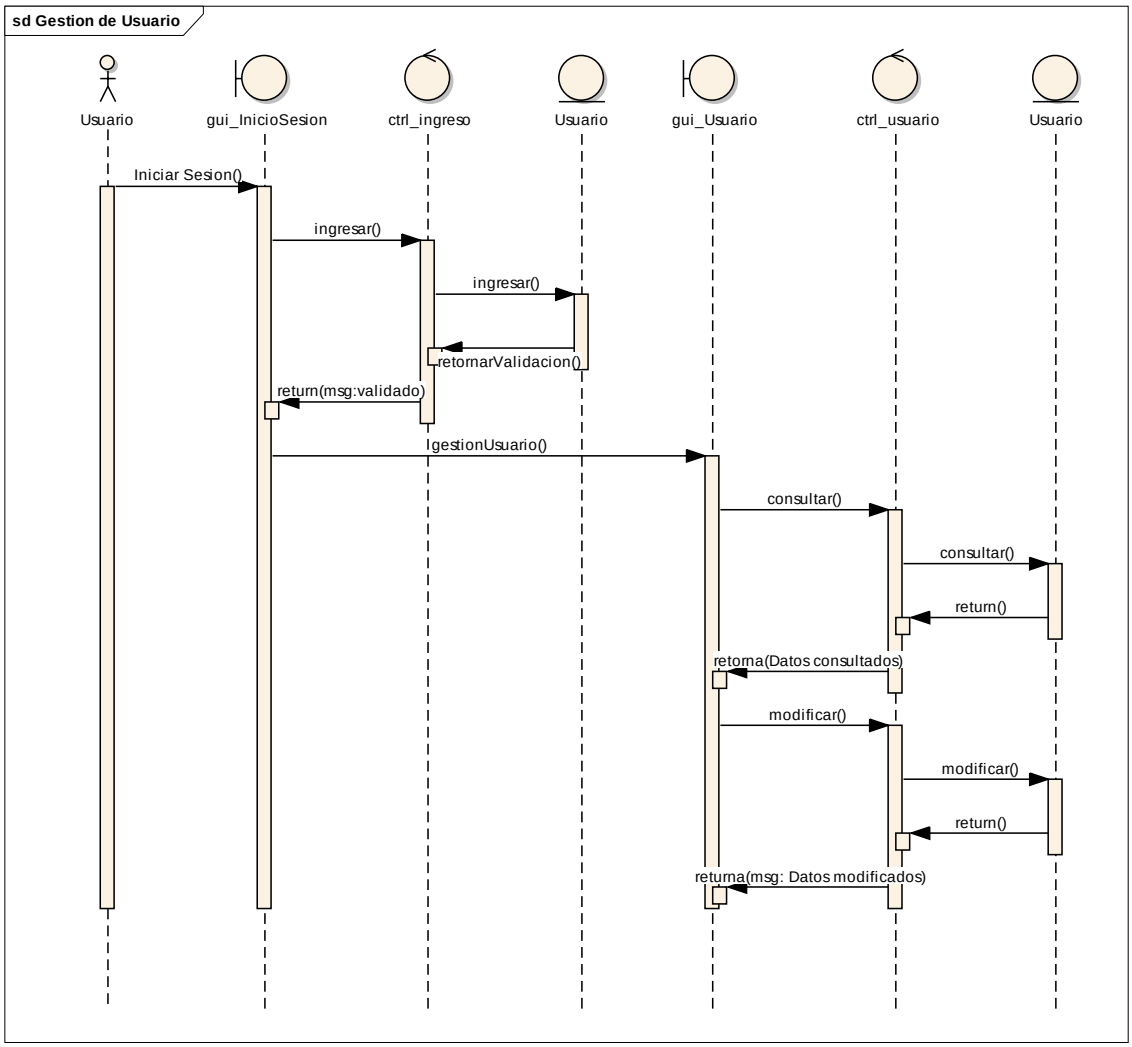
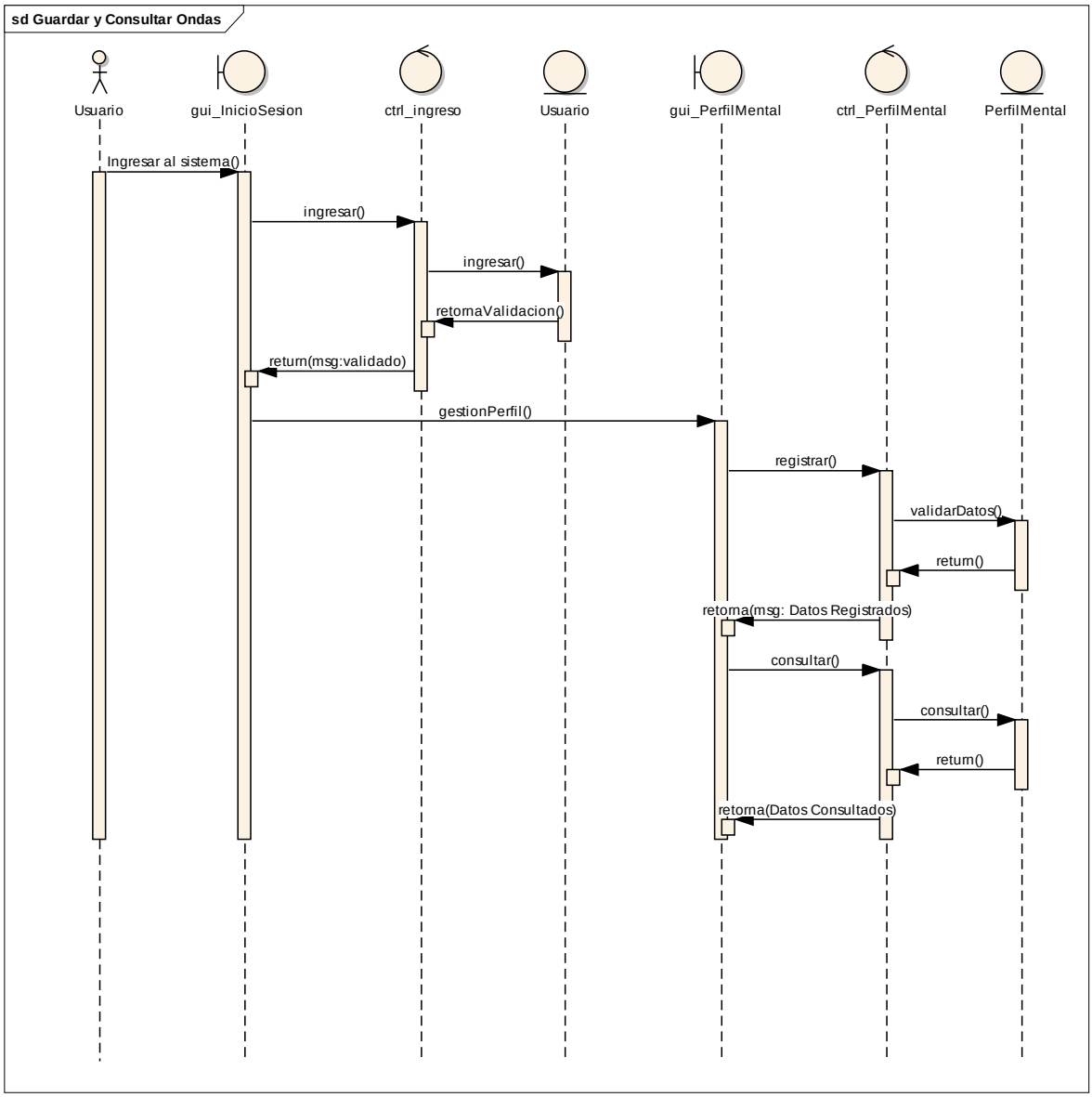
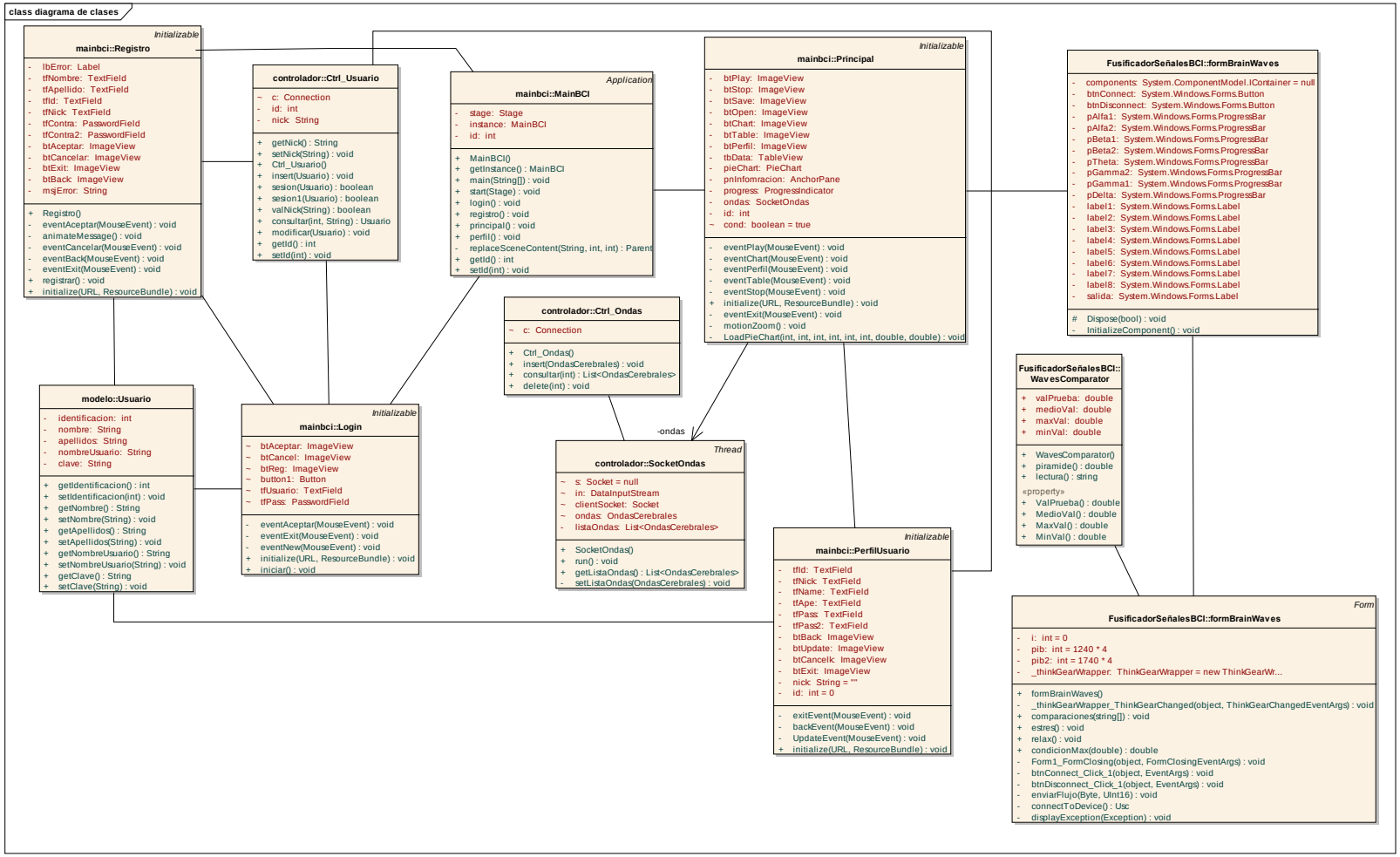


Diagrama 4: Secuencia Guardar y Consultar Ondas Cerebrales.



8.2 Diagrama de Clases.



8.3 Diagramas de Robustez.

Diagrama 5: Robustez - Inicio de Sesión

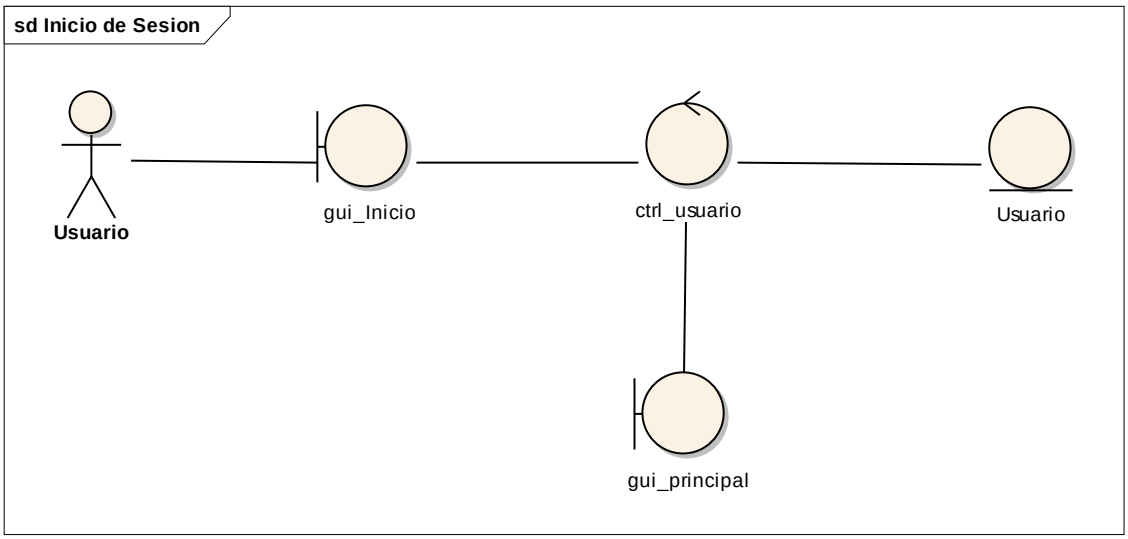


Diagrama 6: Robustez – Registrar Usuario.

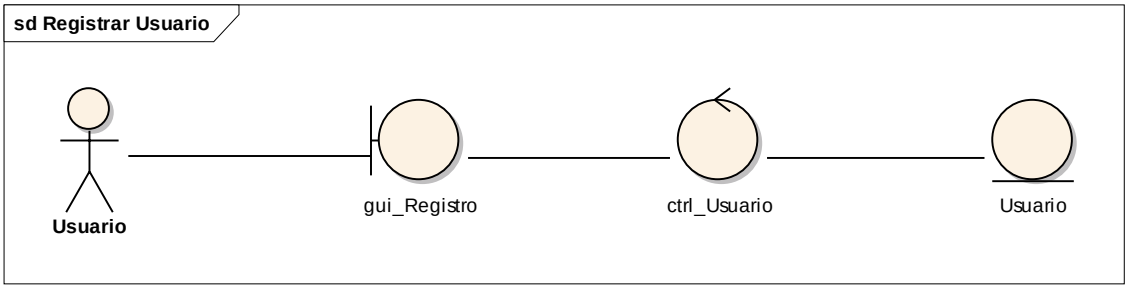


Diagrama 7: Robustez – Gestión Usuario.

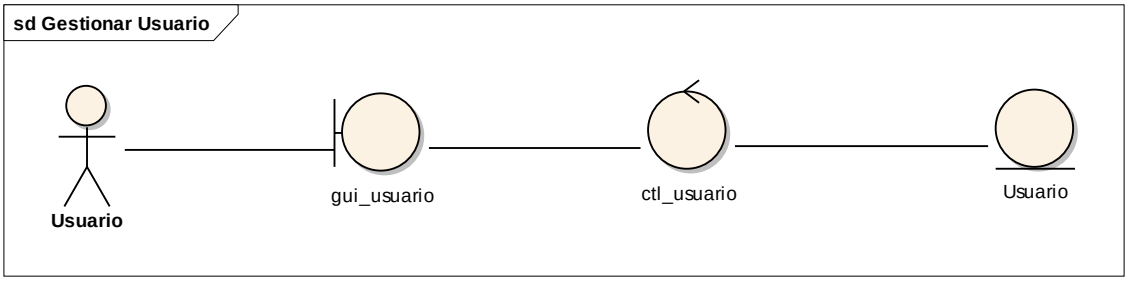


Diagrama 8: Robustez – Guardar y Consultar Ondas Cerebrales

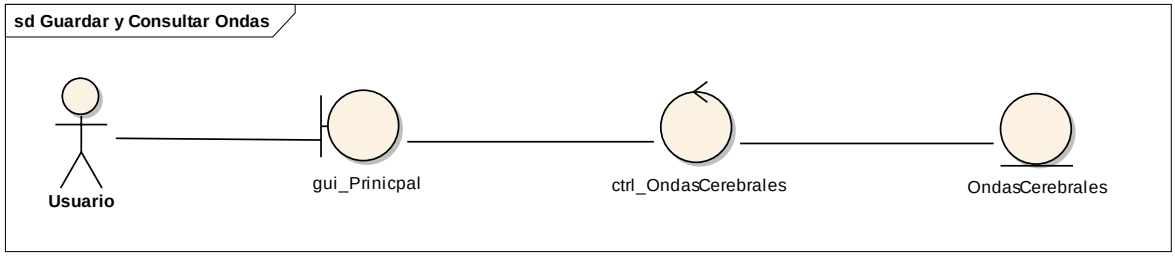
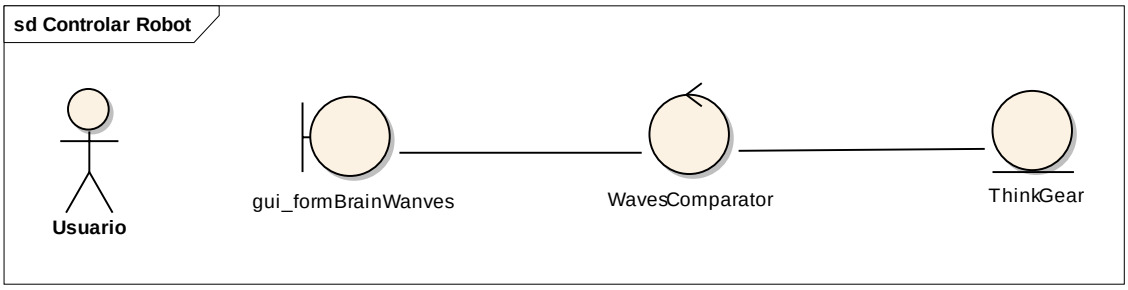
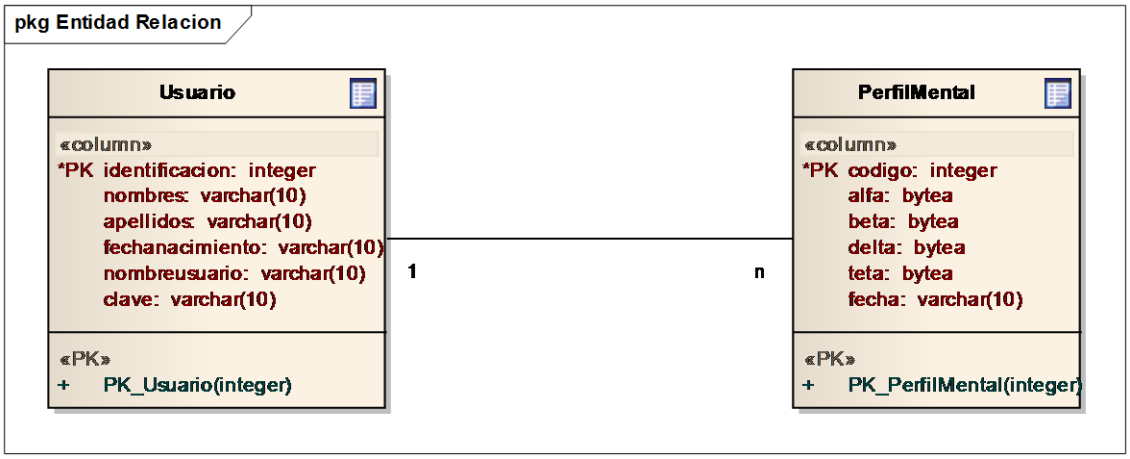


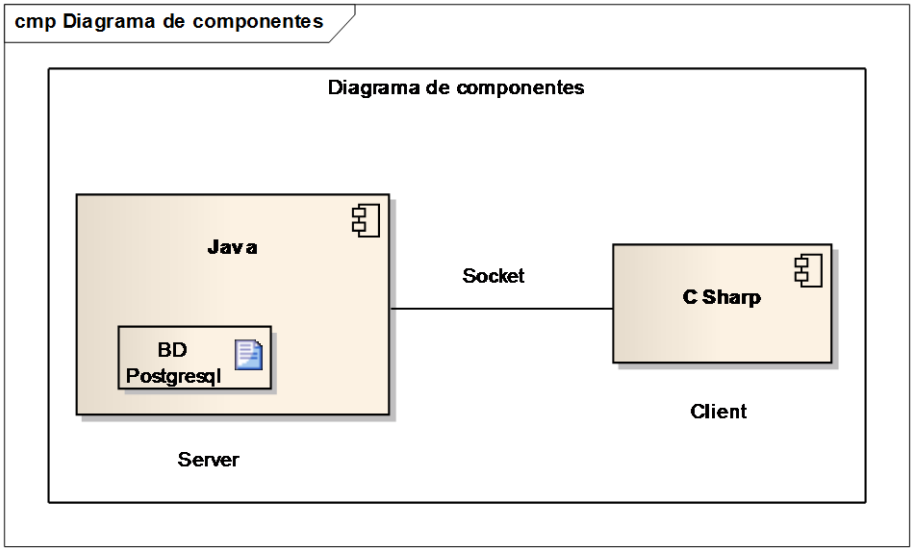
Diagrama 9: Robustez – Control Robótico



8.4 Diagrama Entidad Relación.



8.5 Diagrama de componentes.



9. IMPLEMENTACION

9.1 Descripción de Herramientas de Diseño

La aplicación fue realizada utilizando dos lenguajes de programación, en los cuales se dividieron funciones específicas. Se realizó la lectura de las Ondas cerebrales con el Lenguaje de programación C Sharp que posee una librería libre de la compañía Neurosky que permite obtener una lectura de flujos de datos proporcionadas por medio del Mindset. Para la gestión de los datos se utilizara el lenguaje de programación Java y el motor de bases de datos Postgresql; este lenguaje de programación es el encargado de las validaciones de datos en el momento de hacer un logueo, almacenamiento de los datos, y consultas de las ondas cerebrales almacenadas. Esta fusión entre dos lenguajes de programación para un mismo proyecto y combinar las diferentes ventajas de cada uno, se hizo para incorporar el término aplicado de Mashup, el cual consiste en tener una aplicación de manera hibrida, que combine bien sea datos, estructura o diferentes lenguajes de desarrollo.

La aplicación de C Sharp y Java se comunicaran por medio de un Socket TCP que enviaran un flujo de datos correspondiente a las ondas cerebrales leídas del usuario que posteriormente serán las encargadas de realizar el control robótico y almacenarlas en la base de datos. Se eligió manejar la conexión de estos dos lenguajes por medio de Sockets, ya que es un mecanismo mucho más amplio que otras herramientas como lo es la lectura y escritura de archivos, y el protocolo TCP permite tener un constante flujo de datos, permitiendo enviar y recibir de forma correcta toda información enviada por esta tecnología, el protocolo UDP no es conveniente ya que se pueden perder datos y la información que será recibida no sería confiable.

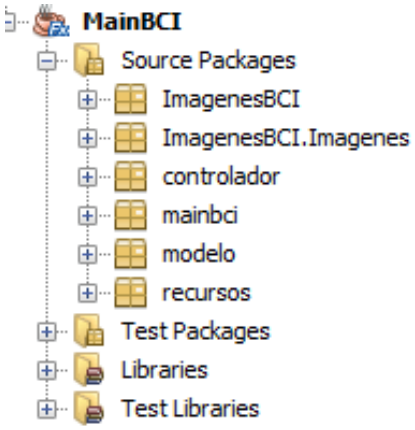
9.2 Esquema de implementación.

9.2.1 Java

La aplicación de gestión de datos se desarrolló en el lenguaje de programación Java SE y para el diseño y construcción de las interfaces graficas de usuario se utilizó JavaFX. Este SDK, se eligió para satisfacer la necesidad de controlar el CRUD (CREATE, READ, UPDATE, DELETE) de manera apropiada en la base de datos. Debido a que el presente proyecto es innovación y aplicación de tecnología reciente, la combinación para la demostración y utilización se debe hacer también con tecnología nueva e innovadora, JavaFX es reciente en el mercado y proporciona diferentes mecanismos que hacen la aplicación mucho más agradable y potente a la vista y manejo de las personas; la innovación debe ser complementada con innovación y no con tecnología rezagada.

A continuación se muestra en una gráfica la distribución de los diferentes paquetes que contiene.

Figura 17: Estructura de la aplicación en Java.

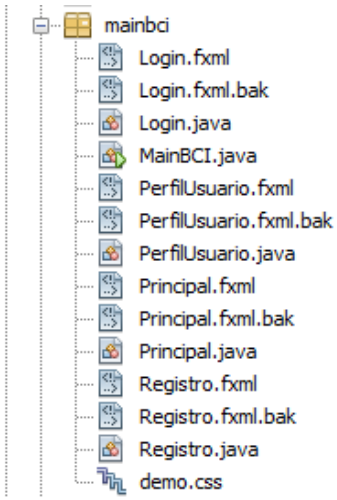


Los paquetes principales son *manbci, modelo y controlador.*

En el paquete *manbci* se encuentran las diferentes GUI de la aplicación con extensión .fxml y los archivos .java para el llamado y ejecución de los diferentes métodos de las interfaces principales; los archivos .fxml es un lenguaje de etiquetas basado en XML (Lenguaje de marcas extensible) y con componentes propios de Java, este código es controlado por medio de un paralelo en .java el cual se encarga de tomar cada componente y aplicar ciertas acciones como

validar y ejecutar eventos, recibir información digitada o elegida, escribir o mostrar información de retroalimentación al usuario.

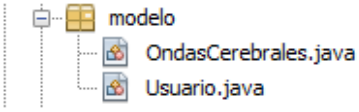
Figura 18: Contenido del paquete *mainbci.*



La aplicación ejecuta con el archivo MainBCI.java, posteriormente llamara al archivo login.java que mostrara la interfaz para acceder a al sistema.

En el paquete *modelo*, se encuentran las clases que contienen toda la información específica que el sistema necesita para realizar todos los procesos, en este paquete se contienen las diferentes clases encargadas de recibir los parámetros para el almacenamiento o consulta, mediante métodos específicos encargados (Setters and Getters).

Figura 19: Contenido del paquete *modelo***.**



En el paquete *control*, contiene los principales eventos que se ejecutaran en la aplicación para dar resultados a diferentes acciones ejecutadas por el usuario, se encuentra la conexión a la Base de Datos y las diferentes sentencias SQL que permiten el buen desarrollo de la aplicación. Adicionalmente, una clase llamada Socket que se encarga de establecer una comunicación con una aplicación

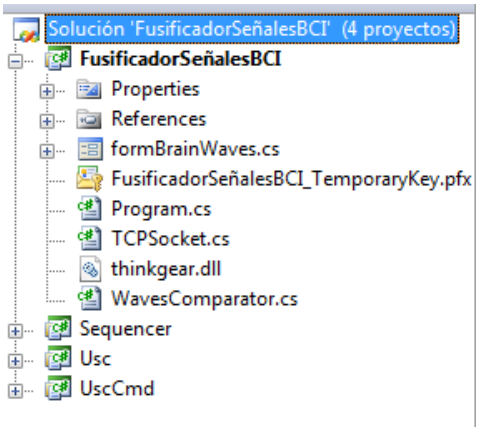
desarrollada en C Sharp para recibir el flujo de información proporcionada por el MindSet.

Figura 20: Contenido del paquete *controlador*.

9.2.2 C Sharp

La aplicación de la lectura de las ondas cerebrales se desarrolló en el lenguaje de programación C Sharp. La estructura de la aplicación se muestra en la siguiente figura.

Figura 21: Estructura de la aplicación en C Sharp.

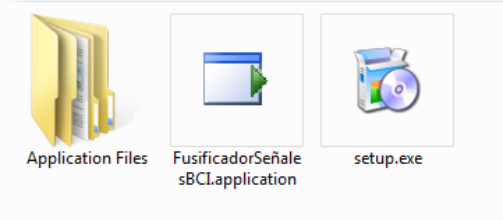


El sistema inicia con la conexión del MindSet vía Bluetooth al computador, de esta manera se inicia la lectura de las ondas cerebrales Alfa, Beta, Delta y Teta, implementado la librería *thinkgear.dll* para la conversión de los datos entregados por el dispositivo, luego estos datos son llevados a la clase WavesComparator.cs, la cual se encarga de recibir cada lectura, procesarla mediante el algoritmo difuso diseñado y devolviendo el resultado esperado, según el resultado y comparaciones realizadas se define el tipo de movimiento a realizar el robot diseñado, y se envía un flujo de bytes por medio del puerto USB, con la ayuda de la librería Usc, y así generar el movimiento en la Snake Robot.

9.3 Descripción de la aplicación

Se debe instalar la aplicación que es la encargada de recibir por medio de un socket los diferentes registros de las ondas cerebrales del usuario.

Figura 22: archivos para la instalación de la aplicación en c Sharp.



Posteriormente se podrá ejecutar la aplicación principal *MainBCI.jar*

Figura 23: Archivos para la ejecución de la aplicación en Java.

El inicio de la aplicación está dado por la interfaz de inicio de sesión que da la opción de realizar dos actividades las cuales son: Registro de usuarios e inicio de sesión.

Al dar clic en el botón registrar usuario, se desplegara el formulario de registro.

Figura 24: Inicio de sesión.

En este formulario se pedirán a los usuarios datos básicos que le permitirán cumplir con el registro para interactuar con la aplicación. De este modo se podrá llevar un registro de las ondas cerebrales al realizar el control robótico.
Una vez registrado el usuario puede acceder a la aplicación.

Figura 25: Formulario de registro.

Una vez el usuario esté autenticado, se desplegara la interfaz principal de la aplicación, en la cual tiene las siguientes opciones:

- ✓ Perfil
- ✓ Control Robótico
- ✓ Guardar Ondas
- ✓ Reportes
- ✓ Consultar Ondas.

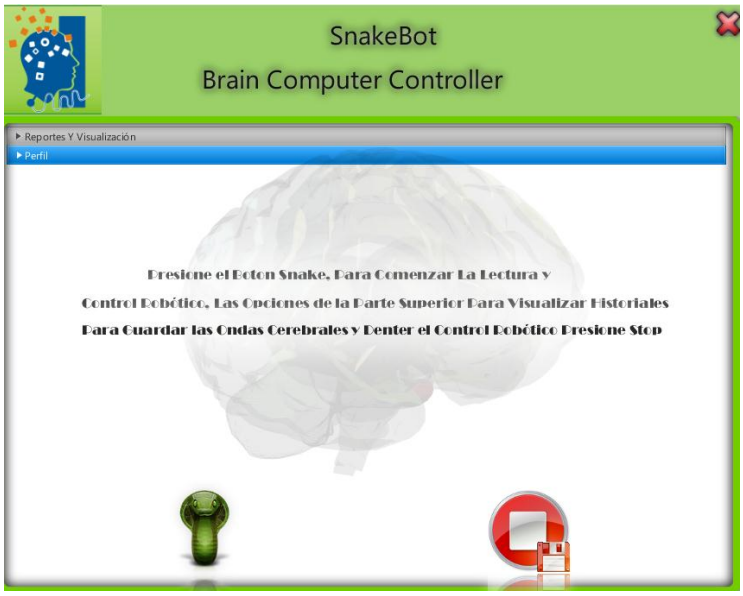


Figura 26: Interfaz principal de la aplicación.

EL usuario puede hacer uso de la gestión de sus datos personales dando clic en la opción Perfil, aquí podrá actualizar sus datos personales, teniendo en cuenta que el Nick y la identificación no podrán ser modificados.

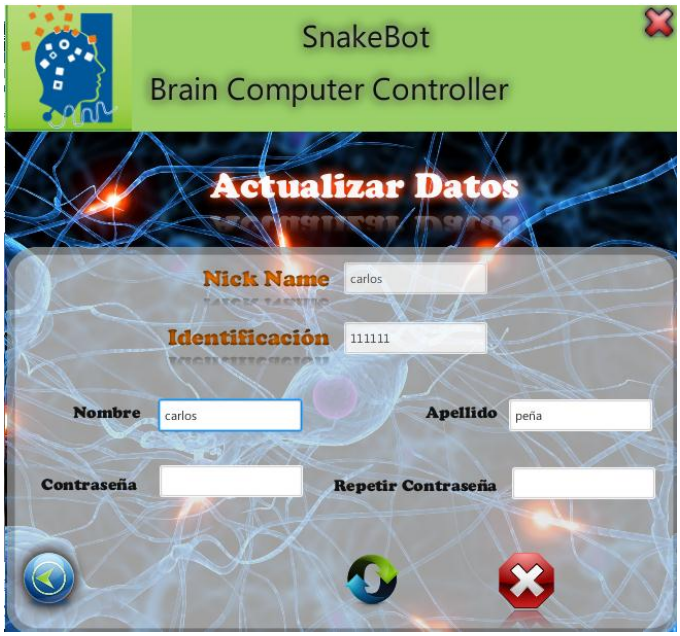


Figura 27: Interfaz para actualizar datos del usuario.

El usuario dando clic en el botón Star dará inicio a la lectura y control robótico, se desplegara una ventana que mostrara por medio de progres bar la variación de las diferentes ondas cerebrales.

Figura 28: Interfaz de lectura de Ondas cerebrales y control robótico**.**

Posteriormente dando clic en el botón Stop se guardara el promedio de cada una de las ondas cerebrales, posteriormente podrán ser consultadas.

En la opción Consultar Ondas, el usuario podrá visualizar por medio de una tabla, los diferentes valores de las ondas cerebrales que se registraron con el MindSet, de esto modo se puede observar las diferentes variaciones que el usuario puede llegar a tener dependiendo el estado de ánimo en el que se encuentre.

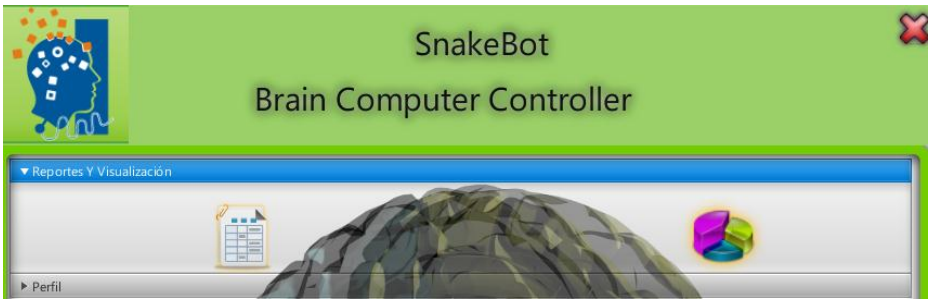


Figura 29: Consulta de Ondas cerebrales y reportes.

En la opción de reportes el usuario visualizara por medio de un gráfico de Tortas el porcentaje que cada onda cerebral tubo al realizar el control robótico.

10. PRUEBAS

Las pruebas realizadas a la aplicación se desarrollaron durante y al terminar la fase de implementación de la aplicación.

Pruebas de Software #1	
Fecha de realización	Agosto 15 de 2012
Duración	2 Minutos
Tipo de prueba	Caja blanca
Nombre de la GUI	GuiRegistro
Procedimiento de la prueba	El usuario debe diligenciar el formulario con sus datos personales para tener acceso a la aplicación. El sistema debe verificar que los datos estén digitados correctamente.
Resultado esperado	Activación y registro para iniciar sesión en la aplicación.
Resultado obtenido	Prueba exitosa SI (X) NO ( )
Datos de entrada	**Resultados esperados**
Nombre: Carlos Apellido: Peña Contraseña: 123456 Verificar Contraseña:123456 Identificacion:1112101893 Nick Name: carlosjulio	Registro Exitoso
Pruebas de Software #2	

Fecha de realización	Agosto 15 de 2012
Duración	2 Minutos
Tipo de prueba	Caja blanca
Nombre de la GUI	GuiInicio
Procedimiento de la prueba	El usuario debe iniciar sesión en la aplicación, el sistema debe validad la veracidad de los datos digitados por el usuario.
Resultado esperado	El Usuario inicia sesión en la aplicación, el sistema muestra un mensaje de ingreso satisfactorio.
Resultado obtenido	Prueba exitosa SI (X) NO ( )
Datos de entrada	**Resultados esperados**
Usuario : carlosjulio Contraseña:123456	Inicio de sesión exitoso.

Pruebas de Software #3	
Fecha de realización	Agosto 15 de 2012
Duración	2 Minutos
Tipo de prueba	Caja blanca
Nombre de la GUI	GuiUsuario
Procedimiento de la prueba	El usuario actualiza alguno de sus datos personales. No podrá modificar la identificación y el Nick.
Resultado esperado	Modificación o actualización exitosa.
Resultado obtenido	Prueba exitosa SI (X) NO ( )
Datos de entrada	**Resultados esperados**
Nombre : Carlos Julio Apellido : Peña Valencia	Actualización Exitosa.

Pruebas de Software #5	
Fecha de realización	Agosto 15 de 2012
Duración	2 Minutos
Tipo de prueba	Caja negra
Datos de prueba	Conexión aplicación C Sharp - Java
Procedimiento de la prueba	El usuario debe dar clic en el botón Star que da inicio al control robótico, desplegando una interfaz que por medio de un socket viajara el flujo de información desde la aplicación en C Sharp a Java.
Resultado esperado	Muestra la aplicación en C Sharp
Resultado obtenido	Prueba exitosa SI (X) NO ( )
Datos de entrada	**Resultados esperados**
Nombre: Conexión aplicación C Sharp – Java	Conexión Exitosa.

11. SISTEMA DE DETECCIÓN DE ONDAS CEREBRALES Y CONTROL ROBÓTICO

El sistema de detección es un área encargada de recibir el enlace y el flujo de datos generados por el dispositivo BCI que se encuentra interconectado al sistema principal; este dispositivo envía un flujo de datos los cuales son recibidos por medio de una librería DLL la cual traduce esta información, formando paquetes de datos más legibles, brindando así la oportunidad de controlar tipos de datos con punto flotante.

El sistema está diseñado para tomar quinientas doce (512) muestras por segundo, de tal manera tener una señal más limpia y con datos muy específicos y confiables.

El algoritmo que se sigue para la obtención y procesamiento comienza primero con la **captura de la señal** por medio del dispositivo BCI transmitidas por el puerto USB o Bluetooth; luego por medio de librerías DLL fragmentar en métodos y variables el flujo de datos recibidos, luego se hace una comparación de las ondas Alpha, Betha, Gamma, para tomar las ondas con más señal y la que esté en mayor actividad, y así asignar un valor final a cada una de estas señales mencionadas; luego se aplica a cada una de las ocho diferentes ondas la siguiente formula $|ValorOnda - 65536|$, se aplica el valor absoluto al resultado para obtener valores positivos, ya que al recibir valores de una onda se debe procesar toda la señal obtenida y los valores negativos como los positivos representa valores de alto rango, y así se elimina el signo negativo y se toma el dato con su valor positivo, el valor 65536 es el límite superior e inferior de la señal y se le debe restar para que el valor de cada señal quede entre los límites de **-32768 y 32767**, el cual representa el rango óptimo de las áreas que contienen la mayor información de la señal obtenida por el dispositivo BCI MindSet; después se aplica una regla de tres, para obtener el porcentaje de cada onda y así manejar rangos que permitan obtener una descripción o un análisis básico de las diferentes ondas, de tal modo saber el nivel de los estados mentales **Relajado y Estresado**; ya al hacer las conversiones numéricas de los datos procesados se hace la comparación sobre las ondas procesadas, para determinar el estado mental que predomina en el momento de la ejecución de la aplicación.

Todo este algoritmo de reconocimiento se realizó aplicando lógica difusa, donde teniendo valores de comparación se establece una salida para un caso dado, en este proyecto se toman tres rangos diferentes donde se observa la cantidad de señal recibida, de tal modo se toma una decisión dado un valor de salida y una comparación, si este valor de salida se encuentra entre los rangos establecidos se determina el estado mental que el usuario está desarrollando en ese momento dado.

11.1 CAPTURA DE INFORMACIÓN

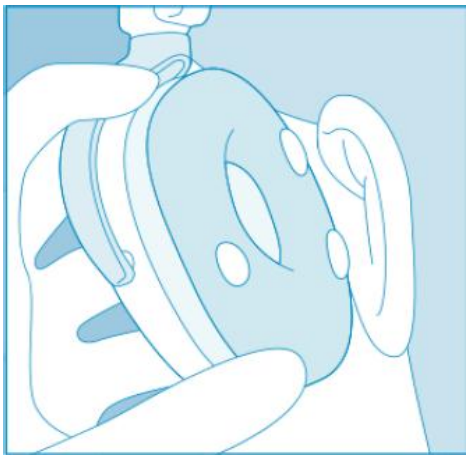
Para este proyecto se utilizó un dispositivo BCI llamado MindSet de la empresa NeuroSky, con capacidad de capturar 512 muestras por segundo, este equipo es el encargado de las lecturas de las diferentes ocho ondas cerebrales (alfa X2, beta X2, teta, gamma X2, delta).

Figura 30: Manera Correcta de utilizar el MindSet y Diseño.

Este dispositivo contiene un sensor el cual es apoyado en la zona de la frente del usuario y otros tres que son apoyados alrededor de la oreja usuario, los cuales son los encargados de la recepción de las ondas cerebrales.

Figura 31: Sensor Frente

Figura 32: Puntos tierra alrededor de la Oreja



Fuentes: Mindset instruction manual – NeuroSky. P.22.

11.2 MUESTREO Y TOMA DE DECISIONES

Lo primero que se realizó fue determinar que ondas se utilizarían para el proceso de análisis y cuales estados mentales se iban a analizar para la ejecución de completa del sistema; en este caso se analizarán dos estados mentales: Estrés, Relajamiento.

El estado de relajamiento de una persona, se determina como el momento más rápido que se obtiene en una mente equilibrada y sin pensamientos que perturben la tranquilidad del individuo, en este momento la persona está en un momento total de sosiego y es uno de los estados más difíciles de conseguir.

Ya cuando se comienza a generar movimiento, a tener múltiples pensamientos, acciones u otro actividad cerebral que implique aumentar la actividad cerebral de manera menos equilibrada y más aleatoria, se obtiene un estado mental de alto nivel, ya que no hay tranquilidad, el cerebro está en plena actividad intentando resolver algún problema que surja, como mover algún miembro, tener una conversación, entre otras actividades que se pueden realizar en un día normal o en un día caótico.

Estos dos impulsos, actividad y relajo, son los estados que definen el comportamiento de la estructura robótica y en el cual se verá reflejado el estado mental que se tiene en ese momento.

Para esto, la persona que esté utilizando el sistema deberá primero tomar un estado de relajamiento, un estado donde su mente este equilibrada y tranquila, de este modo la estructura robótica comenzará hacer un movimiento establecido, llamado Linear Progression (Ver Figura 7, Página 26).

Al tener un estado de actividad plena la estructura robótica hará un movimiento diferente a este, que muestre el contrario de su estado mental en el momento, es decir que el robot mostrará un movimiento tranquilo mientras se obtiene un estado mental de relajamiento.

11.3 CONTROL ROBÓTICO

Según los niveles de relajamiento y estrés, se ha asignado por medio de software dos gaits diferentes, los cuales están asignados a cada estado mental analizado.

El primer gait es el Linear Progression, el cual se logra haciendo mover tres servomotores de manera síncrona, realizando un movimiento que se genera en la cola del robot y que se desplaza hacia la cabeza de este, formando una onda sinodal, este movimiento se repite durante 4 segundos hasta que se tome otra lectura y se haga el análisis de estado mental.

Los servos que se han utilizado son de marca Tower, con una capacidad de torque entre 3.5 a 6.5 kilogramos por centímetro, donde se logra su movimiento por medio de un flujo de voltaje mínimo de 4 voltios hasta un máximo de 6.5 voltios, utilizando el controlador de servos Polulo Maestro se puede hasta 8 voltios y él< se encarga de regularlo para cada servo; también se necesita un amperaje de mínimo 1.3 Amperes para que todos los servomotores tengan la suficiente energía y fuerza para realizar los diferentes movimientos que se les introduzcan.

Para hacer los movimientos en los servos se deben enviar flujos de voltaje durante un tiempo en milisegundos (ms), donde para los servos Tower 1500 ms corresponden a 90° y es el punto 0 o punto medio de cada servo, 1000 ms es 0° y 2000 ms corresponden a 180°; para generar los movimientos con esta estructura robótica no se deben llegar a los extremos del servo, ya que por las articulaciones y cableado no se podrá alcanzar y se forzará al servomotor causando una sobre carga y llevándolo a un daño; entonces para este proyecto se utilizaron 1140 ms para hacer que el servomotor haga un giro hacia el lado izquierdo y 1840 ms para que el servomotor haga un giro hacia el lado derecho y 1500 ms para nivelar la estructura en su punto medio.

Con el lenguaje de programación C Sharp de .NET Microsoft, se utilizaron hilos para que se lograra tener una pausa entre cada movimiento del servomotor, cada pausa dura 250 ms, de esta forma se tendrá un movimiento más limpio, y con menos movimientos toscos, evitando causar un daño en la estructura o en el cableado.

Figura 33: Servomotor Tower, Primer módulo Snake Robot

12. CONSTRUCCIÓN Y ESAMBLE SNAKE ROBOT

Para la construcción de la estructura robótica modular, se utilizaron un total de 6 servomotores Tower, cada servomotor ubicado en un sostenedor diseñado con medidas específicas para las dimensiones del servomotor utilizado (Ver Figura 21) y 7 articulaciones (Ver Figura 22) que van fijas al servo por medio de tornillos de 3mm de diámetro las cuales van interconectadas a los sostenedores para formar cada módulo; un módulo consta de 2 servomotores, 2 sostenedores y 2 articulaciones.

Figura 34: Sostenedores Servomotores Tower – Diseño y Medidas

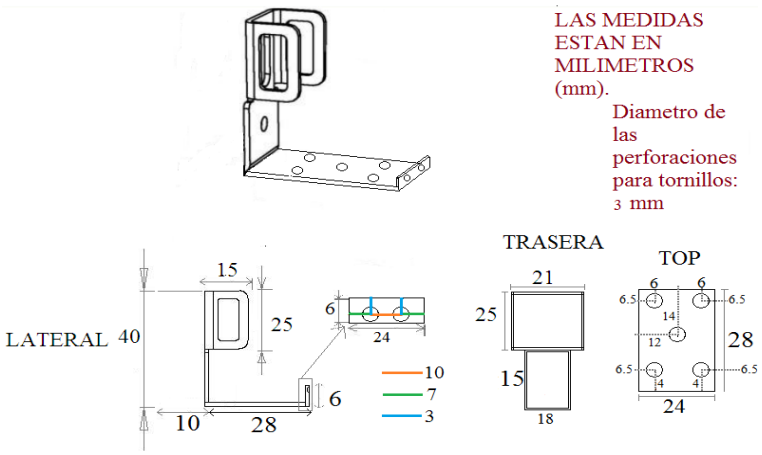
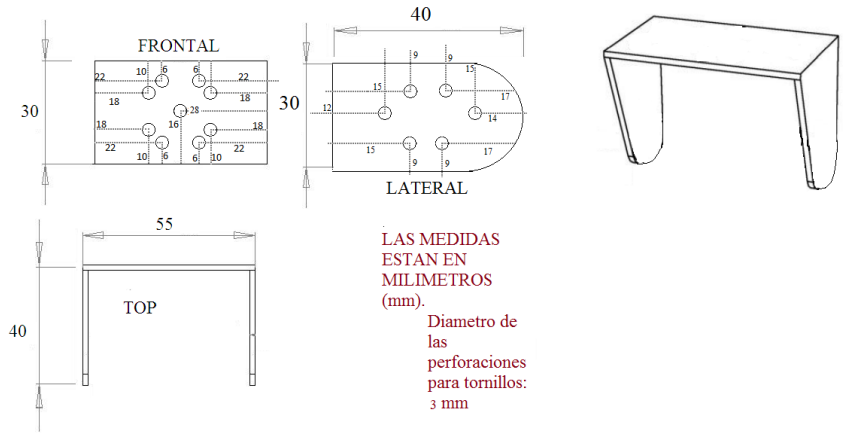


Figura 35: Articulaciones Forma ‘U’ - Diseño y Medidas.

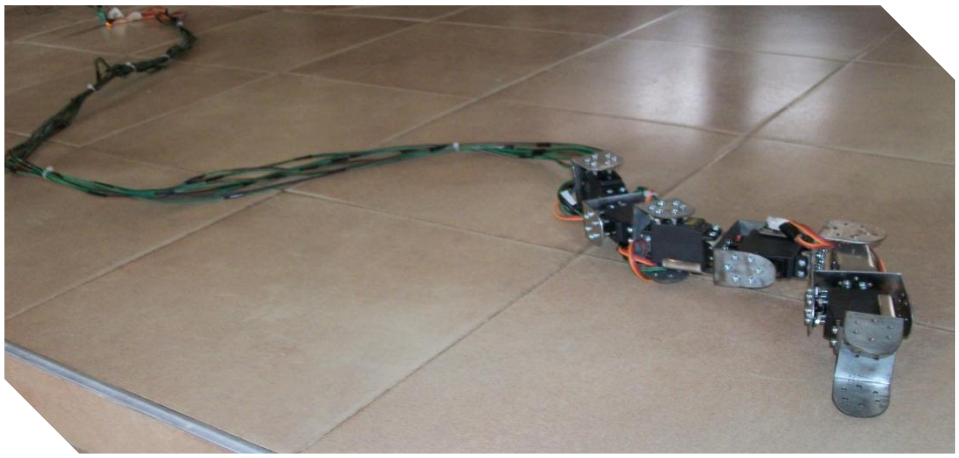


El ensamblado consta de por cada módulo 2 servomotores, uno que realice un giro de forma horizontal de izquierda a derecha, y otro que haga un giro vertical de arriba hacia abajo, también constará de 1 sostenedor de servo para cada servomotor involucrado en el módulo, y cada uno con su respectiva articulación forma ‘U’ (Ver Figura 20).

Figura 36: Servomotores con sus articulaciones

Para el ensamble de todos los servos con sus respectivas estructuras fueron necesarios 81 tornillos de 3 mm de diámetro con su respectiva tuerca; cada estructura que conforman los módulos son hechos en acero quirúrgico ya que el aluminio presentaba problemas de rigidez y de resistencia, por lo que la hace un doble para hacer la forma de cada estructura se producía un quiebre en la estructura, al igual que el acero inoxidable, el material que brindó mayor resistencia para este trabajo fue este.

Figura 37: Resultado Final de la estructura robótica modular - Snake Robot.



13. RECOMENDACIONES Y PROYECCIONES

13.1 Recomendaciones.

- Para la ejecución de la aplicación se debe tener en cuenta tener instalado en el computador Java JRE.

- Considerar una distancia máxima de 2 metros entre el computador y el usuario con el MindSet para lograr una buena ejecución y control del robot.

- La superficie donde estará desplazándose el robot debe estar libre de rocas u otros elementos que entorpezcan el buen funcionamiento y desempeño del robot.

- La estructura modular se conecta por medio cableado al computador con una longitud de aproximada de 2 metros de largo, no se debe forzar o estirar los cables para evitar daños y cortos en el sistema.

- Configurar adecuadamente el puerto por el que se recibirán los datos de las ondas cerebrales.

13.2 Proyecciones.

- Controlar el sistema modular de manera inalámbrica, utilizando una tecnología que permita el envío de datos desde el computador al robot.

- Implementar la lectura de más señales EEG con un dispositivo de 14 canales, para obtener no solo estados mentales básicos, sino pensamientos más profundos de una persona, de esta manera identificar si se quiere desplazar hacia adelante, atrás o alguna otra dirección en el momento de pensarlo.

- Avanzar más en la investigación para generar prótesis robóticas según la experiencia obtenida en el diseño, construcción y ejecución del proyecto.

14. COSTOS DEL PROYECTO

DESCRIPCION	*VALOR*	*CANTIDAD*	*TOTAL*
Equipos de computo			
computador portátil	$ 1’600.000	1	$ 1’600.000
Total equipos de computo			$ 1’600.000
Materiales de oficina			
Papelería	$ 12.000	1	$ 12.000
DVD	$ 1.100	3	$ 3.300
Lapiceros	$ 2.000	1	$ 2.000
Libreta de apuntes	$ 10.000	1	$ 10.000
argollado, empastados	$ 60.000	2	$ 120.000
Total de materiales de oficina			**$ 147.300**
Herramientas de desarrollo			
Enterprise Architect	$ 517.000		$ 517.000
Visual Studio Express	Libre		
MindSet Development Tools	Libre		
Total herramientas de desarrollo			**$ 517.000**
Materiales Hardware del Proyecto			
Servo Motor	$31.000	7	$ 217.000
Módulo de Comunicación RS232 TTL	$25.000	1	$ 25.000
Kit de Soportes para Servos	$20.000	7	$ 140.000
Cables extensores para transmisión Servos	$1.000	7 (MTS)	$ 7.000
MindSet	$650.000	1	$ 650.000
Total			**$ 1’039.000**

Costo total del proyecto	**$ 3’303.300**

15. CONCLUSIONES

- Gracias a la utilización de los servomotores Tower de $6\frac{kg}{cm2}$ de torque, la plataforma robótica modular realizó el movimiento *Linear Progression* sin sobrecargar el sistema y generando el resultado esperado.

- Por medio de la aplicación desarrollada en el lenguaje de programación C Sharp (C#) de .Net, se logró comprobar que las formulas diseñadas por la empresa NeuroSky son capaces de depurar el ruido generado durante la recepción y transmisión de datos, de tal manera se adquirieron datos mucho más confiables para la interpretación correcta de las ondas alfa, beta, teta y delta.

- Mediante el algoritmo inteligente diseñado se pudo constatar que los conjuntos difusos planteados son capaces de filtrar y clasificar la información recibida por el MindSet determinando los diferentes niveles y estados mentales según las combinaciones de las ondas cerebrales.

- A través de este trabajo se logró comprobar que es posible comunicar y sincronizar dos plataformas de desarrollo de software mediante Socket TCP y Threads para transmisión de información.

- Con la realización de este trabajo se comprobó que es posible controlar una plataforma robótica según la lectura de las ondas alfa, beta, teta y delta, generando movimientos programados y ejecutándolo según las interpretaciones dadas por el sistema inteligente.

- Se logró comprobar que mediante la combinación entre las ondas alfa y delta, se puede obtener el estado de relajamiento de una persona; y la combinación entre las ondas beta y teta se obtiene un estado de alta excitación en el cerebro, a lo que se definió como un estado de estrés.

16. BIBLIOGRAFIA

ANGEVIN, R. R. Retroalimentación en el entrenamiento de una interfaz cerebro computadora usando técnicas basadas en realidad virtual. 2005.

BURDICK, G. C.. Hyper-redundant robot mechanisms and their applications, in Intelligent Robots and Systems [online] . En: *Intelligence for Mechanical Systems, Proceedings IROS '91. IEEE/RSJ International Workshop*. 1991.

COLOMBIA. MINISTERIO DE COMUNICACIONES. Comisión Nacional de Televisión. Resolución 689 de 2004 (28, abril, 2004).

COLOMBIA. MINISTERIO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES. Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, Apéndices del Manual de Gestión Nacional del Espectro Radioeléctrico. (2010). Aplicaciones del espectro radioeléctrico para los servicios de radiocomunicación de 9 KHz a 1000 GHz.

Corp, M. *Microsoft Visual Studio*. Recuperado el 2011, de http://msdn2.microsoft.com/es-es/vstudio/default.aspx, 2007.

CONNALEN, Jim. Building Web Applications with UML. Addison Wesley. The UML extension for Web applications [en línea]. 1999.

Elie Shammas Alon Wolf H. Ben Brown, J. H.. New Joint Design for Three-dimensional Hyper Redundant Robots [online]. *University, Pittsburgh, PA 15213, USA, Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems Las Vegas, Nevada*. 2003.

KIMURA, Hitoshi S. H.. Stuck evasion control for Active-Wheel Passive-Joint snake-like mobile robot ‘Genbu”. *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics 8 Automation New Orleans*. 2004.

LIPKIN,Kevin I. B.. Differentiable and Piecewise Differentiable Gaits for Snake Robots. *Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems San Diego*. 2007.

KOVACS, J.. *C#/.NET History Lesson*. Obtenido de http://jameskovacs.com/2007/09/07/cnet-history-lesson/.2007.

YIM, Mark D. G.. “PolyBot: a Modular Reconfigurable Robot”. *roceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation* . 2000.

MELO, Kamilo.Serial Hyper-redundant Locomotion system for Variational Non-structured terrain Autonomous transitions. *Thesis Doctoral*. 2011.

MÍNGUEZ, Javier.. Tecnología interfaz cerebro - computador Grupo de Robótica, Percepción y Tiempo Real. 2005

Nakagawa, T. F.. Dynamically reconfigurable robotic system" in Robotics and Automation. *Proceedings, 1988 IEEE International Conference on*. 1998.

VELEZ, Paulo Andres H. S.. *clasificación básica de neuroseñales.* 2010.

Physiological, A. J.. *Psychophysiology: Human Behavior & Physiological.* New York: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Publishers, fourth edition. 2000.

HIROSE, Shigeo M. M.. Biologically Inspired Snake-like Robots. *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*. 2004.

KAMEGAWA, T.“Development of the snake-like rescue robot," in Robotics and Automation. *Proceedings. ICRA '04. 2004 IEEE International Conference on, vol. 5*. 2004.

WOLPAW J.R., B. N.. *Brain-computer interface technology: a review of the first international meeting.* IEEE Trans. Rehab. Eng Vol. 8, Nº. 2, pp. 164-.2000.

Yim, M.. New locomotion gaits, in Robotics and Automation,. *Robotics Laboratory, Computer Science Department , Stanford University*. 1994.

Yim, M.. Locomotion With A Unit-Modular Reconfigurable Robot. *a dissertation submitted to the department of mechanical engineering and the committee on graduate studies of stanford university*. 1994.

Yim, M.. Modular self-reconfigurable robot systems grand challenges of robotics. *Challenges and Opportunities for the Future*. 2007.

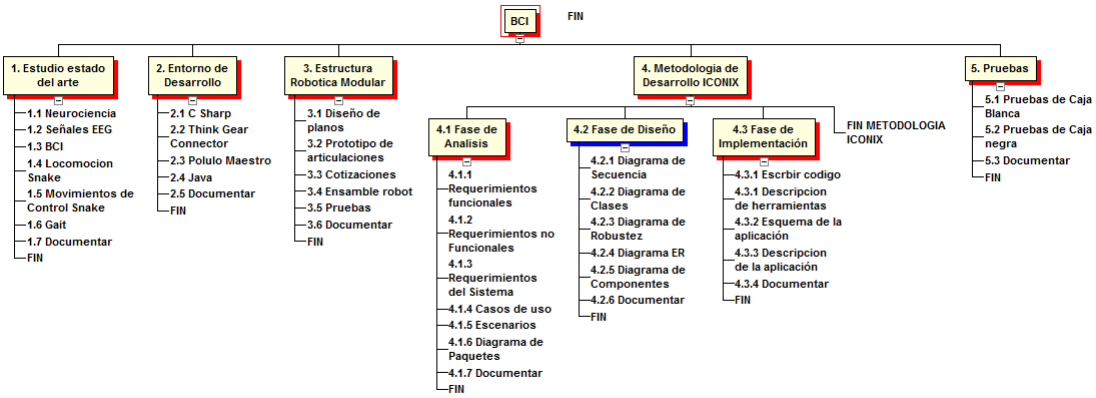
TESCH, Matthew, K. L.. “Parameterized and Scripted Gaits for Modular Snake Robots” Advanced Robotics. *Department of Robotics, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213, USA Received*. 2008.

JENSEN, Eric. *Cerebro* y aprendizaje: competencias e implicaciones educativas.2004

17. ANEXOS

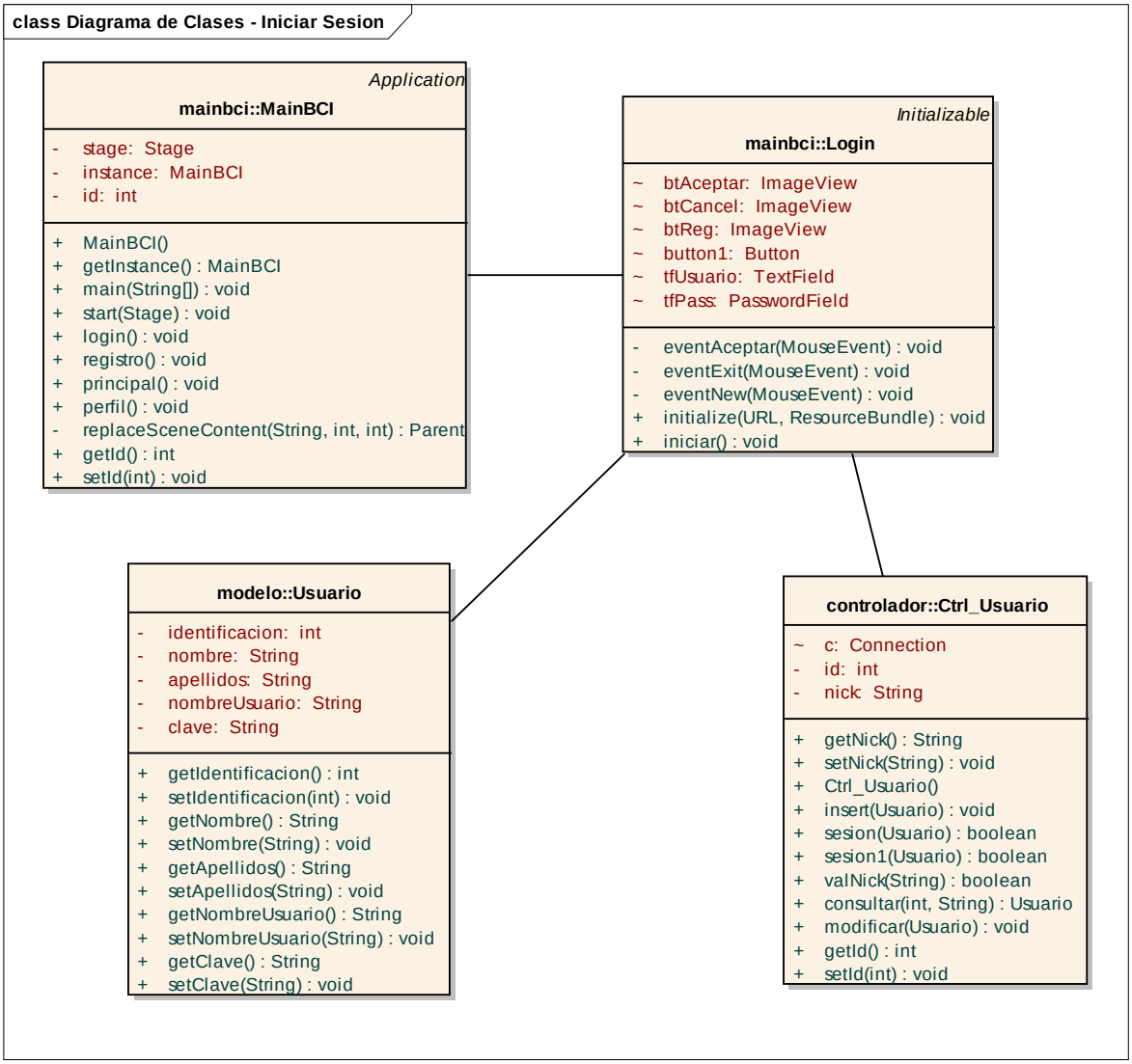
Anexo No. 1 Cronograma de Actividades

		Nombre de tarea	Duración
1		BCI	330 días
2		1. Estudio estado del arte	101 días
11		2. Entorno de Desarrollo	46 días
18		3. Estructura Robotica Modular	81 días
26		4. Metodologia de Desarrollo ICONIX	101 días
27		4.1 Fase de Analisis	29 días
36		4.2 Fase de Diseño	43 días
44		4.3 Fase de Implementación	101 días
51		FIN METODOLOGIA ICONIX	0 días
52		5. Pruebas	4 días
57		FIN	0 días

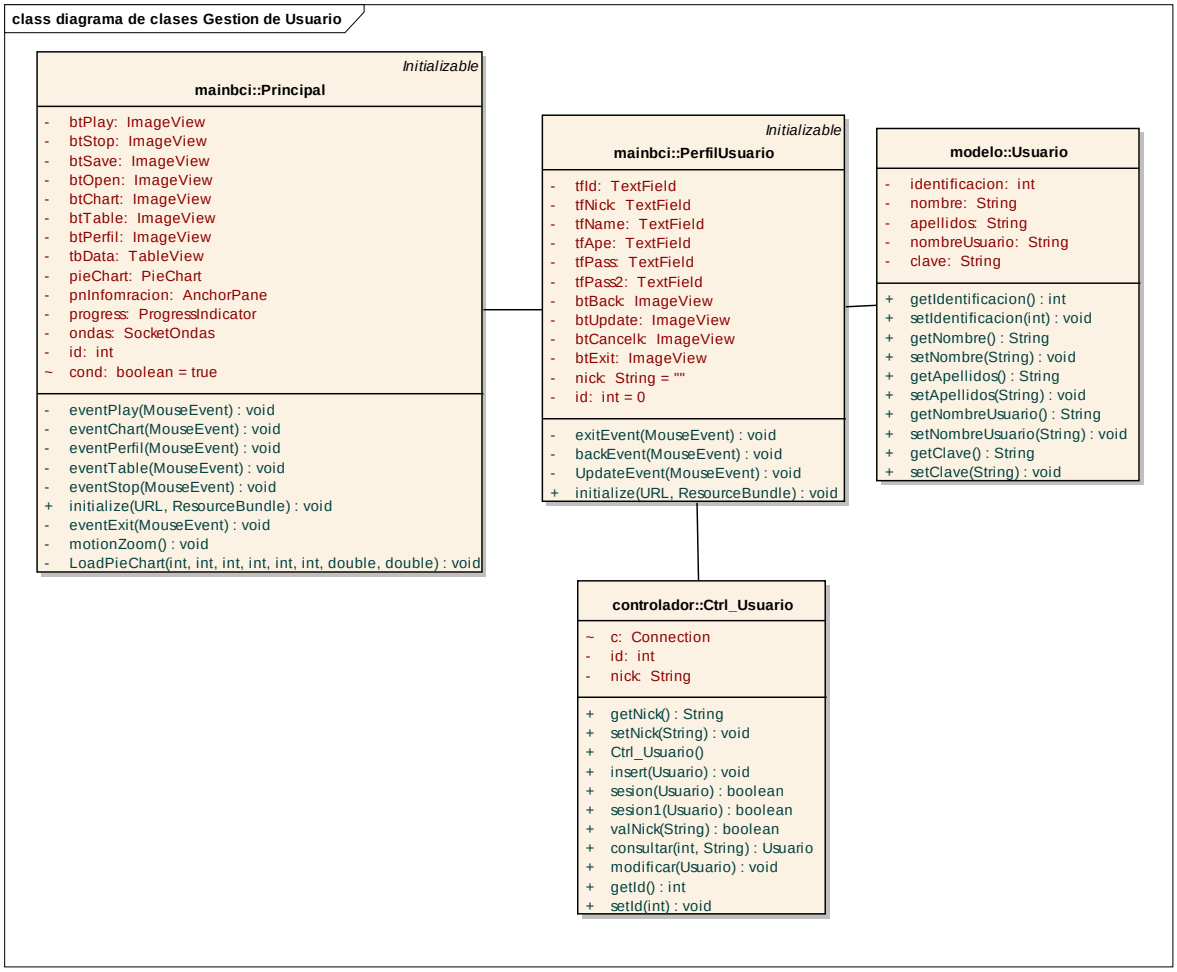


Anexo No. 2 Diagramas de Clases.

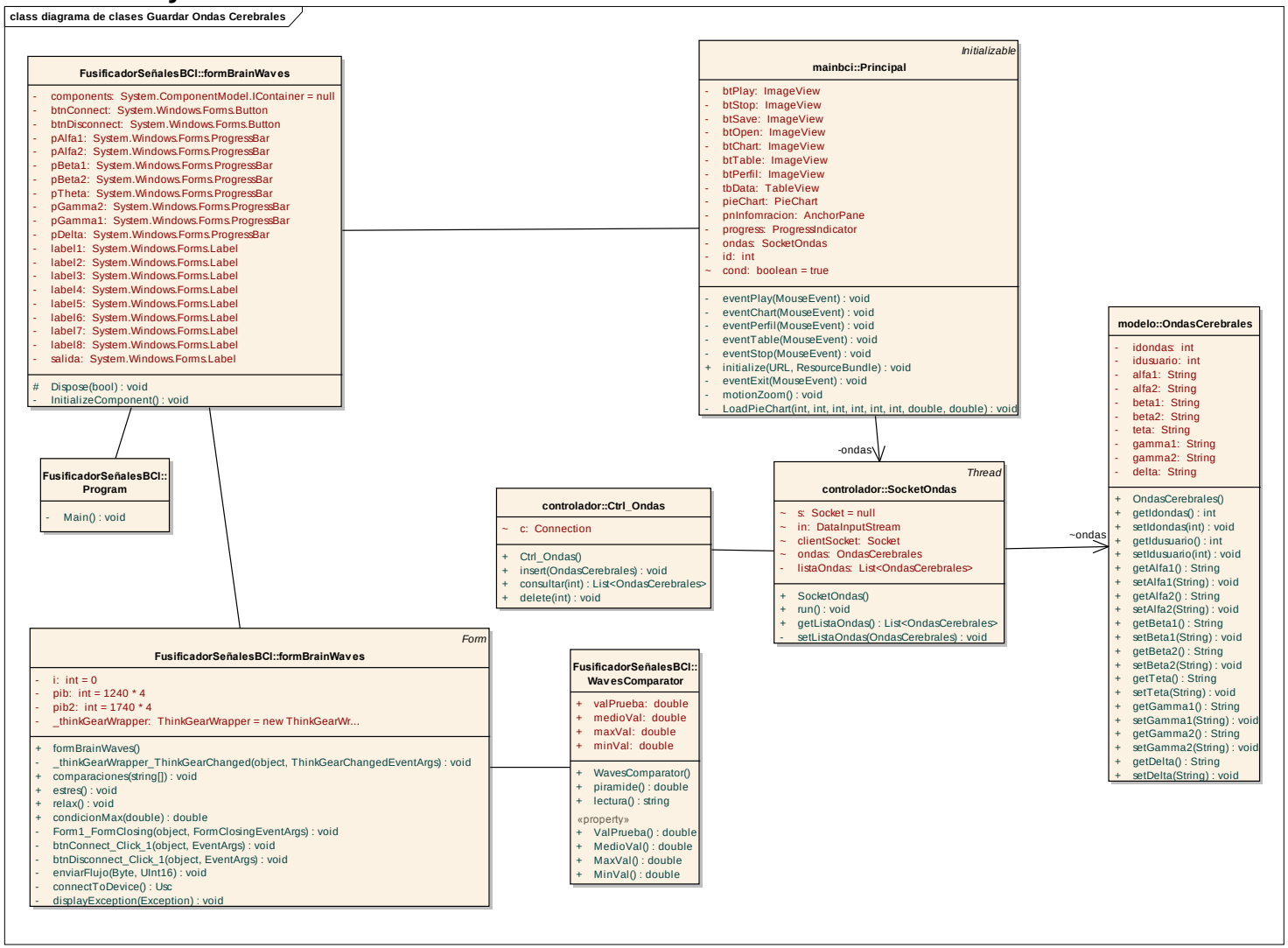
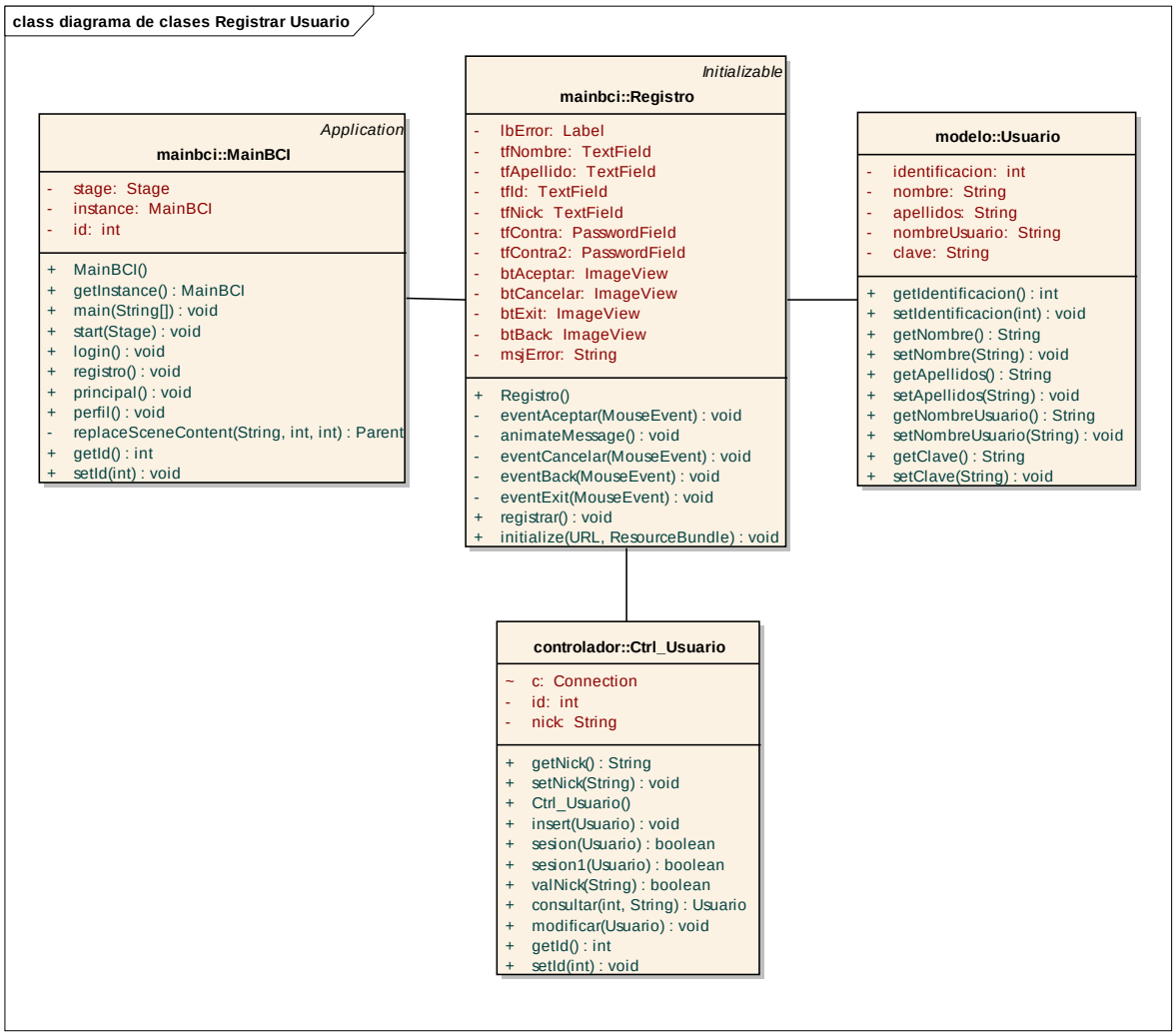
Iniciar Sesión:



Gestión de Usuarios



Guardar Ondas y Control Robótico.



Registrar Usuarios.