

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

**PROTOTIPO DE SISTEMA DOMÓTICO HABILITADO
PARA INTERACCIÓN CEREBRO-MÁQUINA**

JORGE ELÍAS CHÁVEZ NIETO

INFORME FINAL DE PROYECTO
PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL EN INFORMÁTICA

DICIEMBRE, 2013

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Informática

**PROTOTIPO DE SISTEMA DOMÓTICO
HABILITADO PARA INTERACCIÓN
CEREBRO-MÁQUINA**

JORGE ELÍAS CHÁVEZ NIETO

Profesor Guía: Silvana Roncagliolo de la Horra

Carrera: Ingeniería Civil en Informática

Diciembre, 2013

Resumen

En este estudio se diseña e implementa un sistema domótico basado en tecnologías web habilitado para la interacción con un dispositivo de interfaz cerebro-máquina Emotiv EPOC.

Para una correcta integración de las tecnologías anteriormente mencionadas, se realiza y presentan los resultados de una investigación sobre el estado del arte, alcances y restricciones de las tecnologías BCI. Además, se desarrolla un prototipo de sistema domótico que incluye tanto el software, necesario para controlar la automatización de elementos básicos de un hogar, como también su complemento en hardware y electrónica requerida para su funcionamiento.

Palabras-claves: Interfaz cerebro máquina, interfaz cerebro computador, sistemas domóticos, automatización del hogar, Emotiv EPOC.

Abstract

This research designs and implements a house automation system based on web technologies enabled for its use with an Emotiv EPOC Brain Computer Interface.

In order to obtain an effective integration between the forementioned technologies, a research on the state of the art on BCI technologies is given, as well as the results obtained, its scope and restrictions. Also, a home automation system prototype is developed and includes required software modules to control the automation of basic elements of a home, as well as its complement in hardware and electronics required for its functioning.

Keywords: brain machine interface, brain computer interface, domotic systems, home automation, Emotiv EPOC.

Índice

1	Introducción.....	6
2	Definición de Objetivos	7
2.1	Objetivo General.....	7
2.2	Objetivos Específicos	7
3	Marco Referencial	8
3.1	La Neurociencia y el Mapeo Cerebral.....	8
3.2	Interfaz Cerebro-Máquina	10
3.2.1	Descripción General	10
3.2.2	Estado del Arte.....	11
3.2.3	Tipos de BCIs.....	11
3.2.4	Métodos de Neuroimagen en BCIs.....	12
3.2.5	Señales de Control BCI.....	14
3.3	Sistema Domótico.....	15
3.3.1	Arquitecturas de un sistema domótico	16
4	Desarrollo e Integración	17
4.1	Desarrollo del Dispositivo BCI	17
4.1.1	Preparación	17
4.1.2	Software Asociado.....	18
4.1.3	OpenViBE.....	19
4.2	Desarrollo del Sistema Domótico.....	20
4.2.1	Datos Generales.....	20
4.2.2	Descripción General	20
4.2.3	Desarrollo de Software de Control	20
4.2.4	Desarrollo de Actuadores.....	22
4.3	Integración de Soluciones	25
4.4	Pruebas Preliminares	26
4.4.1	Pruebas P300.....	26
4.4.2	Pruebas Basadas en Expressiv Suite	27
5	Mejoras y Pruebas Finales	29
5.1	Alternativas Estudiadas.....	29
5.1.1	Estudio Basado en SSVEP	29
5.1.2	Estudio Basado en Ritmos Sensorimotors	31
5.2	Mejoras Implementadas	33
5.2.1	Desarrollo de Solución Hover Click o Click Dwell	33
5.2.2	Ajuste de la Velocidad del Cursor	34
5.3	Pruebas Finales y Resultados	34
6	Conclusiones	36
7	Referencias.....	38

Lista de Figuras

Ilustración 3.1 - Mapa y funciones cerebrales asociadas	9
Ilustración 3.2 - Sistema BCI tradicional	10
Ilustración 3.3 - Rango de operación de un sistema domótico clásico.	15
Ilustración 4-1 - Proceso de preparación de sensores	17
Ilustración 4-2 - Ubicación recomendada para EPOC por Emotiv.....	18
Ilustración 4-3 - Pantalla de inicio del Panel de Control EPOC.....	18
Ilustración 4-4 - Diseñador de flujos OpenViBE	20
Ilustración 4-5 - Frontend de prototipo de software de control.....	21
Ilustración 4-6 - Tecnologías utilizadas en el software de control	21
Ilustración 4-7 - Electrónica integrante del actuador	22
Ilustración 4-8 - Actuador compuesto: Chipkit32, Shield de 4 Relés y WiFly RN-XV..	23
Ilustración 4-9 - Actuador integrado como capa intermedia.....	24
Ilustración 4-10 - Visualización de aplicación P300 para deletreo de palabras	26
Ilustración 4-11 - Configuración utilizada en Expressive Suite	28
Ilustración 5-1 - Distribución de 6 estimuladores visuales	29
Ilustración 5-2 - Navegación en capas del sistema domótico	31
Ilustración 5-3 - Interfaz de la Suite Cognitiv del panel de control EPOC.....	32
Ilustración 5-4 - Visualización de solución Hover Click	34

Lista de Tablas

Tabla 3.1- Distribución general de funciones cerebrales	9
Tabla 3.2 - Métodos de neuroimagen conocidos	13
Tabla 4-1 - Descripción de actuador integrado como capa intermedia	24
Tabla 4-2 - Flujo de funcionamiento del sistema integrado.....	25
Tabla 4-3 - Resultado de pruebas con EPOC en aplicación P300.....	27
Tabla 4-4 - Resultados de pruebas mediante Expressiv y Mouse Emulator	28
Tabla 5-1 - Resultado de pruebas mediante SSVEP.....	30
Tabla 5-2 - Resultados de pruebas de ritmos sensorimotores	32
Tabla 5-3 - Resultados de pruebas finales.....	35

Lista de Abreviaturas o Siglas

ALS	Amyotrophic Lateral Sclerosis o Esclerosis Lateral Amiotrónica.
AT	Assistive Technologies o Tecnologías Asistivas.
BCI	Brain-Computer Interface o Interfaz cerebro computadora.
ECOG	Electrocorticograma.
EEG	Electroencefalograma.
EMG	Electromiograma.
EOG	Electrooculograma.
FMRI	Functional Magnetic Resonance Imaging o Imagen por Resonancia Magnética Funcional.
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning o Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado.
LNI	Lectura Neuronal Intracortical.
MEG	Magnetoencefalograma.
MMI	Mind-Machine Interface o Interfaz mente-máquina.
NIRS	Near Infrared Spectroscopic o Espectroscopia de Infrarrojo Cercano.

1 Introducción

Actualmente existe una amplia gama de tecnologías asistenciales (AT, por sus siglas en inglés) que apuntan a facilitar el día a día en el hogar a personas con diferentes niveles de discapacidad motora. Sin embargo, por cuestiones de personalización y costo, muchas de estas soluciones están pensadas para usuarios que son capaces de ejecutar un mínimo de actividades físicas, como por ejemplo presionar un botón u operar un control. Esto último, aunque práctico para algunos, discrimina a aquellas personas con un grado de discapacidad física superior, quienes en ciertos casos sólo disponen de su actividad cerebral.

En los últimos años el panorama en el área de las discapacidades severas se ha abierto a una nueva solución, la interacción humano-máquina mediante interfaces cerebro-máquina, o BCI por sus siglas en inglés, con la cual se ha explorado un sinnúmero de aplicaciones en distintos campos como en la comunicación, la robótica, la movilidad y las neuroprótesis desde su apertura como dispositivo electrónico de nivel de investigación a un precio más asequible para el consumidor promedio. Esto ha permitido que la posibilidad de actuar sobre el entorno que nos rodea sin el uso del sistema nervioso eferente sea una nueva opción a considerar que abre la posibilidad de nuevos tipos de interacción para la mejora de la calidad de vida para aquellas personas con un grado importante de limitación física.

Este proyecto propuso realizar un sistema de administración y uso de equipos electrónicos de uso doméstico, conocido en el mercado como sistema domótico, capaz de integrarse con BCI y es a lo largo de este documento que se entregan los alcances y algunas especificaciones de su desarrollo.

Este sistema ofrece funcionalidades para ser utilizado por personas con discapacidad física severa, pudiendo en algunos casos extenderse su uso a personas con discapacidad mental.

Se hace necesario entonces el uso de equipos adicionales especializados para el apoyo comunicativo del usuario, siendo la selección para el sistema propuesto, la solución sensor de ondas cerebrales Emotiv® EPOC, capaz de medir las ondas cerebrales por medio de Electroencefalograma (EEG) de alta resolución.

El sistema en sí está limitado al subconjunto del área de domótica relacionada a la automatización en el uso inmediato de los equipos electrodomésticos, remitiéndose sólo a la programación de un cronograma y uso directo de encendido/apagado de los equipos, escapándose entonces de tareas como la seguridad, intercomunicadores y robótica.

El presente documento comienza entonces con la descripción de los objetivos del proyecto. Dentro del marco referencial, se expone la base teórica sobre la cual se desarrolló el proyecto, explicando conceptos básicos, alternativas y avances en el desarrollo de las tecnologías involucradas. En la sección continua se describen las herramientas utilizadas para la implementación, y finalmente, se explica el concepto del sistema, su arquitectura de implementación y mejoras implementadas.

2 Definición de Objetivos

2.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema domótico basado en una arquitectura centralizada con capacidades de utilización por medio de una interfaz cerebro-máquina.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Investigar y seleccionar el paradigma BCI más eficiente para integrar con el sistema domótico.
- ✓ Desarrollar software domótico centralizado.
- ✓ Desarrollar e integrar un actuador electrónico básico, compatible con el sistema domótico mencionado, con capacidades de comunicación inalámbrica Wi-Fi.
- ✓ Integrar el sistema con un dispositivo EEG Emotiv EPOC.

3 Marco Referencial

Debido a que los sistemas de interacción cerebro-máquina son en esencia sistemas desarrollados mediante un conocimiento multidisciplinario, con especial importancia en el área de la neurociencia, se hace necesario introducir de forma previa algunos de estos fundamentos para luego continuar con el marco referencial de los BCI.

3.1 La Neurociencia y el Mapeo Cerebral

El cerebro humano es un órgano especializado responsable de todo el pensamiento y el movimiento que el cuerpo produce. Cada parte del cerebro tiene una función única que permite al individuo observar e interactuar con el ambiente de una forma efectiva. Los datos sensoriales procedentes de diversos puntos del cuerpo llegan a zonas especializadas del cerebro, donde se procesan otros impulsos de respuesta que se dirigen a las partes correspondientes en el organismo. Esta dinámica, a su vez, representa parte del estudio de la rama de las ciencias conocida como neurociencia.

La neurociencia busca resolver un amplio rango de incertidumbres sobre el cómo los sistemas nerviosos se encuentran organizados y cómo se integran y funcionan para generar un comportamiento. Estas preguntas pueden ser abordadas utilizando las herramientas analíticas de la genética, la biología celular y molecular, la anatomía del sistema y la fisiología, la biología comportamental y psicología (Purves, 2004).

La neuroimagen incluye el uso de diferentes técnicas para ilustrar la estructura, funciones y farmacología del cerebro. Es una disciplina relativamente nueva dentro de la medicina y la neurociencia (Filler, 2009). Varias de sus técnicas están directamente ligadas a las formas de detección de señales cerebrales utilizadas en los sistemas BCI por lo que se mencionan en detalle más adelante en el apartado 3.2.4 Métodos de Neuroimagen en BCIs. La neuroimagen entrega además un mapeo de cantidades o propiedades biológicas en representaciones espaciales del cerebro humano lo que entrega como resultado mapas cerebrales. A este conjunto de técnicas se le conoce como Mapeo Cerebral. En la Ilustración 3.1 se observa un mapa cerebral, detallando los lóbulos que componen el cerebro y la descripción de algunas funciones cerebrales y su ubicación espacial.

El mapeo cerebral representa un punto fundamental en la interacción cerebro-máquina ya que es mediante el conocimiento de la ubicación de sectores cerebrales y sus asociaciones neurológicas que es posible inferir sobre el contenido de las lecturas realizadas por los sensores utilizados en los distintos BCI.

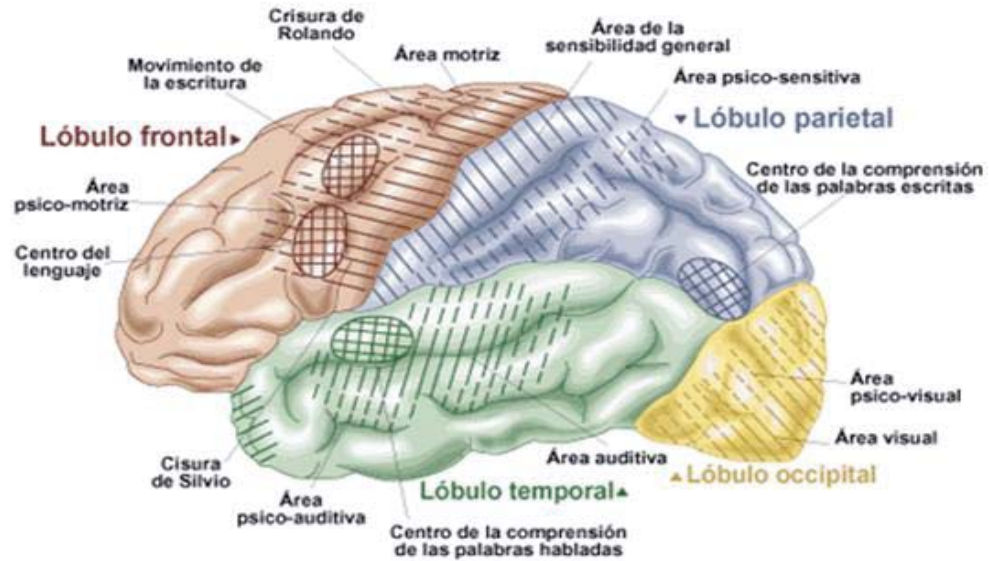


Ilustración 3.1 - Mapa y funciones cerebrales asociadas

La Tabla 3.1 muestra la distribución general de las funciones cerebrales en los lóbulos observados en la Ilustración 3.1.

Lóbulos	Áreas Relevantes	Función
Lóbulo Frontal	Corteza motora	En la parte posterior del lóbulo frontal, regula los músculos estriados. Ayuda al cerebro a monitorear y controlar el movimiento a través del cuerpo.
	Corteza premotora	Coordinación fina entre músculos.
	Corteza prefrontal	Responsable del razonamiento, comportamiento, planeación y emociones.
	Área de broca	Esta área del cerebro controla las neuronas faciales así como también la comprensión del habla y del lenguaje.
Lóbulo Parietal	Corteza sensitiva	Al frente del lóbulo parietal, recibe e interpreta datos de todos los órganos sensoriales como lo son el dolor, la presión y el tacto de distintas partes del cuerpo.
Lóbulo Occipital	Centros visuales	Reciben e interpretan señales visuales
Lóbulo Temporal	Centros auditivos	Reciben e interpretan señales auditivas

Tabla 3.1- Distribución general de funciones cerebrales

3.2 Interfaz Cerebro-Máquina

3.2.1 Descripción General

Una interfaz cerebro-máquina es un sistema de comunicaciones en donde las acciones que un individuo desea realizar frente a su entorno no necesariamente pasan a través de las líneas nerviosas ni músculos del cuerpo humano, sino que es obtenida directamente desde el cerebro a través de su actividad eléctrica. Por ejemplo, una BCI puede estar basada en actividad electroencefálica, basando sus lecturas en pequeños potenciales eléctricos generados en el cerebro.

En la Ilustración 3.2 se muestra un sistema BCI tradicional de grado médico en donde se pueden observar los sensores ubicados sobre el cuero cabelludo del individuo estudiado. La posición de cada uno de estos sensores no es al azar, están ubicados sobre puntos específicos del cerebro donde se pueden obtener señales cerebrales representativas de cierta función corporal, como por ejemplo sobre sectores específicos de la corteza visual por detrás de la cabeza o a lo largo de la corteza sensorimotora ubicada en la parte posterior del lóbulo frontal.



Ilustración 3.2 - Sistema BCI tradicional

Una BCI debe ser capaz de transformar las señales electrofisiológicas del sistema nervioso central en la intención de dichos reflejos con los cuales se actúa sobre el entorno. Se reemplazan los nervios, músculos y los movimientos que ellos producen por señales, hardware y software que traducen dichas señales en acciones. Estas transformaciones son a su vez una de las tareas más interesantes realizadas por las BCI ya que las señales EEG están mezcladas con otras señales de un grupo finito de actividades cerebrales que se traslapan. Además, la señal no es normalmente estacionaria y puede estar distorsionada por artefactos como la electromiografía (EMG) y el electrooculograma (EOG).

3.2.2 Estado del Arte

La tecnología BCI ha sido poco atractiva para la investigación científica pues la idea del descifrado exitoso de pensamientos o intenciones por medio de la actividad cerebral ha sido rechazada en el pasado debido a que, hasta el momento, había demostrado ser poco confiable. Por lo tanto la investigación en el campo de la actividad cerebral se encontraba limitada al análisis de desórdenes neurológicos clínicos o a la exploración de actividades cerebrales en los laboratorios.

La tecnología BCI fue considerada demasiado compleja, debido a la limitada resolución y confiabilidad de la información que era detectable en el cerebro y su alta variabilidad. Además, los sistemas BCI requieren procesamiento en tiempo real y no hace mucho tiempo atrás la tecnología necesaria no existía o era extremadamente cara.

Sin embargo, este contexto ha ido cambiando a lo largo de los últimos 20 años. Los estudios exitosos sobre la actividad cerebral han sumado importancia a los avances sobre esta tecnología. El desarrollo de hardware y software computacional más económico han permitido análisis más sofisticados. Además, las posibilidades de usar BCIs como tecnología asistencial para las personas discapacitadas han aumentado el apoyo social en el campo y con ello la necesidad de acelerar su progreso. El interés en esta tecnología se puede encontrar ahora incluso en el hogar. Pequeñas compañías especializadas como Emotiv o Neurosky han desarrollado algunas aplicaciones iniciales orientadas al público general. Sin embargo, muchas otras aplicaciones aún se encuentran limitadas a su uso dentro de los laboratorios o centros de estudio, conjugando la facilidad de uso de las nuevas tecnologías BCI con la complejidad y utilidad de las aplicaciones avanzadas, lo que se traduce en mejores tiempos de preparación, entrenamiento y calibración.

La investigación sobre BCI es un campo multidisciplinario relativamente joven que integra disciplinas como la psicología, ingeniería, electrónica, informática, fisiologías y otras disciplinas técnicas y de salud. Como resultado se pueden encontrar avances notables enfocadas principalmente hacia software o tecnologías asistivas (AT), sin embargo aún falta el desarrollo de un entorno de trabajo en común, lo que se traduce en una reducción de la velocidad de desarrollo debido a la inexistencia de un entorno estandarizado que los investigadores puedan utilizar (Mason, 2003).

3.2.3 Tipos de BCIs

Las interfaces cerebro-máquina pueden ser categorizadas como exógena o endógena, y síncrona o asíncrona.

Según la naturaleza de las señales utilizadas como input, los sistemas BCI pueden ser clasificados como exógenos o endógenos. Las BCIs exógenas utilizan la actividad neuronal detectada en el cerebro por un estímulo externo como los potenciales de evocado visuales y auditivos. Los sistemas endógenos no requieren de un entrenamiento extenso pues sus señales de control, pueden ser fácil y rápidamente configuradas. Además, las señales de control pueden ser obtenidas por medio de un sólo canal EEG y pueden lograr una alta tasa de transferencia de

información de hasta 60 bits por minuto. Por otro lado, los sistemas BCI endógenos están basados en la autoregulación de ritmos cerebrales y potenciales sin estímulo externo. A través de un entrenamiento cerebral, el usuario aprende a generar patrones cerebrales que pueden ser leídos y decodificados por el sistema BCI. La ventaja de un sistema BCI endógeno es que el usuario puede utilizar la interfaz libremente y mover, por ejemplo, un cursor a cualquier lugar en un espacio bidimensional, mientras que en uno exógeno el usuario se puede ver limitado a un set limitado de opciones externas entregadas. También, los BCIs endógenos son especialmente útiles para los usuarios con etapas avanzadas de ALS o cuyos órganos sensores se encuentran comprometidos (Nicolas-Alonso, 2012).

Otra forma de clasificar los dispositivos BCI es según la sincronía o asincronía de las señales de entrada. Los sistemas síncronos pueden analizar señales cerebrales durante un intervalo de tiempo predeterminado, ignorando cualquier señal fuera de dicho intervalo de tiempo. Así, el usuario está restringido a enviar comandos durante el tiempo permitido por la BCI. Los sistemas síncronos poseen una señal preconfigurada que puede ser, por ejemplo, la mirada en cierta dirección del usuario tras la cual se abre la ventana de tiempo para el envío de comandos a la interfaz. Esto tiene como ventaja que el usuario puede prepararse con tiempo para el envío de comandos, y así evitar la introducción de anomalías en las señales de control resultando en una disminución de efectos inesperados por parte del sistema. Por otro lado, los sistemas asíncronos poseen la capacidad de recibir e interpretar señales de entrada en todo momento. Esto tiene como ventaja una interacción más natural y fluida con el dispositivo BCI, sin embargo, requiere de un consumo más alto de poder de procesamiento (Nicolas-Alonso, 2012).

3.2.4 Métodos de Neuroimagen en BCIs

Las BCIs usan las señales cerebrales para reunir la información relacionada a la intención del individuo. Para esto, las BCIs dependen de lecturas y mediciones de la actividad cerebral y la subsecuente traducción de la información. Existen dos tipos de actividades cerebrales que pueden ser monitoreadas: la electrofisiológica y la hemodinámica.

La actividad electrofisiológica es generada por transmisores electroquímicos intercambiando información entre neuronas. Las neuronas generan corrientes iónicas que fluyen dentro y a lo largo de estructuras neuronales. La gran red de conexiones puede ser considerada como un dipolo conduciendo corriente desde un origen hacia un destino a través de las dendritas. La actividad electrofisiológica puede ser medida mediante electroencefalografía, electrocorticografía, magnetoencefalografía y la adquisición de señales eléctricas en neuronas independientes.

La respuesta hemodinámica es un proceso en el cual la sangre libera glucosa para activar neuronas a una tasa más rápida que en áreas de neuronas inactivas. La glucosa y el oxígeno del flujo sanguíneo dan como resultado un excedente en oxihemoglobina en las venas del área activa y en un cambio distinguible de la razón oxihemoglobina/deoxyhemoglobina. Estos cambios pueden ser cuantificados por métodos de neuroimagen como la resonancia magnética y espectroscopia infrarroja. Este tipo de métodos son categorizados como indirectos, pues miden

la respuesta hemodinámica, la cual, a diferencia de la actividad electrofisiológica, no está relacionada directamente con la actividad neuronal.

La mayoría de los sistemas BCIs obtienen la información de la actividad cerebral a través de la electroencefalografía. La electroencefalografía (EEG) es el método de neuroimagen más usado debido a su alta resolución, bajo costo, alta portabilidad y pocos riesgos para el usuario. Las BCIs basadas en EEG consisten de un set de sensores que adquieren señales electroencefalográficas de distintas áreas del cerebro. Sin embargo, la calidad de la señal se ve afectada por el cuero cabelludo, el cráneo y ruido eléctrico. El ruido eléctrico es importante en la EEG y otros métodos de neuroimagen ya que reduce la tasa señal-ruido y, por lo tanto, la habilidad de extraer información relevante de las señales captadas.

Técnicas no invasivas han sido utilizadas con éxito por pacientes con parálisis, tanto parcial como severa, para adquirir formas de comunicación básica y control de neuroprótesis y sillas de ruedas. Sin embargo, para lograr una señal con mayor resolución que pueda ser utilizada para la recuperación motora de los usuarios, se requieren métodos de neuroimagen invasivos como la electrocorticografía (ECoG) o la lectura neuronal intracortical. Parece poco probable para los métodos no invasivos que la resolución de las señales cerebrales sea mejorada en un futuro cercano.

Los métodos de neuroimagen invasivos necesitan el implante de uno o varios microelectrodos dentro del cráneo lo que conlleva grandes riesgos a la salud, dificultando su uso en ambientes experimentales. Dentro de la investigación BCI se pueden encontrar dos tipos de neuroimagen invasiva: la electrocorticografía, en la cual es necesario el implante de electrodos en la superficie de la corteza cerebral dentro o fuera de la duramadre, y la lectura neuronal intracortical, en donde se implantan electrodos dentro de la corteza cerebral. Aún se deben resolver problemas para que los implantes sean duraderos para aplicaciones de largo plazo, en especial la aceptación de los electrodos por parte del tejido, la interconexión del microelectrodo con el hardware externo por medio de tecnología inalámbrica para la reducción de los riesgos de infección inherentes a los tejidos expuestos y finalmente el probable daño causado por la frecuente conexión y desconexión del sistema sensor.

La Tabla 3.2 contiene una lista de los métodos de neuroimagen utilizados generalmente así como también algunas de sus características.

Método de Neuroimagen	Actividad medida	Tipo de medición	Riesgo	Portátil
EEG	Eléctrico	Directo	No invasivo	Si
MEG	Magnético	Directo	No invasivo	No
ECOG	Eléctrico	Directo	Invasivo	Si
LNI	Eléctrico	Directo	Invasivo	Si
FMRI	Metabólico	Indirecto	No invasivo	No
NIRS	Metabólico	Indirecto	No invasivo	Si

Tabla 3.2 - Métodos de neuroimagen conocidos

3.2.5 Señales de Control BCI

El propósito de una BCI, como se ha explicado anteriormente, es interpretar las intenciones del usuario mediante el monitoreo cerebral. Las señales cerebrales incluyen distintos fenómenos relacionados a tareas cognitivas. La mayoría de ellas aún son incomprensibles y sus orígenes son desconocidos. Sin embargo, el fenómeno fisiológico de algunas señales cerebrales han sido decodificadas de tal forma que la mayoría de las personas puedan aprender a controlarlas, de tal manera que permitan a los sistemas BCI modularlas e interpretar sus intenciones. Estas señales son descritas como posibles señales de control para BCIs.

Algunas de las señales cerebrales que pueden servir como señales de control en BCIs son: potencial evocado visual, potenciales corticales lentos, potencial evocado P300 y ritmo sensoriomotor.

3.2.5.1 Potencial de Evocado Visual (VEP)

Los potenciales evocados visuales resultan de los cambios producidos en la actividad bioeléctrica cerebral tras estimulación luminosa. El estímulo más frecuentemente utilizado para obtener VEP, es una imagen en de un tablero, con una serie de cuadros blancos y negros, que van alternándose (VEP-pattern). Consigue evocar potenciales grandes y reproducibles dependiendo de la frecuencia (Hz) a la cual alterna cada cuadro.

Una rama de clasificación de los VEP son los SSVEP o Potenciales de Evocado Visual de Estado Estable, las cuales son señales de respuesta natural a estimulación visual a frecuencias específicas. Cuando la retina es alterada por un estímulo visual de rangos entre 3.5Hz y 75Hz el cerebro genera actividad eléctrica cerebral a la misma velocidad de la frecuencia del estímulo.

3.2.5.2 Potenciales Corticales Lentos (SCP)

Los potenciales corticales lentos son cambios de potencial en la corteza cerebral que pueden durar desde 1-2Hz hasta varios segundos. Los SCPs no son localizados y pueden encontrarse sobre toda la corteza cerebral. Aparecen como una descarga asíncrona negativa o positiva. Las descargas negativas ocurren cuando el sujeto en estudio realiza tareas cognitivas o comportamentales, mientras que los potenciales positivos pueden ser medidos cuando se realizan tareas cognitivas o cuando existe una ausencia de ellas. El sujeto puede entrenarse para controlar estos cambios de potenciales y, en consecuencia, utilizar interfaces BCI.

3.2.5.3 Potencial de Evocado P300

Potencial de evocado P300 es un potencial generado por eventos provocado a causa del proceso de decisión. Es considerado un potencial endógeno ya que su ocurrencia no está vinculada a atributos físicos sino que a la reacción a ellos por parte del individuo. Se piensa que el P300 refleja los procesos involucrados en la evaluación o categorización de estímulos. Cuando se realiza una EEG, se detecta como un peak positivo en el voltaje con una latencia, o retraso entre estímulo y respuesta de alrededor de los 250 a los 500 milisegundos. Normalmente la señal es medida con mayor intensidad por los electrodos que cubren el lóbulo parietal.

3.2.5.4 Ritmos Sensoriomotores (SMR)

Los ritmos sensoriomotores son ritmos de ondas cerebrales que pueden ser medidos sobre la superficie de la corteza sensorimotora con una frecuencia general de entre los 13 a 15Hz. Se pueden observar cambios de amplitud en el ritmo sensorimotor típicamente cuando el sujeto de estudio realiza tareas motoras e incluso cuando imagina la realización de ellas.

3.3 Sistema Domótico

Un sistema domótico puede ser definido como un sistema de automatización para hogares, o más bien, para tareas en el hogar según la necesidad de sus habitantes. Estas tareas pueden ser tareas simples, como el apagado o encendido de luces de una habitación en la ausencia de un habitante, o tareas más complejas como el control de luminosidad y temperatura basado en el estado anímico del habitante.

La automatización del hogar se comprende principalmente de electrodomésticos y dispositivos electrónicos controlados por el sistema, como por ejemplo, dispositivos de audio y video, telecomunicaciones, seguridad, iluminación, Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC, por sus siglas en inglés), entre otros. En algunos casos, los sistemas se pueden acceder de manera remota mediante un teléfono o un computador, permitiendo a los residentes encender la calefacción del hogar mientras van en camino desde su trabajo. En la Ilustración 3.3 es posible observar las partes de un sistema de domótica clásica.



Ilustración 3.3 - Rango de operación de un sistema domótico clásico.

Para operar, un sistema de automatización del hogar requiere del correcto funcionamiento de 3 elementos principales: sensores, actuadores y software de control. Los sensores son los

dispositivos de entrada del sistema y están encargados de recolectar la información necesaria del entorno y entregarla al software de control. El software de control a su vez procesa esta información y toma decisiones sobre el qué hacer frente al escenario actual tras lo cual se decide si es necesario o no ejecutar alguna acción en el hogar. Los actuadores son los elementos que, dada una orden por parte del software de control, realizan la acción sobre el entorno. Para esto se requeriría de un sensor que detecte los niveles de luminosidad del ambiente y lo reporte periódicamente al software de control. El software, en base a parámetros preconfigurados y a la información recibida por parte de los sensores, sería el encargado de decidir si es necesario encender o apagar las luces del hogar con lo cual se envía el comando definido a los actuadores, los cuales, pudiendo ser un interruptor o dimmer, cambian al estado solicitado.

Los servicios que ofrece la domótica se pueden clasificar en 5 categorías:

- **Ahorro energético:** No es algo tangible, pero se puede hacer presente de muchas maneras. Consiste en una gestión eficiente de los equipos del sistema domótico. Algunos ejemplos de esta categoría son: la climatización; la gestión eléctrica; y el uso de energías renovables.
- **Confort:** Mediante todo aquello que produzca bienestar y comodidad. Esto se logra mediante el manejo del aire acondicionado; iluminación; facilidad de manejo de diversos equipos y sistemas y control vía internet.
- **Seguridad:** Red encargada de proteger tanto los bienes como la seguridad del usuario mediante el uso de distintos dispositivos como cámaras y sensores.
- **Comunicaciones:** Control de los sistemas o infraestructuras que posee la vivienda. Esto se logra permitiendo la ubicuidad del control de los elementos, tele-asistencia, tele-mantenimiento, informes de consumo y costos, transmisión de señales de alarmas, entre otros.
- **Accesibilidad:** Se incluyen todas aquellas aplicaciones, elementos, herramientas y sistemas que favorezcan la autonomía de personas con necesidades especiales. La domótica como tecnología asistiva es un reto ético y creativo.

3.3.1 Arquitecturas de un sistema domótico

La arquitectura de un sistema domótico puede ser clasificada como un centralizada, descentralizada o distribuida según donde resida la inteligencia del sistema.

Un sistema centralizado es controlado por un software domótico principal en un equipo físico único, normalmente un computador, desde donde se gestionan todos los cambios y variaciones necesarios en el hogar. Por otro lado, un sistema descentralizado distribuye el software de control a través de los dispositivos de la red, pudiendo cada uno actuar por sí sólo en base a la información producida por los sensores. Existe también una arquitectura distribuida, o mixta que combina características de un sistema centralizado y descentralizado. Esta arquitectura divide el sistema domótico en subsistemas de control que puede o no comunicarse entre sí.

4 Desarrollo e Integración

El desarrollo general de la solución propuesta en este proyecto se divide a continuación en sus dos componentes más importantes, el dispositivo BCI y el sistema domótico, para luego describir la forma en la cual ambos desarrollos son integrados en un solo sistema y posteriormente puestos a prueba.

4.1 Desarrollo del Dispositivo BCI

4.1.1 Preparación

El dispositivo BCI EPOC requiere de una preparación no menor previo uso. Esta preparación consiste en dos partes:

- **Preparación de sensores:** Los sensores que hacen contacto con el cuero cabelludo se encuentran por defecto separados del dispositivo o casco BCI y deben ser puestos en el mismo para su correcto uso. Estos sensores son en total 16 y deben ser humedecidos con una solución salina que sirve como transporte entre la piel y el sensor en sí. La Ilustración 4-1 muestra el proceso que se debe realizar con todos los sensores antes de insertar en el equipo.



Ilustración 4-1 - Proceso de preparación de sensores

- **Posicionamiento de dispositivo:** Una parte que resultó ser crítica durante el proceso de preparación es la ubicación del dispositivo sobre la cabeza del usuario ya que de no hacerlo de la forma correcta las lecturas obtenidas serán en consecuencia erróneas. La posición de los sensores de forma tal que haga contacto con la piel del usuario debe ser realizada de forma meticulosa asegurando que haya la menor cantidad de elementos interpuestos en el camino, como lo puede ser cabello o caspa. La ubicación es otro factor clave para obtener una lectura de buena calidad, pues, como se detalló anteriormente en la sección 3.1, el cerebro tiene zonas específicas reconocidas por entregar señales asociadas al comportamiento humano. La Ilustración 4-2 representa una guía entregada por el sitio de Emotiv para la ubicación de su dispositivo BCI EPOC.

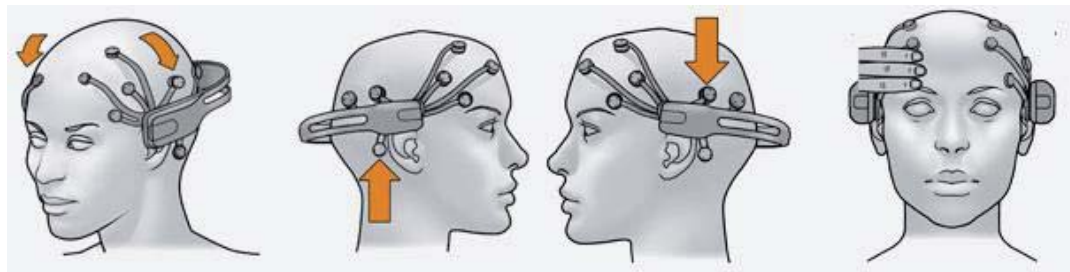


Ilustración 4-2 - Ubicación recomendada para EPOC por Emotiv

4.1.2 Software Asociado

Emotiv entrega junto a la compra de su headset EPOC un conjunto de aplicaciones gratuitas: EPOC Control Panel, SDKLite y Emokey.

La aplicación más importante dentro de este grupo es sin duda el EPOC Control Panel pues ofrece una amplia gama de funciones. La Ilustración 4-3 - Pantalla de inicio del Panel de Control EPOC muestra la pantalla de inicio del programa.

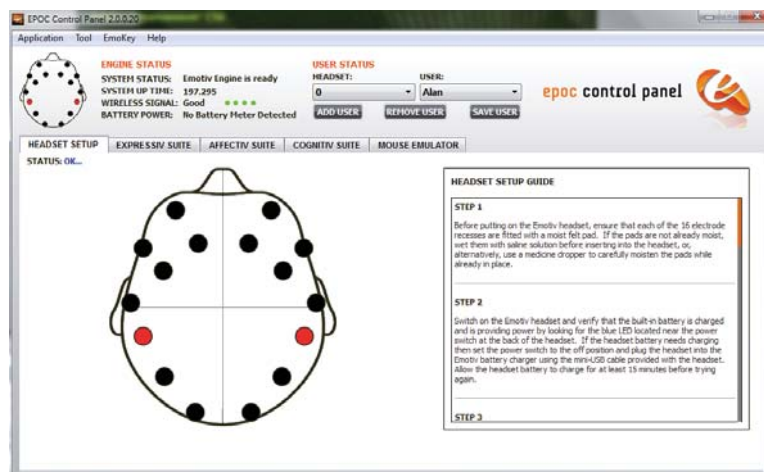


Ilustración 4-3 - Pantalla de inicio del Panel de Control EPOC

El EPOC Control Panel se compone de un conjunto de herramientas enfocadas al uso del dispositivo EPOC y su interacción con otros elementos del sistema operativo. Las herramientas disponibles son:

Headset Setup: Permite la visualización del estado de cada uno de los sensores así como la calidad de señal recibida por ellos.

Expressiv Suite: Permite la visualización de movimientos faciales detectados como el parpadeo, dirección de la mirada, posición de las cejas, sonrisas y presión mandibular. Además permite la configuración de teclas y acciones de mouse frente a distintos comportamientos cerebrales.

Affectiv Suite: Entrega por medio de gráficos los niveles de cada uno de los estados mentales detectados por el dispositivo. Estos estados mentales son: excitación/calma; concentración/desinterés y meditación. Se observa un problema importante para el uso de esta herramienta en particular, y es que todos los sensores deben estar reportando un estado excelente, condición a la cual no siempre ha sido posible llegar en el conjunto de personas sometidas a pruebas.

Cognitiv Suite: Permite entrenar el sistema para asociar ciertos estados mentales ejecutados por el usuario con acciones específicas y visualizar su resultado. Además, al igual que con el Expressiv Suite, permite la configuración de teclas y acciones de mouse a cada estado mental entrenado.

Mouse Emulator: El dispositivo EPOC viene provisto de tres giroscopios de alta precisión que pueden ser utilizados, mediante esta herramienta, para simular el movimiento del mouse por medio del movimiento de la cabeza.

Nótese que en conjunto, las herramientas entregadas permiten el uso básico de un computador tras un período de entrenamiento del usuario, prescindiendo en su totalidad de la necesidad de utilizar otros dispositivos de entrada como mouse o teclado.

4.1.3 OpenViBE

OpenViBE, por su parte, es una plataforma de software dedicada al diseño, pruebas y uso de interfaces cerebro-máquina. Esto permite crear y ejecutar aplicaciones personalizadas. La plataforma en sí está pensada para su uso en la neurociencia de tiempo real en general y aunque no ha sido diseñado específicamente para el BCI en uso en este proyecto, sí lo soporta, permitiendo la adquisición de sus datos, filtrado, procesado, clasificado y visualización de las señales cerebrales en tiempo real.

Su funcionamiento permite la configuración de ejecución de tareas complejas en el ambiente del sistema operativo, como lo son la ejecución de otras aplicaciones y/o controles básicos, frente a comportamientos cerebrales previamente entrenados en la misma aplicación.

La Ilustración 4-4 muestra el diseñador de flujos de trabajo de OpenViBE, desde esta pantalla es posible arrastrar al lienzo de diseño los elementos o pasos que componen un flujo de trabajo desde su inicio con un input hasta la obtención del output deseado, para dicho input o sus derivaciones.

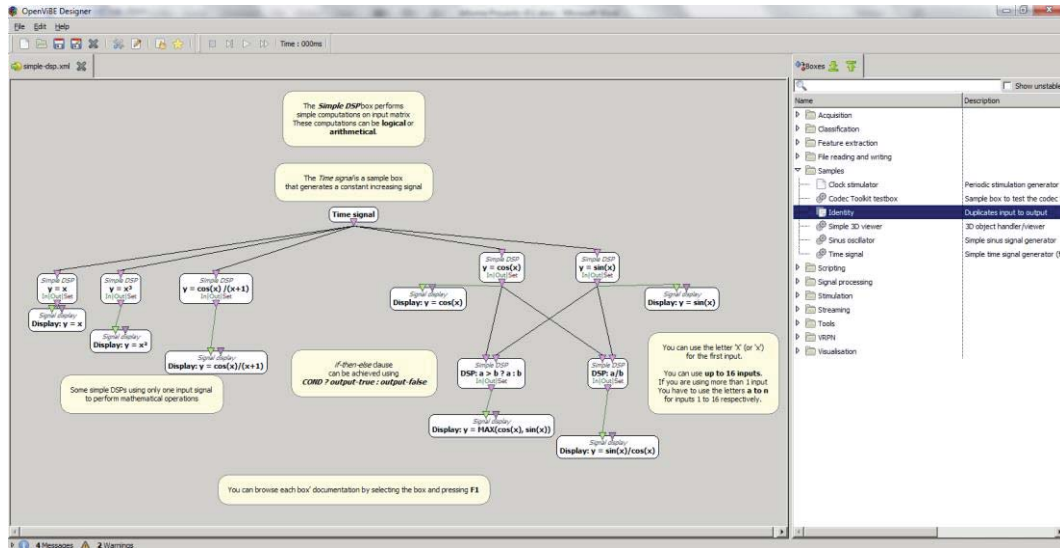


Ilustración 4-4 - Diseñador de flujos OpenViBE

4.2 Desarrollo del Sistema Domótico

4.2.1 Datos Generales

- ✓ **Nombre software:** Home-N.
- ✓ **Clasificación:** Sistema domótico centralizado.

4.2.2 Descripción General

Como se describió en la sección 3.3, el sistema domótico desarrollado consta de 3 partes: un software de control, sensores y actuadores.

Como simplificación en el desarrollo del sistema considerado desde un inicio en este proyecto, no se encuentran previstos otros sensores más que el dispositivo BCI EPOC, por lo cual sólo se describen a continuación el software de control y el prototipo de actuador.

4.2.3 Desarrollo de Software de Control

En primera instancia se desarrolló un prototipo de software de control bajo un modelo de desarrollo ágil, debido a la gran posibilidad de cambios y adaptaciones que pudiesen ser llevados a cabo en las etapas siguientes, en especial tras la realización de pruebas exhaustivas.

Desde un comienzo se consideró la construcción del software como una plataforma web, debido a la amplia aceptación que ha ido teniendo este grupo de aplicaciones, así como también la posibilidad de hacer disponible el control del hogar desde cualquier lugar del mundo mediante una conexión a internet.

El backend del software fue desarrollado utilizando el framework CodeIgniter, pensado en la programación bajo el modelo MVC en PHP. Este framework es conocido por ayudar a agilizar la programación de plataformas web sólidas y mantenibles a lo largo del tiempo. La Ilustración 4-5 muestra el frontend del prototipo de sistema de control desarrollado.

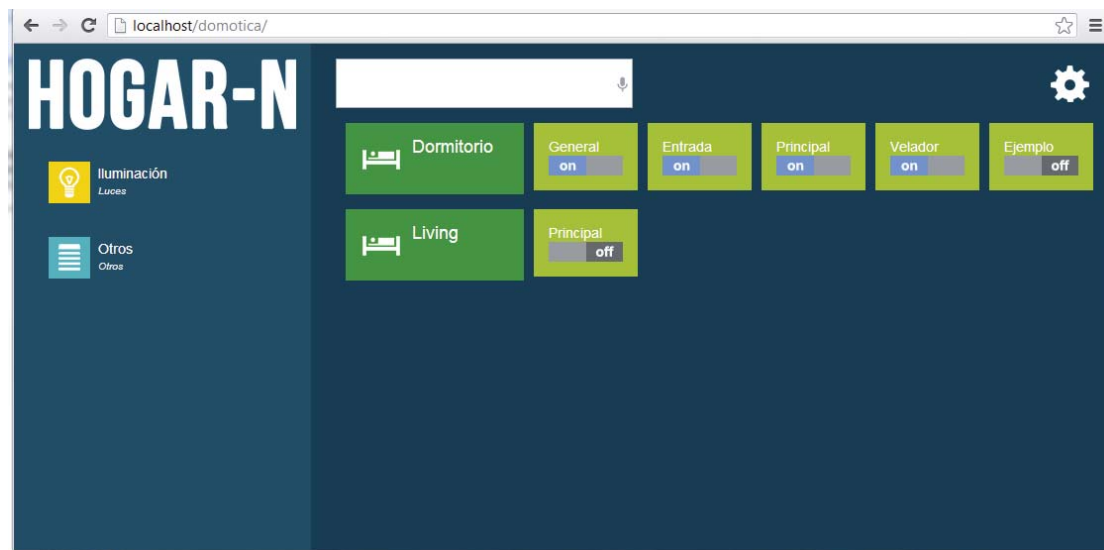


Ilustración 4-5 - Frontend de prototipo de software de control

El frontend o vistas, por su parte, fue desarrollado de forma dinámica mediante el uso del conjunto de tecnologías que conforman Ajax para facilitar la utilización intuitiva del software. Además, se acompañan estas vistas con un diseño estético derivado del estilo Metro de Windows. En la Ilustración 4-6 se reúnen las tecnologías utilizadas en el desarrollo del software de control.



Ilustración 4-6 - Tecnologías utilizadas en el software de control

El software de control, dentro de sus funcionalidades envía periódicamente, mediante broadcast a la red, mensajes de reconocimiento o challenges intentando descubrir a cualquier nuevo relé configurado para su función dentro del sistema domótico y así incorporarlo a la red.

4.2.4 Desarrollo de Actuadores

El prototipo de actuador desarrollado se conforma de 3 partes principales: una placa microcontroladora, un relé y un módulo wi-fi. La Ilustración 4-7 muestra los componentes electrónicos utilizados para formar el actuador.

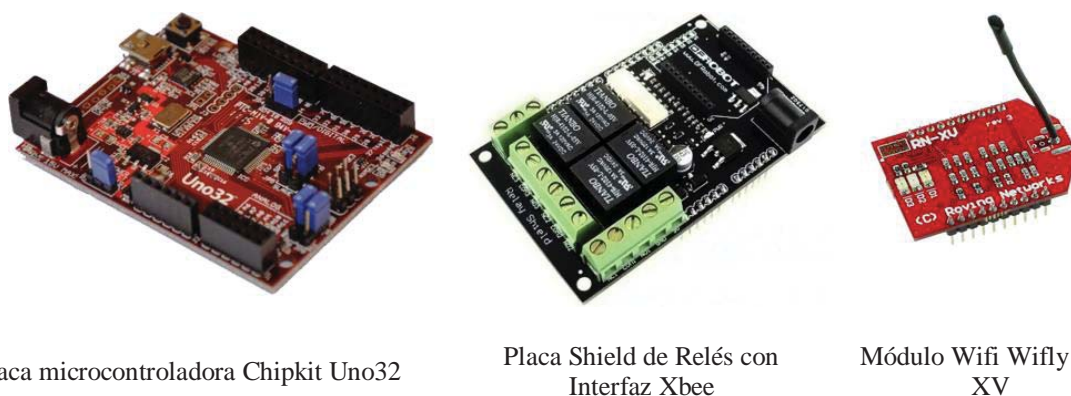


Ilustración 4-7 - Electrónica integrante del actuador

La placa microcontroladora es un dispositivo dedicado a facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. Ofrece un microcontrolador y un entorno de desarrollo en el cual se pueden programar instrucciones, generalmente en C y C++, que tienen como resultado la activación o desactivación de salidas eléctricas tanto análogas como digitales por medio de puertos de entrada/salida conocidos como pines. Estos pines pueden ser conectados a diversos elementos electrónicos, como servomotores, relés y leds.

Existen diversos fabricantes y modelos de placas microcontroladoras, de entre los cuales se escogió una placa Chipkit32 de Chipkit, debido a su amplio set de puertos, su excelente poder de procesamiento y reducido valor económico frente a otras placas con funciones similares como el conocido Arduino.

Esta placa fue conectada a un shield de 4 relés, el cual es un dispositivo electrónico especializado en la apertura/cerradura de circuitos de alto voltaje. Cabe destacar que en general las placas microcontroladoras funcionan en rangos de voltajes reducidos de entre 5v a 12v en comparación a la fuente de uso común en Chile que trabaja en el orden de los 220v.

Un shield relé funciona de manera similar a un switch de encendido apagado convencional. La diferencia radica en que la activación de dicho switch depende de un pulso eléctrico y no de un movimiento físico. Este pulso eléctrico puede y es provisto, en este caso,

desde la placa microcontroladora Chipkit32, cerrando así de forma voluntaria el circuito eléctrico para la alimentación de un electrodoméstico.

Resta describir la integración en el actuador de la tecnología de comunicación wi-fi. El canal de comunicación para los actuadores está provisto por módulos WiFly RN-XV de Rover Networks. Este módulo Wi-Fi puede ser configurado para conectarse a un punto de red central o también puede crear su propia red Ad-Hoc a la cual cualquier dispositivo puede conectarse. Debido al supuesto de que habrá más de un actuador en el sistema domótico central se recomienda configurar el módulo inalámbrico para su conexión directa a un enrutador de red.

La Ilustración 4-8 muestra un actuador con 4 relés listos para la operación de hasta 4 dispositivos electrónicos distintos.

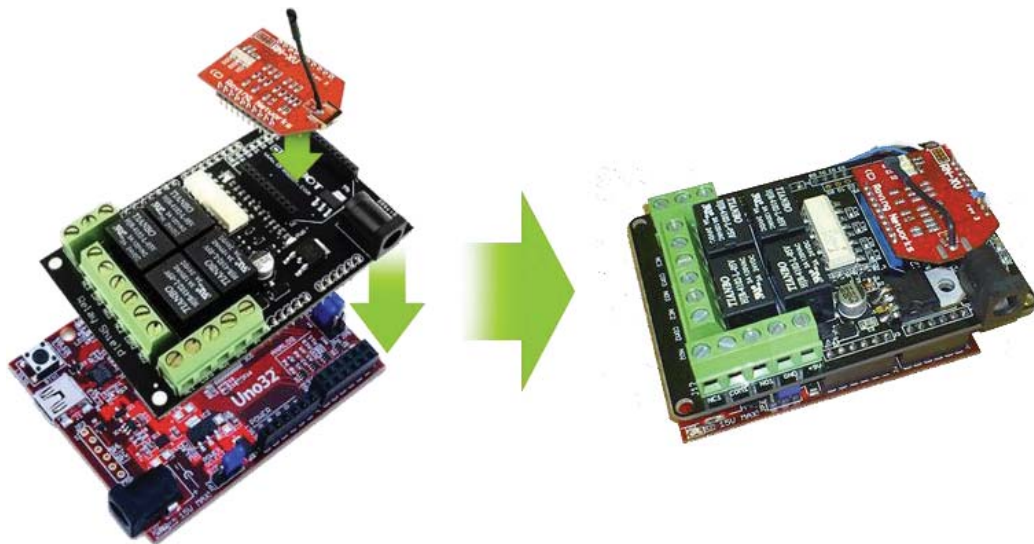


Ilustración 4-8 - Actuador compuesto: Chipkit32, Shield de 4 Relés y WiFly RN-XV

El actuador diseñado se alimenta directamente desde la red eléctrica principal y el elemento a accionar para este caso de estudio es una ampolleta tradicional, por lo que se consideró la utilización de la energía existente desde el socket.

Sin embargo, dado que la ampolleta tradicional utiliza una fuente de poder de 220v y el actuador necesita otra de 7 a 12v, como se mencionó anteriormente, se hizo necesario realizar una bifurcación eléctrica a partir de la energía obtenida desde el socket. Una línea sería regulada mediante un transformador para lograr el voltaje requerido para el actuador, mientras que la otra línea sería utilizada para el encendido de la ampolleta.

La Ilustración 4-9 muestra como el actuador se encuentra incorporado como una capa intermedia entre el socket original y un segundo socket al cual estaría conectada la ampolleta.

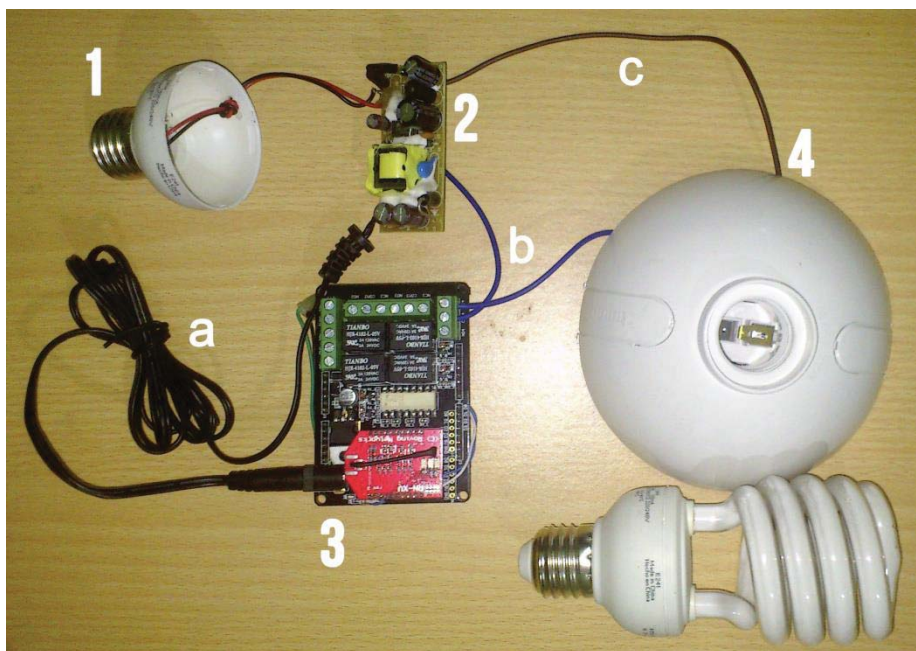


Ilustración 4-9 - Actuador integrado como capa intermedia

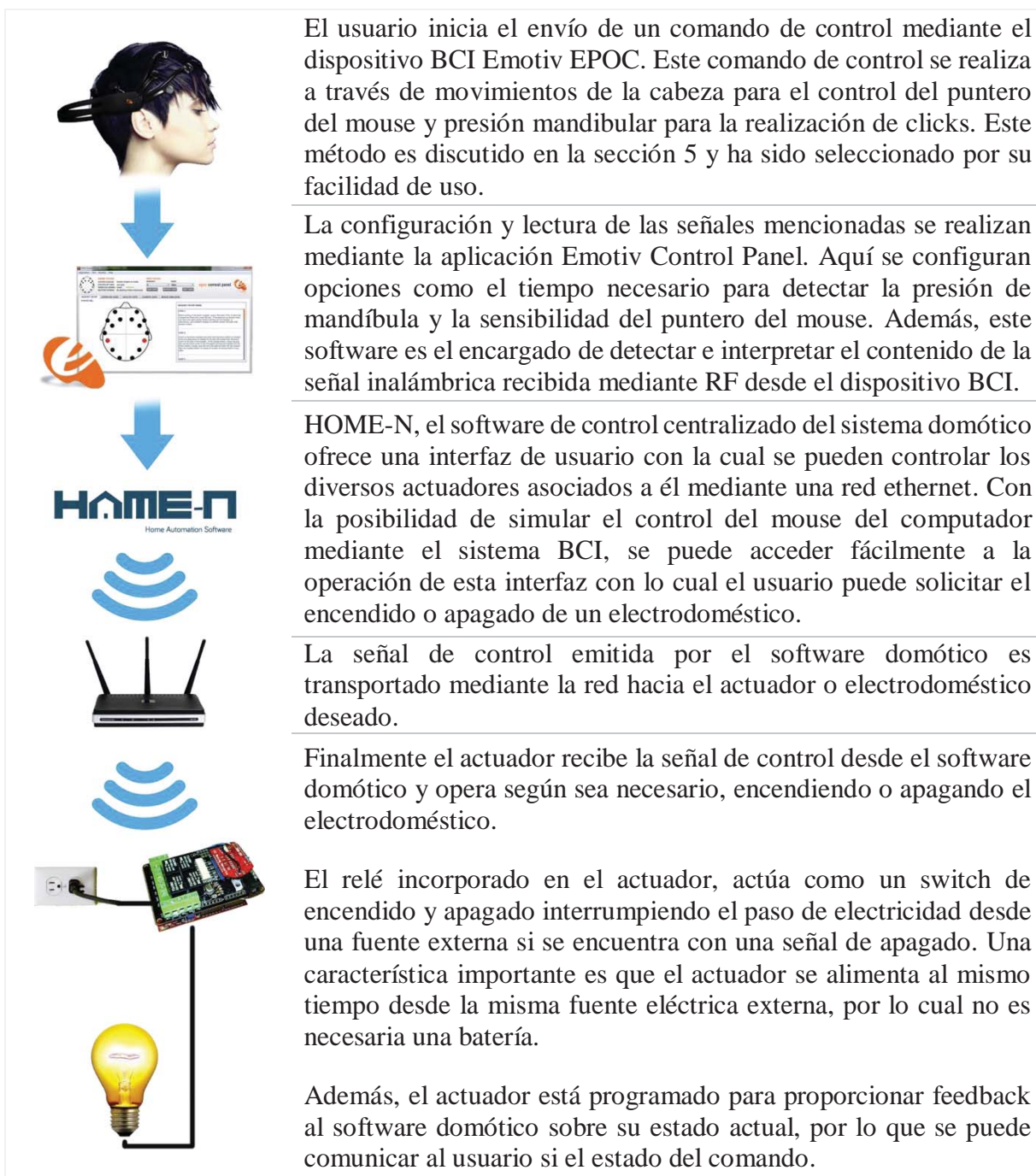
La Tabla 4-1 explica con más detalle los puntos visibles en esta ilustración.

Punto	Descripción
1	Rosca original que iría insertada en cualquier soquete del entorno y que permitiría la obtención de energía eléctrica desde la red eléctrica. El interruptor original, si es que hubiese, que controla el paso de electricidad debiese quedar siempre encendido.
2	Transformador 220v a 12v. Necesario para alimentar al controlador. Aquí también se realiza la bifurcación de energía. Puede observarse como salen desde aquí los cables <i>a</i> (12v), <i>b</i> y <i>c</i> (220v).
3	Actuador compuesto por el módulo inalámbrico que se comunica con el software domótico, el shield relé que actuará como switch apertura o cerrado de circuito con el cable <i>b</i> y la placa microcontroladora, la cual almacena el estado actual y realiza las operaciones lógicas.
4	Soquete que reemplazará al soquete original. Mediante esta arquitectura, la integración del actuador al ambiente es realizado de forma transparente para el usuario, ya que él sólo debe conectar cualquier ampolleta a este nuevo soquete.
A	El cable <i>a</i> obtiene electricidad a 12v desde el transformador en el punto 2.
B	El cable <i>b</i> es el cable positivo del circuito de 220v que alimenta la ampolleta. Nótese que el cable <i>b</i> se encuentra cortado, generando un circuito abierto (que no conduce electricidad). Los terminales generados con este corte son conectados al shield relé, el cual podrá cerrar el circuito permitiendo así el flujo de electricidad hacia la ampolleta.
C	El cable <i>c</i> es el cable negativo del circuito de 220v que alimenta la ampolleta.

Tabla 4-1 - Descripción de actuador integrado como capa intermedia

4.3 Integración de Soluciones

La integración de las tecnologías desarrolladas consiste en lograr que todas las partes funcionen en conjunto. La Tabla 4-2 muestra de forma resumida el desarrollo del caso de uso principal del sistema, en donde un usuario requiere encender y/o apagar un electrodoméstico.



El usuario inicia el envío de un comando de control mediante el dispositivo BCI Emotiv EPOC. Este comando de control se realiza a través de movimientos de la cabeza para el control del puntero del mouse y presión mandibular para la realización de clicks. Este método es discutido en la sección 5 y ha sido seleccionado por su facilidad de uso.

La configuración y lectura de las señales mencionadas se realizan mediante la aplicación Emotiv Control Panel. Aquí se configuran opciones como el tiempo necesario para detectar la presión de mandíbula y la sensibilidad del puntero del mouse. Además, este software es el encargado de detectar e interpretar el contenido de la señal inalámbrica recibida mediante RF desde el dispositivo BCI.

HOME-N, el software de control centralizado del sistema domótico ofrece una interfaz de usuario con la cual se pueden controlar los diversos actuadores asociados a él mediante una red ethernet. Con la posibilidad de simular el control del mouse del computador mediante el sistema BCI, se puede acceder fácilmente a la operación de esta interfaz con lo cual el usuario puede solicitar el encendido o apagado de un electrodoméstico.

La señal de control emitida por el software domótico es transportado mediante la red hacia el actuador o electrodoméstico deseado.

Finalmente el actuador recibe la señal de control desde el software domótico y opera según sea necesario, encendiendo o apagando el electrodoméstico.

El relé incorporado en el actuador, actúa como un switch de encendido y apagado interrumpiendo el paso de electricidad desde una fuente externa si se encuentra con una señal de apagado. Una característica importante es que el actuador se alimenta al mismo tiempo desde la misma fuente eléctrica externa, por lo cual no es necesaria una batería.

Además, el actuador está programado para proporcionar feedback al software domótico sobre su estado actual, por lo que se puede comunicar al usuario si el estado del comando.

Tabla 4-2 - Flujo de funcionamiento del sistema integrado

4.4 Pruebas Preliminares

En esta sección se detallan las pruebas realizadas, así como también el estudio y aplicación de mejoras en base a lo anterior.

4.4.1 Pruebas P300

4.4.1.1 Desarrollo de Entorno de Pruebas

Como fue descrito durante la fase de investigación de este proyecto, se indagó en el paradigma o señal de control P300 para su utilización en el sistema actual. Para ello se desarrolló un entorno de prueba en OpenViBE para experimentar con su comportamiento en el dispositivo EPOC y así obtener conclusiones y expectativas sobre su utilización en el software doméstico.

La Ilustración 4-10 muestra la ejecución de la aplicación P300 Speller en OpenViBE. Ésta es una aplicación estándar en la detección del potencial de evocado P300 y consiste en el resaltado intermitente de filas o columnas en una matriz de decisión que contiene elementos, en este caso caracteres, que el usuario desea seleccionar. A partir del momento en que se ilumina la letra requerida por el usuario, el dispositivo BCI detecta con un desfase de 250ms a 500ms un peak de corriente en el sector del lóbulo parietal (Polich, 2007). Este proceso es repetido hasta que se logra, por medio de un proceso de votación y promediado, 4 detecciones positivas sobre una letra.

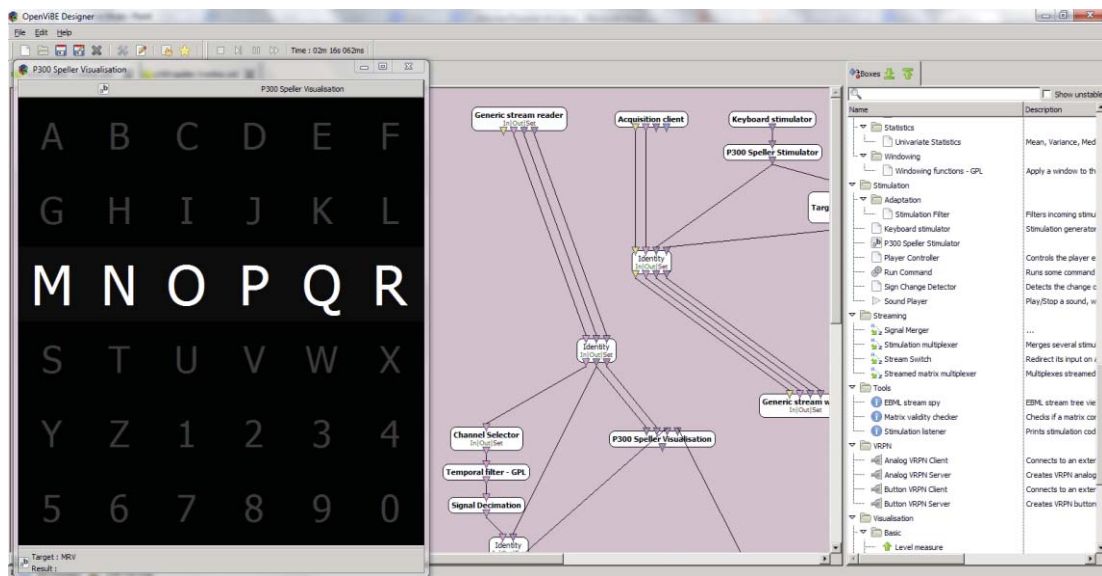


Ilustración 4-10 - Visualización de aplicación P300 para deletreo de palabras

4.4.1.2 Pruebas P300

Con el escenario anterior se prepararon y realizaron 3 sesiones de pruebas con individuos distintos en donde fueron instruidos a deletrear la palabra Emotiv. La Tabla 4-3 es el resultado de las pruebas realizadas.

	Prueba N°			Promedio
	1	2	3	
Palabra	Interfaz	Interfaz	Interfaz	N/A
Tiempo mínimo de detección de carácter	26 segundos	25 segundos	26 segundos	26 segundos
Tiempo máximo de detección de carácter	38 segundos	41 segundos	36 segundos	38 segundos
Tiempo promedio por letra sin considerar error	32 segundos	35 segundos	28 segundos	32 segundos
Número de errores	2 (25%)	1 (12.5%)	1 (12.5%)	1.3 (16.25%)
Tiempo total de ejecución considerando error	5:19 minutos	5:15 minutos	4:12 minutos	4:55 minutos

Tabla 4-3 - Resultado de pruebas con EPOC en aplicación P300

De los resultados de las pruebas realizadas se puede inferir que el Emotiv EPOC es capaz de detectar efectivamente las señales emitidas por el potencial de evocado P300, sin embargo se observa un alto tiempo de retraso para la detección de un sólo carácter con un error no menor asociado.

De cara a su uso en un sistema domótico la espera promedio de 32 segundos para la activación de algún elemento del hogar puede llegar a ser tedioso si se hace necesario realizarlo de forma reiterada, además se debe considerar la posibilidad de activar dispositivos electrónicos de forma indeseada lo que podría llegar a representar un riesgo para el usuario o su entorno.

La descripción de los participantes de estas pruebas y comentarios adicionales se encuentra especificados en el Anexo A.

4.4.2 Pruebas Basadas en Expressiv Suite

En un intento por lograr una mejora en los resultados obtenidos anteriormente, y con parte del software de control domótico ya desarrollado, se optó por la prueba de otra metodología que incluyó la integración del Panel de Control EPOC y más específicamente sus herramientas Expressiv Suite y Mouse Emulator.

La prueba consistió en asociar el botón de click izquierdo del mouse a una expresión facial fácilmente reconocible por el dispositivo BCI. Se seleccionó el gesto de presionar la mandíbula por un período de al menos 10ms como click del mouse. La Ilustración 4-11 muestra la configuración utilizada en Expressiv Suite.

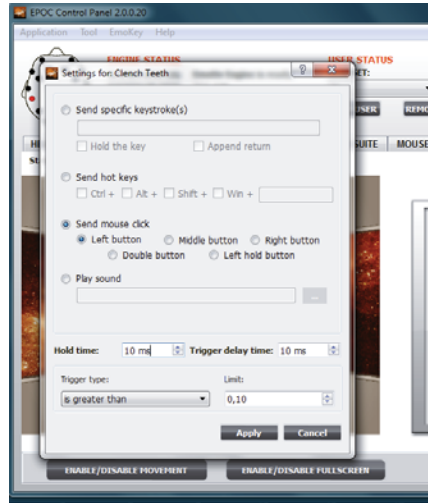


Ilustración 4-11 - Configuración utilizada en Expressive Suite

Una vez realizada la configuración anterior, se cedió el control del cursor a los giroscopios del BCI EPOC desde la herramienta Mouse Emulator y se instruyó a los usuarios sobre el funcionamiento a probar para luego solicitarles la activación de un elemento del sistema domótico desarrollado. La Tabla 4-4 describe los resultados de este ejercicio.

Es importante denotar que para estas pruebas se utilizó un grupo ligeramente distinto al anterior. De forma análoga la descripción de este grupo y comentarios adicionales pueden ser encontrados en el Anexo A-2.

	Prueba N°				Promedio
	1	2	3	4	
Elemento seleccionado	Dormitorio > Principal	Dormitorio > Entrada	Dormitorio > Principal	Dormitorio > Velador	N/A
Tiempo de activación	12 segundos	7 segundos	8 segundos	15 segundos	11 segundos
Número de intentos fallidos	4	2	2	5	3.25

Tabla 4-4 - Resultados de pruebas mediante Expressiv y Mouse Emulator

Nótese que en este ejercicio se consideran números de intentos fallidos en la activación de un elemento y no errores. Esto se debe a que los intentos fueron definidos como el número de expresiones faciales (presiones mandibulares) requeridos para activar el elemento seleccionado, lo que en ningún caso resultó en la activación errónea de otros elementos del sistema. Estos intentos fallidos se debieron, en general, a una falla en la detección de la expresión por parte del dispositivo EPOC. También se registraron en tres ocasiones un descontrol involuntario del cursor al realizar un movimiento de cabeza derivada de la acción de presionar la mandíbula.

Aun considerando los números fallidos de intento, el tiempo de activación promedio de un elemento resultó ser de 11 segundos, marca inferior en un 66% a los 32 segundos registrados en las pruebas con P300.

5 Mejoras y Pruebas Finales

De las pruebas realizadas en los puntos anteriores se puede observar que el segundo ejercicio obtuvo una aceptación mayor entre los usuarios que en el primer ejercicio. La manera intuitiva de controlar el cursor del computador mediante movimientos de la cabeza y la posibilidad de realizar clicks con un gesto facial aumenta las posibilidades de control y de cierta forma también la calidad de la interacción entre el usuario y el computador mediante BCIs.

No obstante lo anterior, se propuso mejorar la experiencia del usuario final mediante el estudio de señales de control BCI analizadas mediante el dispositivo Emotiv EPOC u otras soluciones que pudiesen reducir el tiempo de respuesta del sistema domótico. Para ello se estudiaron dos de las tres otras señales de control principales restantes: el potencial de evocado visual o potencial de evocado visual de estado estable (SSVEP por sus siglas en inglés) y los ritmos sensorimotores.

El motivo que se descarta el uso de los potenciales corticales lentos, es precisamente por su velocidad de respuesta, dado que ellos consisten en respuestas biológicas que pueden tardar muchos segundos en ser detectadas con una alta variabilidad de precisión entre diferentes personas (Hinterberger, 2004).

5.1 Alternativas Estudiadas

5.1.1 Estudio Basado en SSVEP

Un estimulador visual corresponde a cualquier emisor de luz utilizado para gatillar una respuesta SSVEP en el cerebro de un sujeto. Estos estimuladores visuales, para efectos prácticos, se traducen en secciones de una pantalla que parpadean a determinada frecuencia de forma que genera un cambio detectable en el cerebro del sujeto, el cual comienza a generar potenciales positivos con la misma frecuencia que la frecuencia de control observada (Nicolas-Alonso, 2012).

Con lo anterior, considérese la Ilustración 5-1 en donde se pueden observar 6 estimuladores visuales distribuidos horizontalmente. Cada uno de ellos parpadea a una frecuencia distinta en una pantalla la cual es expuesta al usuario. Mediante el dispositivo Emotiv EPOC es posible captar los cambios de potencia generados en la corteza visual del cerebro la cual coincidiría con el estimulador visual observado por el usuario. Una vez detectada la frecuencia, y por ende el estimulador visual seleccionado, es posible generar una respuesta programáticamente lo cual es suficiente para el estudio en cuestión.



Ilustración 5-1 - Distribución de 6 estimuladores visuales

Según Liu Y., 2012, se realizaron pruebas con 4 sujetos utilizando el dispositivo BCI Emotiv EPOC, el software de investigación BCI2000 para adquisición de datos y monitoreo, y Matlab para el limpieza y procesado de los datos obtenidos.

Los resultados para la detección de selección de un objetivo se muestran en la Tabla 5-1.

	Prueba N°				Promedio
	1	2	3	4	
Precisión Promedio (%)	100 ± 0	94.44 ± 7.84	100 ± 0	88.89 ± 6.54	95.83 ± 3.59
Tiempo de detección promedio (Seg)	4.78 ± 2.62	5.56 ± 1.86	5.27 ± 2.42	5.38 ± 1.68	5.25 ± 2.14

Tabla 5-1 - Resultado de pruebas mediante SSVEP

Nótese que esta señal de control se encuentra limitada a la cantidad de frecuencias posibles de mostrar y sincronizar en una pantalla tradicional de 60hz. La tasa de refresco debiese ser múltiplo de las frecuencias de estímulo. Por ejemplo, para el monitor de 60hz, normalmente se utilizan las frecuencias 6.67 Hz, 7.5 Hz, 8.57 Hz, 10 Hz, 12 Hz, 15 Hz y 20 Hz (Liu Y., 2012). Además, se encuentran los problemas inherentes a la desincronización de la tasa de refresco por parte de los monitores, lo que se traduciría en una lectura errónea al momento de interpretar los datos.

Dado el límite descrito anteriormente, no es posible mapear las frecuencias de control en una relación 1 es a 1 con los elementos del sistema domótico, pues a medida que el número de dispositivos electrónicos en el sistema, debiese crecer también la tasa de refresco del monitor para permitir más frecuencias de control.

Una solución práctica para esta situación sería la navegación en capas del sistema domótico, es decir, separar la selección de un elemento electrónico en la forma *Tipo Elemento / Habitación / Elemento*. Por ejemplo, en la Ilustración 5-2, para seleccionar la luz Principal del Dormitorio de forma directa se necesitarían 13 señales de control, una por cada elemento disponible. Sin embargo, bajo una navegación por capas, se requeriría de un máximo de 5 señales de control a través de la selección de (1) Tipo de elemento, (2) Habitación, (3) Elemento de la habitación.



Ilustración 5-2 - Navegación en capas del sistema domótico

Para contrastar los resultados aquí obtenidos contra la alternativa que utiliza la Suite Expressiv, se hace necesario entonces triplicar los tiempos mostrados en la Tabla 5-1, dado que se requiere la repetición de 3 procesos de selección, una vez para cada capa de navegación.

Incluso sin considerar el aumento en la tasa de errores al realizar el proceso de selección 3 veces, el tiempo promedio de selección de un elemento del sistema domótico sería de 15.75 segundos, marca superior en un 43% a los 11 segundos registrados en las pruebas mediante la Suite Expressiv de Emotiv.

5.1.2 Estudio Basado en Ritmos Sensorimotores

Como se ha mencionado anteriormente, los ritmos sensorimotores corresponden a alteraciones de la frecuencia de las ondas cerebrales en estado de reposo cuando se realiza, o se imagina, una acción motora como, por ejemplo, mover la mano derecha.

Una de las grandes limitaciones de esta señal de control es que posee una alta tasa de error y necesita de entrenamiento constante de los usuarios para asegurar que la señal de control generada es la requerida (Neuper C., 2006).

Un usuario, a modo de ejemplo, podría necesitar meses de entrenamiento para lograr una buena tasa de acierto, la cual varía significativamente entre 70%-85% con un tiempo de detección de 60 segundos (Neuper C., 2006).

Mediante pruebas empíricas con el dispositivo Emotiv EPOC y su herramienta Cognitiv Suite, fue posible determinar los tiempos promedios de detección dependientes del número de acciones a utilizar. A medida que se incrementan las acciones deseadas, aumenta el porcentaje de error asociado a una tarea, ya que existe una alta ocurrencia de falsos positivos y/o selección de acciones equivocadas. De hecho, la misma Suite Cognitiv indica el nivel de dificultad asociada a medida que se incrementa el número de acciones dividiendo las dificultades en Easy, Medium, Hard y Extreme, siendo Start la acción de estado neutro del usuario donde se debe entrenar el estado de reposo frente al cual se contrastarán todas las otras acciones. Esto puede

ser observado en la Ilustración 5-3 donde se puede asumir a priori que el número de acciones pudiesen ser muy limitadas, algo congruente con las observaciones de Neuper C., 2006 y Wolpaw J., 2002.



Ilustración 5-3 - Interfaz de la Suite Cognitiv del panel de control EPOC

Para las pruebas se utilizó la ayuda de dos sujetos de prueba, quienes fueron instruidos en imaginar el movimiento de sus extremidades para asociarlo como actividad de control en la Suite. Dicho proceso se repitió 5 veces por sujeto y por acción con lo cual se obtuvo los datos presentados en la Tabla 5-2.

	Prueba N°					
	1		2		Promedio	
	Tiempo de detección promedio	Precisión promedio	Tiempo de detección promedio	Precisión promedio	Tiempo de detección	Precisión
Acción Mano Derecha	3.4 seg.	80%	4.7 seg.	60%	4.05 seg.	70%
Acción Mano Izquierda	9.1 seg.	66.6%	10.9 seg.	53.3%	14.55 seg.	59.95%
Acción Pie Derecho	-	-	-	-	-	-
Acción Pie Izquierdo	-	-	-	-	-	-

Tabla 5-2 - Resultados de pruebas de ritmos sensorimotrices

Nótese que ninguno de los dos participantes logró un desempeño aceptable para las acciones asignadas a los pies, esto se traduce en que mientras que un sujeto pudo lograr alguna detección de la acción correcta de forma muy particular, el otro sujeto no pudo lograr detección

alguna. Para descartar que el problema pudiese ser la acción física imaginada seleccionada, se solicitó a ambos usuarios probar con la imaginación de movimiento de hombros sin lograr diferencias significativas.

El orden utilizado para las actividades en ambos usuarios fue la misma: movimiento rotatorio de mano derecha, movimiento rotatorio de mano izquierda, movimiento rotatorio de pie derecho y movimiento rotatorio de pie izquierdo. Dichos movimientos fueron entrenados en la Suite, indicándole que la acción realizada debe reflejar cierto comportamiento en el software, como lo es el movimiento del cubo anaranjado en la Ilustración 5-3, la acción de una tecla del teclado o el click del mouse.

Dada la baja cantidad de acciones posibles de alcanzar, el relativamente alto tiempo de detección promedio y la muy alta tasa de error asociado, es que se descarta el uso de la señal de control sensorimotora para su utilización en el sistema domótico.

5.2 Mejoras Implementadas

Tras los estudios realizados anteriormente, fue posible determinar una señal de control tentativa para el sistema: la SSVEP. Sin embargo, esa señal presenta en forma preliminar un tiempo de respuesta superior al ya utilizado actualmente.

Se indagó entonces en otras soluciones posibles, dentro de las cuales una de ellas vino de la mano de conversaciones con la empresa de soluciones de integración digital, Lifeware S.A.

Dada la experiencia de la empresa en el rubro, y mediante el uso extensivo del mismo dispositivo de interfaz cerebro máquina Emotiv EPOC, Lifeware determinó que las señales de control capaces de ser medidas por el dispositivo eran altamente erráticas y, por ende, poco confiables. De forma similar a las conclusiones alcanzadas en este informe, Lifeware señaló además que los tiempos de respuesta obtenidos mediante la utilización del método de input actual, Expressiv Suite, es indudablemente mejor, razón por la cual ellos adoptaron dicha metodología en su producto software final.

Frente a la similitud en la selección de metodología de los dos software, Lifeware aconsejó la implementación de mejoras que reducirían el tiempo de interacción entre el usuario y el sistema.

5.2.1 Desarrollo de Solución Hover Click o Click Dwell

Hover Click o Dwell Click, consiste en la interacción con un sistema software sin el uso de los botones del mouse, sino, más bien, mediante el posicionamiento constante del cursor del mouse sobre un elemento con el que se desea interactuar. Si el cursor permanece durante un tiempo determinado sobre el elemento a interactuar, el mismo se activa de forma similar a que si se le hubiese dado un click. La Ilustración 5-4 muestra el resultado de la implementación de esta solución.



Ilustración 5-4 - Visualización de solución Hover Click

Con el Emotiv EPOC esto es posible dado que el dispositivo cuenta con 3 giroscopios que entregan una buena estabilidad al momento de controlar el cursor del mouse con la cabeza.

En el sistema domótico, esto se traduce en la implementación de la funcionalidad para actuar sobre los elementos electrónicos representados mediante botones. Dicha funcionalidad fue implementada mediante las tecnologías Javascript y JQuery aplicando una barra de carga a modo de feedback para el usuario que se completa e interactúa con el elemento al pasar 1.5 segundos desde su posicionamiento sobre el mismo.

Esta solución es opcional y puede ser desactivada desde el menú de configuraciones del sistema domótico.

5.2.2 Ajuste de la Velocidad del Cursor

Una tarea simple, pero efectiva corresponde la reducción de la velocidad del cursor del mouse al momento de utilizar el sistema domótico mediante el dispositivo Emotiv EPOC, dado a que una alta sensibilidad del cursor a los movimientos convertiría la tarea de selección de un elemento en una tarea de innecesaria alta precisión.

5.3 Pruebas Finales y Resultados

Con los ajustes realizados en la sección anterior, se hicieron pruebas finales en un entorno real, consistiendo éste de un living comedor, con el servidor del sistema domótico centralizado a una distancia de aproximadamente 3 metros de los sujetos de prueba.

A los sujetos de pruebas se les solicitó realizar un proceso similar al descrito anteriormente en la sección de Pruebas Basadas en Expressiv Suite, sin embargo, se instruyó a los sujetos de prueba la existencia de la diferencia con respecto al Hover Click. Naturalmente, se les instruyó en el uso del nuevo sistema previo proceso de pruebas. La Tabla 5-3 muestra los resultados obtenidos a partir de esta prueba.

	Prueba N°			Promedio
	1	2	3	
Elemento seleccionado	Dormitorio > Principal	Dormitorio > Principal	Dormitorio > Principal	N/A
Tiempo de activación	4 segundos	6 segundos	4 segundos	4.7 segundos
Número de intentos fallidos	0	0	0	0

Tabla 5-3 - Resultados de pruebas finales

Se puede observar una mejora notable en cuanto al tiempo de interacción, así como también en cuanto a la precisión. La reducción del número de intentos fallidos se puede explicar por la eliminación del movimiento de la cabeza al momento de tener que usar la presión mandibular para simular un click y al ajuste de la velocidad del mouse, con lo que se permite una mejor maniobrabilidad del cursor mediante la cabeza.

Efectivamente se puede observar una reducción de 6.3 segundos, 57%, en el tiempo de activación para el elemento seleccionado entre la versión de uso de Emotiv Expressiv Suite sin y con el uso de las mejoras implementadas.

6 Conclusiones

Durante el curso de la investigación realizada, se ha descubierto e indagado ampliamente en las tecnologías de interfaz cerebro-máquina, domótica y en un menor grado también electrónica de desarrollo aplicada y computación física.

Con el conocimiento obtenido, es apropiado afirmar que ambas tecnologías, tanto las BCIs como la domótica, han resurgido durante el último tiempo como tecnologías viables y utilizables por el consumidor tradicional, expandiéndose hacia un enfoque de desarrollo más funcional e interactivo que el disponible, y además focalizado, en los centros de estudios médicos.

A lo largo del contacto con el dispositivo de interacción cerebro máquina se ha podido obtener una comprensión más amplia sobre la operación de estos equipos, en especial del equipo en uso Emotiv EPOC. Con ello se ha obtenido una idea clara de las capacidades y los límites en el uso de esta tecnología.

Como se ha podido observar, el funcionamiento de estos dispositivos no es trivial, partiendo desde el complejo método de preparación para su uso, hasta el uso mismo del equipo, es factible invertir una gran cantidad de tiempo y aun así no obtener una lectura confiable por medio de los sensores dispuestos para este cometido.

Es posible aseverar, con la experiencia obtenida durante las pruebas de concepto realizadas con los distintos grupos de individuos, que en los ámbitos observados la tecnología proporcionada por el dispositivo Emotiv EPOC aún no está lista para su uso en entornos profesionales o clínicos, pues la precisión obtenida en cada una de las pruebas no ha logrado estar libre de errores que pueden ser críticos en otras aplicaciones. Sin embargo, la posibilidad de independencia de dispositivos de entrada físicos para el control de computadores y/o aplicaciones, como la domótica, para personas con discapacidad física severa puede llegar a ser invaluable.

En cuanto a la integración de los sistemas domóticos y las interfaces cerebro-máquina se puede inferir que es completamente posible de realizar, siempre y cuando se tengan en cuenta las condiciones mínimas de operación que garanticen la seguridad de los usuarios ante cualquier eventualidad de un error inesperado como resultado de una mala lectura por parte de los dispositivos BCI.

A pesar de que el dispositivo Emotiv EPOC presentó fallas graves impidiendo su normal funcionamiento, se logró indagar en otras señales de control para su utilización y posible integración con el sistema domótico desarrollado. Sin embargo, sólo se consiguieron resultados inferiores a los postulados inicialmente mediante la solución utilizando la Suite Expressiv de Emotiv.

Estos resultados se ven mermados principalmente debido a la resolución entregada por la interfaz BCI, resultando en altos tiempos de respuesta y tasas de error. Además, se encuentran presentes otros factores como el tiempo de entrenamiento que se requiere, por ejemplo, para la utilización correcta de la señal de control de ritmos sensorimotores o las limitaciones de hardware presentes en la señal de control SSVEP.

No obstante lo anterior, fue posible realizar una reunión con el equipo que conforma la empresa Lifeware S.A., con sede en la 3ie de la UTFSM, quienes se dedican al desarrollo de soluciones tecnológicas inclusivas, entre las cuales se encuentra su solución LifewareIntegra la que consta de un software de control de computador mediante el uso del mismo dispositivo BCI utilizado en este proyecto: el Emotiv EPOC.

En dicha reunión fue posible constatar y confirmar algunas de las observaciones realizadas a lo largo de este informe, siendo quizás la más importante, el uso de la Suite Expressiv de Emotiv como base para el input de los sistemas software. Con ello fue posible desarrollar e implementar mejoras al sistema domótico existente para luego realizar pruebas finales en un ambiente real, en donde se pudo observar una mejora significativa, reduciendo el tiempo promedio de respuesta del sistema a unos 4.7 segundos y la anulación casi absoluta de intentos fallidos.

Si bien, la solución final lograda no representa el uso de un paradigma puro en cuanto a las señales de control BCI conocidas, sí utiliza un híbrido de soluciones mediante herramientas disponibles en el kit de desarrollo de Emotiv y la señal de control de presión mandibular, existente en las pruebas preliminares. Es precisamente en las soluciones híbridas donde se comienzan a vislumbrar mejores tiempos de respuestas y opciones disponibles en el futuro de las interfaces cerebro-máquina, así como también en un mayor nivel de resolución de neuroimagen, la cual por ahora se ve limitada ya por el hardware existente y las capas de tejido existente entre el cerebro y la interfaz, por lo que en un futuro cercano, es posible que no se puedan realizar mejoras significativas en este campo, sin el uso de BCIs invasivas.

7 Referencias

Cofre, J., Moraga, G., 2012. *Usabilidad y accesibilidad en herramientas domóticas*. Valparaíso, Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Donchin E., Spencer K., Wijesinghe R., 2000. *The mental prosthesis: assessing the speed of a P300-based brain-computer interface*. s.l.: IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering.

Duvinage M., Castermans T., Petieau M., Hoellinger T., Cheron G., Dutoit T. *Performance of the Emotiv EPOC Headset for P300-based applications*. Belgium: Medical Engineering OnLine.

Filler, A., 2009, *The history, development and impact of computed imaging in neurological diagnosis and neurosurgery: CT, MRI, DTI*. California, USA, Institute for Nerve Medicine.

Hinterberger T., Schmidt S., Neumann N., Mellinger J., Blankertz B., Curio G., and Birbaumer N., 2004. *Brain-computer communication and slow cortical potentials*, s.l.: IEEE Transactions on Biomedical Engineering.

Liu Y., Jiang X., Cao T., Wan F., Mak P., Vai M, 2012. *Implementation of SSVEP Based BCI with Emotiv EPOC*. Macau, China: University of Macau Research Committee.

Mason, S.G., Birch, G.E., 2003. *A general framework for brain-computer interface design*. s.l.: IEEE TransNeural Syst. Rehabil.

Neuper C., Muller-Putz G., Scherer R., Pfurtscheller G., 2006. *Motor imagery and EEG-based control of spelling devices and neuroprostheses Prog. Brain Res. s.l: Progress in Brain Research*.

Nicolas-Alonso F., Gomez-Gil J., 2012. *Brain Computer Interfaces, a Review*. Valladolid, España: Department of Signal Theory, Communications and Telematics Engineering Valladolid.

Polich, J., 2007. *Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b*. s.l: Clinical Neurophysiology.

Purves, D., 2004. *Neuroscience 3ed*. Massachusetts: Sunderland.

Renard Y., Lotte F., Gibert G., 2010. *OpenViBE: An Open-Source Software Platform to Design, Test, and Use Brain-Computer Interfaces in Real and Virtual Environments*. s.l.: MIT Press Journal.

Wolpaw J., Birbaumer, N., McFarland, D.J., Pfurtscheller, G., Vaughan, T.M., 2002. *Brain-computer interfaces for communication and control*. s.l.: Clin. Neurophysiol

Anexos

8 Descripción de participantes y comentarios adicionales

8.1 Pruebas P300

Nombre Participante	Prueba Asociada	Edad	Género	Condición Médica
Participante 1	1	26	Masculino	N/A
Participante 2	2	26	Femenino	Bruxismo
Participante 3	3	34	Femenino	N/A

Tabla 8-1 - Descripción de los participantes para las pruebas P300

En el caso del participante asociado a la prueba número 1, fue posible determinar que el solo hecho de reír, puede alterar notablemente los resultados. Se cree que durante la prueba, este artefacto influyó negativamente a favor de la ocurrencia del primer error en su prueba.

Más adelante fue posible determinar que no sólo la risa, sino que cualquier movimiento muscular voluntario o involuntario en las áreas cercanas a la cabeza del individuo estudiado tienden a intervenir con el correcto funcionamiento del dispositivo BCI.



Ilustración 8-1 Participante 1 en proceso de pruebas

8.2 Pruebas Expressiv Suite

Nombre Participante	Prueba Asociada	Edad	Género	Condición Médica	Tiempo de Preparación
Participante 1	1	27	Masculino	N/A	8 minutos
Participante 2	2	36	Masculino	N/A	20 minutos
Participante 3	3	26	Femenino	Bruxismo	2 minutos
Participante 4	4	34	Femenino	N/A	4 minutos

Tabla 8-2 - Descripción de los participantes para las pruebas de Expressiv y Mouse Emulator

Durante las pruebas realizadas en esta etapa, el dispositivo de interfaz cerebro-máquina presentaba un deterioro notable en los sensores, lo cual dificultó la preparación de los individuos de cara a las pruebas en especial en el caso del participante asociado a la prueba número 2.

La participante asociada a la prueba número 3, reportó que el gesto de ejercer presión mandibular le dificultaba mantener un control de la cabeza, lo que a su vez dificultaba el control del puntero del mouse mediante Mouse Emulator. Al igual, que en el Anexo 8, artefactos como la risa distorsionaban completamente la detección de patrones cerebrales y faciales por lo que durara el efecto.

La participante asociada a la prueba número 4, reportó la ejecución de múltiples detecciones (Clicks) en poco tiempo realizados de forma involuntaria. Además, fue posible observar que el dispositivo EPOC reportaba de forma continua la acción correspondiente a la sonrisa, sin que la participante hiciera el gesto mencionado.

En general, los usuarios reportaron un cansancio en el músculo mandibular tras reiteradas operaciones. Cabe destacar que dichas operaciones se extienden por sobre el tiempo estimado de uso del sistema domótico, sin embargo es aconsejable tenerlo en consideración.

Otro aspecto que los usuarios expresaron fue la facilidad de su uso debido a la forma intuitiva de controlar el puntero del mouse con la cabeza y el click con la mandíbula.

8.3 Pruebas Expressiv Suite con Mejoras Aplicadas

Nombre Participante	Prueba Asociada	Edad	Sexo	Condición Médica	Tiempo de Preparación
Carla López	1	24	Femenino	N/A	2 minutos
Daniela Moya	2	26	Femenino	Bruxismo	2 minutos
Nidia Veliz	3	35	Femenino	N/A	4 minutos

Tabla 8-3 - Descripción de los participantes para pruebas de Expressiv y Mouse Emulator con mejoras implementadas

En general, los usuarios destacaron la facilidad de uso de la nueva interfaz y la precisión que pudieron lograr con el puntero del cursor para llegar al elemento indicado.

Se realizaron además observaciones positivas sobre el tiempo de preparación y el tiempo de respuesta logrado con el sistema tras la implementación de estas mejoras.

La participante número 2, observó que al tener el sistema Hover Click activado y no querer necesariamente operar el sistema, la posición del mouse podía involuntariamente activar un elemento del sistema doméstico. Efectivamente, para el momento de la prueba no existía un mecanismo distinto a la desactivación del Hover Click para suspender este comportamiento.

9 Pautas de Entrenamiento el Software

Si bien, el software final desarrollado utiliza una solución híbrida como señal de control que necesita relativamente poco entrenamiento previo, se proporciona a continuación un grupo de recomendaciones para el uso apropiado del software domótico por parte de los usuarios.

- Siempre, para cada usuario distinto del sistema, se debe crear un perfil de usuario nuevo y privado pues se deben crear configuraciones y ajustes únicos para cada persona los cuales son almacenados en dicho perfil.
- Se debe calibrar el nivel de sensibilidad del puntero del mouse a una velocidad apropiada para cada usuario. Esto se puede realizar tanto desde las configuraciones de puntero de cada sistema operativo o, preferiblemente, en la herramienta Mouse Emulator incluida en el Panel de Control Emotiv.
- En el caso de uso por un infante o persona con algún grado de discapacidad mental, siempre es apropiado realizar un proceso de preparación previa. Este proceso es principalmente psicológico y corresponde a un método utilizado por psicólogos y psicopedagogos para reducir los niveles de alteración y/o comportamiento indeseado asociado a nuevas experiencias. Consiste en mostrar al usuario lo que se va a realizar con el sistema domótico y utilizar el mismo frente a él para que sepa que esperar al momento de ser puesto a prueba. Con ello se reduce la posibilidad de la ocurrencia de alteraciones en las lecturas de las señales debido al nerviosismo o inquietud.
- Al utilizar el sistema domótico, utilizando la presión mandibular para simular clicks en el sistema, es recomendable preparar al usuario en el nivel apropiado de presión mandibular requerido y estudiar el tiempo que se requiere para generar un click. Esto se debe en parte a lo conocido mediante pruebas empíricas en donde los usuarios generaban movimientos involuntarios de cabeza al momento de presionar la mandíbula, causando una falla al momento de presionar el elemento requerido en la interfaz del sistema. Esta preparación se logra mediante pruebas previas al uso real del sistema, en donde el usuario puede aclimatarse a los controles del mismo.
- Si se utiliza la presión mandibular a modo de señal de control, entonces se debe instruir al usuario que debe mantener al mínimo cualquier tipo de movimiento innecesario y/o gestos que pudiesen interrumpir con las señales en reposo del cerebro, ya que estas interrupciones pueden generar resultados inesperados, como un falso positivo dentro de las lecturas. Los gestos conocidos por afectar el funcionamiento normal del dispositivo son: risas, bostezos, estornudos, conversaciones y, en general, cualquier movimiento que genere tensiones musculares en la zona cercana al cerebro.