



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE
COMUNICACIÓN**

**SISTEMA ELECTRÓNICO DE ILUMINACIÓN (ON-OFF) MEDIANTE EL
CONTROL DE SEÑALES CEREBRALES BASADO EN TECNOLOGÍA EEG**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

AUTOR: MARCO PATRICIO JIMENEZ GUEVARA

DIRECTOR: ING. DANIEL JARAMILLO

IBARRA-ECUADOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	171897280-3		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Jimenez Guevara Marco Patricio		
DIRECCIÓN:	Juana Atabalipa y Hernán Gonzales de Sa		
E-MAIL:	mpjimenez@utn.edu.ec		
TELÉFONO MÓVIL:	0968271015	TELÉFONO FIJO:	062651269
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	SISTEMA ELECTRÓNICO DE ILUMINACIÓN (ON-OFF) MEDIANTE EL CONTROL DE SEÑALES CEREBRALES BASADO EN TECNOLOGÍA EEG		
AUTOR:	Marco Patricio Jimenez Guevara		
FECHA:			
PROGRAMA:	Pregado		
TÍTULO:	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación		
DIRECTOR:	Ing, Daniel Jaramillo		

2. AUTORIZACION DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

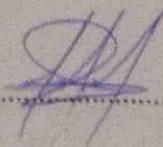
Yo Marco Patricio Jimenez Guevara, con cédula de identidad número 1718972803 en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la biblioteca de la Universidad, con fines académicos para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión en concordancia con la ley de Educación Superior artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra a los 6 días del mes de Marzo del 2017

EL AUTOR:

Firma: 

Nombre: Marco Patricio Jimenez Guevara



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE AUTOR A FAVOR DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Marco Patricio Jimenez Guevara con cédula de identidad Nro. 1718972803, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador artículo 4, 5 y 6 en calidad de autor del trabajo de grado con el tema: SISTEMA ELECTRÓNICO DE ILUMINACIÓN (ON-OFF) MEDIANTE EL CONTROL DE SEÑALES CEREBRALES BASADO EN TECNOLOGÍA EEG PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN. Que ha sido desarrollado con propósito de obtener el título de Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte

Ibarra a los 6 días del mes de Marzo del 2017

Firma:

Nombre: Marco Patricio Jimenez Guevara

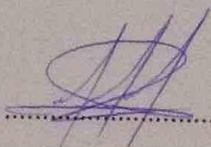
Cédula: 1718972803



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo, Marco Patricio Jimenez Guevara con cédula de identidad Nro. 1718972803, estudiante de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, libre y voluntariamente declaro que el presente trabajo de investigación, es de mi autoría y no ha sido realizado, ni calificado por otro profesional, para efectos académicos y legales será de mi responsabilidad.

Firma: 

Nombre: Marco Patricio Jimenez Guevara

Cédula : 1718972803



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de Titulación " SISTEMA ELECTRÓNICO DE ILUMINACIÓN (ON-OFF) MEDIANTE EL CONTROL DE SEÑALES CEREBRALES BASADO EN TECNOLOGÍA EEG PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN" ha sido desarrollado por el señor Marco Patricio Jimenez Guevara.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "D. Jaramillo", is written over a horizontal dotted line.

Ing. Daniel Jaramillo

DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

Dedico este trabajo es dedicado a mi familia que me apoyo en cada momento, para mi madre Rosa Guevara que me supo darme el valor, los ánimos y el amor para seguir adelante, a mi padre Pablo Jimenez que me aconsejo y brindo la motivación para lograrlo, a mis queridos abuelitos Paco Jimenez y Marcela Vela quienes me brindaron su confianza y apoyo en el transcurso de la carrera y el desarrollo final del proyecto.

Marco Patricio Jimenez Guevara

INDICE DE CONTENIDOS

1 CONTENIDO	
DEDICATORIA	vi
INDICE DE CONTENIDOS	vii
Lista de tablas	x
Lista de figuras.....	xi
Abstract	xvii
Resumen.....	xviii
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Problema.....	1
1.2. Objetivos	2
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcance.....	3
1.4 Justificación.....	4
2 MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 El cerebro	7
2.1.1 Funcionalidad.....	8
2.2 Anatomía	10
2.2.1 Medula espinal.....	11
2.2.2 Bulbo raquídeo.....	12
2.2.3 Protuberancia.....	12
2.2.4 Cerebelo.....	12
2.2.5 Mesencéfalo.....	12
2.2.6 Diencefalo.....	12
2.2.7 Hemisferios cerebrales.....	13
2.3 Neurona	14
2.3.1 Anatomía.....	15
2.3.2 Potenciales bioeléctricos.....	16
2.4 Sinapsis.....	19
2.4.1 Sinapsis Eléctrica	19
2.4.2 Sinapsis química	20
2.5 Neuroplasticidad.....	21
2.5.1 Efecto Priming	25
2.6 Funciones cognitivas.....	26
2.7 Ondas cerebrales	26
2.7.1 Ondas Beta	28
2.7.2 Ondas alfa	28
2.7.3 Ondas theta.....	29
2.7.4 Ondas delta.....	29
2.8 Electroencefalograma.....	30
2.8.1 Conceptos básicos de EEG	30
2.8.2 Actividad eléctrica	31
2.8.3 Corteza cerebral	31
2.8.4 Electrogénesis cortical	33

2.8.5	Captación de EEG.....	34
2.8.6	Fundamentos técnicos del registro EEG.....	34
2.8.7	Montaje EEG.....	39
2.9	Plataforma de Hardware en código abierta.....	42
2.9.2	Arduino.....	43
2.9.3	Módulos Arduino.....	45
2.10	Investigación sensores EEG.....	47
2.10.1	Introducción.....	48
2.10.2	Mindwave mobile.....	49
2.10.3	Emotiv.....	50
2.10.4	Muse.....	50
2.10.5	IFocusBand.....	51
2.10.6	OpenBCI.....	52
2.10.7	Tabla comparativa de sensores EEG.....	53
2.11	Estándar IEEE 802.15.1 “Bluetooth”.....	55
2.11.1	Aspectos básicos.....	55
2.11.2	Estándar.....	56
2.11.3	Picoredes WPAN bluetooth.....	57
2.11.4	Estructura del paquete de datos.....	58
2.12	Iluminación.....	59
2.12.1	Norma Europea UNE-EN 12464-1 de iluminación para áreas de trabajo.....	60
3	DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.....	62
3.1	Interfaz cerebro-dispositivo electrónico.....	62
3.2	Aspectos básicos de diseño basado en el estándar IEEE 29148.....	63
3.2.1	Propósito del sistema.....	63
3.2.2	Descripción General del producto.....	63
3.2.3	Requerimientos del sistema.....	70
3.2.4	Sensor de registro de las señales cerebrales EEG concentración meditación.....	71
3.2.5	Placa de procesamiento Arduino Micro.....	73
3.2.6	Bluetooth Modem - BlueSMiRF SilverRN-42.....	76
3.2.7	Módulo sensor de luz con fotodiodo.....	78
3.3	Funcionalidad del sistema.....	80
3.4	Diagrama de bloques del sistema.....	82
3.4.1	Interfaz Usuario.....	82
3.5	Cálculos de valores.....	85
3.6	Diseño del primer prototipo.....	92
3.6.1	Elementos indicadores del primero prototipo.....	93
3.6.2	Diagrama de flujo.....	95
3.6.3	Diagrama de Conexión Electrónico.....	96
3.6.4	Pruebas y resultados de funcionamiento del prototipo.....	98
3.7	Diseño final del sistema electrónico de iluminación (ON-OFF).....	101
3.7.1	Diseño y construcción del circuito impreso.....	102
3.8	Dispositivo final lámpara con el sistema de iluminación.....	112
4	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO Y PRUEBAS.....	116
4.1	Protocolo preparación del usuario.....	116
4.2	Descripción de las funciones cognitivas.....	117

4.3	Descripción de actores	118
4.3.1	Usuario.....	118
4.3.2	Desarrollador.....	119
4.4	Procedimiento de entrenamiento.....	119
4.4.1	Modificación de los parámetros por evento.....	120
4.5	Descripción casos de uso.....	121
4.5.1	Circunstancias limitantes de uso.....	121
4.5.2	Protocolo de ejecución del evento C (Concentración).....	123
4.5.3	Protocolo de ejecución del evento M (Meditación).....	125
4.6	Control de encendido y apagado del actuador lumínico.	127
4.6.1	Condiciones iniciales	127
4.6.2	Condiciones de uso	127
4.6.3	Postcondiciones.....	128
4.7	Análisis discriminante de patrones por evento.....	128
4.7.1	Análisis discriminante lineal de sesión.....	131
4.7.2	Interpretación de graficas de la captación del registro EEG.....	135
5	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	137
5.1	Costo de hardware implementado en el sistema electrónico de iluminación (on-off) ..	137
5.2	Costo de software implementado en el sistema electrónico de iluminación (on-off) ..	138
5.2.1	Análisis costo beneficio	139
5.2.2	Impactos.....	141
6	CONCLUSIONES RECOMENDACIONES	144
6.1	Conclusiones	144
6.2	Recomendaciones.....	147
	BIBLIOGRAFÍA	149
	ANEXOS	152
	Anexo A.....	152
	Manual de usuario.....	152
	Introducción	152
	Elementos informativos	152
	Botones	154
	Indicadores lumínicos	154
	Escalas de la barra de estado.....	156
	Posición sensor Mindwave Mobile.....	156
	Concentración	158
	Meditación	159
	Anexo B	160
	Medición de variables sujetas al usuario	160
	Anexo C	161
	Configuración del sensor Mindwave Mobile.....	162
	Anexo D.....	164
	Configuración del módulo BlueSMiRF SilverRN-42.....	164
	Anexo E	170
	Tabal de registros en proceso de entrenamiento.....	170
	Anexo F.....	175
	Aceptación de los modelos gráficos	175

Lista de tablas

TABLA 1. LOS PATRONES DE FUNCIONALIDAD DOTADOS POR EL CEREBRO QUE CONFORMAN EL FUNCIONAMIENTO LÓGICO.	9
TABLA 2. TABLA COMPARATIVA DE SENSORES EEG.....	53
TABLA 3. TABLA DE PARÁMETROS RECOMENDADOS PARA ILUMINACIÓN DE EDIFICIOS EDUCATIVOS Y HOGARES	61
TABLA 4. REQUERIMIENTO DEL SISTEMA.....	70
TABLA 5. TABLA DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS.....	105
TABLA 6. FICHA TÉCNICA DE LÁMPARA DE ESCRITORIO TIPO BRAZO	112
TABLA 7. TABLA DE CIRCUNSTANCIAS DE USO.	122
TABLA 8. COSTO COMPONENTES (MÓDULOS) PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	137
TABLA 9. COSTO DE MATERIALES ELÉCTRICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO IMPRESO.....	138
TABLA 10. COSTOS DE SOFTWARE	139
TABLA 11. COSTOS DEL PROYECTO	140
TABLA 12. ELEMENTOS INDICAROS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	155
TABLA 13. TABLA DE REGISTROS DEL USO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE ILUMINACIÓN (ON-OFF)...	171
TABLA 14. TABLA DE REGISTROS DEL USO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE ILUMINACIÓN (ON-OFF)	172
TABLA 15. TABLA DE REGISTROS DEL USO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE ILUMINACIÓN (ON-OFF)	173
TABLA 16. TABLA DE REGISTROS DEL USO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE ILUMINACIÓN (ON-OFF)	174

Lista de figuras

FIGURA 1.EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL.....	11
FIGURA 2.LÓBULOS DE LA CORTEZA CEREBRAL.....	13
FIGURA 3.ESTRUCTURA DE UNA NEURONA	15
FIGURA 4. REGISTRO CELULAR DEL POTENCIAL ELÉCTRICO EN MILIVOLTIOS (mV)	17
FIGURA 5. REGISTRO DEL POTENCIAL DE ACCIÓN	18
FIGURA 6. FLUJO DE LA CORRIENTE EN LAS SINAPSIS ELÉCTRICAS.	20
FIGURA 7.FLUJO DE CORRIENTE EN SINAPSIS QUÍMICA.....	21
FIGURA 8. PROCESO DE PLASTICIDAD NEURONAL	24
FIGURA 9.TIPOS DE ONDAS CEREBRALES	28
FIGURA 10. ONDAS CEREBRALES Y ESTADOS DE CONCIENCIA.....	29
FIGURA 11. CHATURA DE REGISTRO EN LA ACTIVIDAD ELÉCTRICA	35
FIGURA 12. ELECTRODOS ADHERIDOS.....	36
FIGURA 13. ELECTRODOS DE CONTACTO.....	37
FIGURA 14. ELECTRODOS CASCO DE MALLA.	37
FIGURA 15. ELECTRODOS TIPO AGUJA.....	38
FIGURA 16. ELECTRODOS INTRACRANEALES	38
FIGURA 17. REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA 10-20.....	40
FIGURA 18.MONTAJE PARA UN REGISTRO BIPOLAR.....	41
FIGURA 19. MONTAJE PARA REGISTRO MONOPOLAR.....	42
FIGURA 20. PLACA ARDUINO LEONARDO	46
FIGURA 21. PLACA ARDUINO MICRO	46
FIGURA 22. PLACA ARDUINO PRO MICRO.....	47

FIGURA 23. SENSOR MINDWAVE MÓVIL.....	49
FIGURA 24. SENSOR EMOTIV EPOC	50
FIGURA 25. SENSOR MUSE.....	51
FIGURA 26. SENSOR IFOCUSBAND	51
FIGURA 27. SENSOR OPENBCI.....	52
FIGURA 28. INFRAESTRUCTURA DE ENLACE PUNTO A PUNTO.....	58
<i>FIGURA 29. FORMATO DEL PAQUETE</i>	<i>58</i>
FIGURA 30. ILUMINACIÓN LOCAL	60
<i>FIGURA 31. PARTES DEL SENSOR MINDWAVE MOBILE</i>	<i>65</i>
FIGURA 32. INTERFACES DEL SISTEMA.....	66
<i>FIGURA 33. ESQUEMA CONJETURANDO EL POSICIONAMIENTO PARA REALIZAR ACTIVIDADES CON EL</i> <i>ÁREA DE VISUALIZACIÓN</i>	<i>68</i>
FIGURA 34. A. DISEÑO ESQUEMÁTICO DE LA POSICIÓN DEL USUARIO EN SU ÁREA DE TRABAJO B. FOTOGRAFÍA DE MÓNICA ESCOBAR COMO REALIZA SUS ACTIVIDADES.	69
<i>FIGURA 35. MINDWAVE MOBILE.....</i>	<i>72</i>
FIGURA 36. PLACA ARDUINO MICRO.....	74
FIGURA 37. DIAGRAMA DE PINES DE LA PLACA ARDUINO MICRO	75
<i>FIGURA 38. BLUETOOTH MODEM - BLUESMIRF SILVERRN-42</i>	<i>77</i>
<i>FIGURA 39. MÓDULO SENSOR DE LUZ CON FOTODIODO</i>	<i>79</i>
<i>FIGURA 40. DIAGRAMA DE FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE ILUMINACIÓN (ON-OFF)..</i>	<i>80</i>
<i>FIGURA 41. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE ILUMINACIÓN (ON-OFF).....</i>	<i>85</i>
<i>FIGURA 42. PRIMER PROTOTIPO SISTEMA ELECTRÓNICO DE ILUMINACIÓN (ON-OFF).....</i>	<i>92</i>
<i>FIGURA 43. INDICADORES DEL SISTEMA.</i>	<i>94</i>

<i>FIGURA 44. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....</i>	95
<i>FIGURA 45. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO SISTEMA ELECTRÓNICO DE ILUMINACIÓN (ON-OFF).....</i>	98
<i>FIGURA 46. MONITOR SERIAL DEL IDE DE ARDUINO PARA COMPROBAR QUE LOS DATOS SON PROCESADOS MEDIANTE LA ESCALA DE VALORES NUMÉRICOS B. PLOTTER SERIAL DEL IDE DE ARDUINO PARA COMPROBAR QUE LOS DATOS ESTÁN SON PROCESADOS MEDIANTE LA GRÁFICA ANALÓGICA DE LOS VALORES.....</i>	99
<i>FIGURA 47. GRÁFICA DE DATOS DEL REGISTRO EEG PARA EL USUARIO EXTERNO.....</i>	100
<i>FIGURA 48. GRÁFICA DE PORCENTAJES DE ACIERTOS AL REALIZAR LA ACCIÓN CORRECTA DE CONTROL PARA EL USUARIO EXTERNO</i>	101
<i>FIGURA 49. ESTRUCTURA DE LÁMPARA DE ESCRITORIO</i>	102
<i>FIGURA 50. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO.....</i>	103
<i>FIGURA 51. CIRCUITO IMPRESO CON EL POSICIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS EN LA PLACA.....</i>	104
<i>FIGURA 52. CIRCUITO IMPRESO.....</i>	106
<i>FIGURA 53. MONTAJE DE ELEMENTOS EN EL CIRCUITO IMPRESO.....</i>	107
<i>FIGURA 54. MONTAJE DE ELEMENTOS Y LA PLACA ARDUINO MICRO</i>	107
<i>FIGURA 55. PROTOTIPO FINAL DEL SISTEMA.....</i>	108
<i>FIGURA 56. VISIÓN LATERAL DEL DISPOSITIVO</i>	109
<i>FIGURA 57. UBICACIÓN DEL SENSOR LUMÍNICO</i>	110
<i>FIGURA 58. ELEMENTOS INDICADORES DEL SISTEMA.....</i>	111
<i>FIGURA 59. DISPOSITIVO FINAL CPD</i>	113
<i>FIGURA 60. BASE METÁLICA DEL DISPOSITIVO CPD.....</i>	114
<i>FIGURA 61. CABLEADO INTERNO DEL DISPOSITIVO CPD</i>	114
<i>FIGURA 62. BARRA DE ESTADO EN LOS PATRONES MÁXIMO Y NÍMIO.....</i>	115

FIGURA 63. USUARIO MÓNICA ESCOBAR CON EL SENSOR IU.....	118
FIGURA 64. USUARIO MÓNICA ESCOBAR REALIZANDO EVENTO C ENCENDIDO	123
<i>FIGURA 65. FLUJOGRAMA DE DESARROLLO DEL EVENTO CONCENTRACIÓN.</i>	<i>124</i>
FIGURA 66. USUARIO USUARIO MÓNICA ESCOBAR REALIZANDO EVENTO C ENCENDIDO.....	125
<i>FIGURA 67. FLUJOGRAMA DE DESARROLLO DEL EVENTO MEDITACIÓN.</i>	<i>126</i>
<i>FIGURA 68. DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO ANÁLISIS DISCRIMINANTE DE DATOS DEL REGISTRO EEG PARA EL USUARIO MÓNICA ESCOBAR</i>	<i>129</i>
<i>FIGURA 69. ESTABLECIMIENTO DE LOS GRUPOS DE PPE PARA EL EVENTO E CON SOFTWARE ESTADÍSTICO MINITAB</i>	<i>130</i>
<i>FIGURA 70. ESTADÍSTICAS DE PATRÓN DE SESIÓN</i>	<i>131</i>
<i>FIGURA 71. ANÁLISIS DISCRIMINANTE PATRÓN VS VALOR ESFUERZO</i>	<i>132</i>
<i>FIGURA 72. ANÁLISIS DISCRIMINANTE PATRÓN VS VALOR ESFUERZO</i>	<i>134</i>
<i>FIGURA 73. GRAFICA DE DATOS DEL REGISTRO EEG PARA EL USUARIO MÓNICA ESCOBAR.....</i>	<i>135</i>
<i>FIGURA 74. GRAFICA DE ANÁLISIS VALOR EVENTO</i>	<i>136</i>
FIGURA 75. COMPONENTES DEL SENSOR MINDWAVE MOBILE (IU).	153
FIGURA 76. COMPONENTES DE LA LÁMPARA (CPD).....	153
<i>FIGURA 77. BOTÓN DE ENCENDIDO SENSOR MINDWAVE MOBILE</i>	<i>154</i>
<i>FIGURA 78. BARRA DE ESTADO CON LOS NIVELES EN VALOR 3 ENCENDIDO Y LOS SIGUIENTES NIVELES APAGADO</i>	<i>156</i>
<i>FIGURA 79. LUNA RETIRABLE PARA DIFERENTES TIPOS DE TAMAÑO.</i>	<i>157</i>
<i>FIGURA 80. POSICIÓN DEL BRAZO TIPO MANILLA</i>	<i>157</i>
<i>FIGURA 81. UBICACIÓN DEL BRAZO MANILLA EN LA FRENTE CON EL PUNTO DE CONTACTO Y LA DIADEMA-AURICULAR.....</i>	<i>158</i>

<i>FIGURA 82. VISTA LATERAL DEL CORRECTO POSICIONAMIENTO DEL SENSOR</i>	158
<i>FIGURA 83. CEREBRO GENERANDO LA ONDA BETA</i>	159
<i>FIGURA 84. CEREBRO GENERANDO LA ONDA ALPHA</i>	159
<i>FIGURA 85. DISTANCIAS RESPECTIVAS QUE EL USUARIO ESTÁ EXPUESTO.</i>	160
<i>FIGURA 86. MEDICIÓN DE ALUCINACIÓN CON ILUMINACIÓN DEL DORMITORIO RESULTANDO 60 LUX PARA EL ÁREA DE TRABAJO. MEDICIÓN DE ALUCINACIÓN CON ILUMINACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN EEG RESULTANDO 548 LUX PARA EL ÁREA DE TRABAJO.</i>	161
<i>FIGURA 87. MODOS DE ESTADO EN ESTABLECIMIENTO DE CONEXIÓN DEL SENSOR MINDWAVE MOBILE.....</i>	163
<i>FIGURA 88. A. TARJETA ATHEROS AR3011 BLEUTOOTH ® ADATER DEL ORDENADOR B. EMPAREJAMIENTO ENTRE EL SENSOR MINDWAVE MOBILE Y EL ORDENADOR.....</i>	164
<i>FIGURA 89. MÓDULO BLUESMIRF SILVERRN-42 EN MODO VISIBLE PARA ESTABLECER LA CONEXIÓN</i>	165
<i>FIGURA 90. A. BÚSQUEDA Y SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO PARA SER AGREGADO AL ORDENADOR, B VENTANA .CONFIRMACIÓN QUE EL DISPOSITIVO MÓDULO BLUESMIRF SILVERRN-42 SE AGREFO CORRECTAMENTE.</i>	166
<i>FIGURA 91. CONFIRMACIÓN QUE EL DISPOSITIVO FUNCIONA CORRECTAMENTE.....</i>	167
<i>FIGURA 92. VENTANA INICIAL DE CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE TTERMPRO.....</i>	168
<i>FIGURA 93. CONEXIÓN ESTABLECIDA ENTRE EL MÓDULO BLUESMIRF SILVERRN-42 Y EL ORDENADOR</i>	168
<i>FIGURA 94. CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO BLUESMIRF SILVERRN-42 MEDIANTE EL MODO COMANDO</i>	169

<i>FIGURA 95. ESTABLECIMIENTO DE LA CONEXIÓN ENTRE EL MÓDULO BLUESMIRF SILVERRN-42 Y EL SENSOR MINDWAVE MOBILE</i>	<i>170</i>
<i>FIGURA 96. MODELO A.....</i>	<i>175</i>
<i>FIGURA 97. MODELO B</i>	<i>176</i>
<i>FIGURA 98. MODELO C</i>	<i>176</i>

Abstract

This work shows the study, development, design and implementation of a control system based on recording brain signals using EEG technology for student the Monica Escobar affected by a physical disability. The system is defined as a technology support with the core functionality of controlling the turning on and off a light actuator with mental construction of a specific cognitive function, supporting the process of neuroplasticity, it could be said that this effect is the same as learning a skill, therefore the brain has this kind of capabilities that assimilate changes and it can adapt to the environment for this reason this effect is taken for the development of design.

The system creates the basis of fundamentals for future similar applicatifs developments, it is presented minimalist into the action to be performer however it is not simple but it has become a need it is easy at the same time complex, requiring certain characteristics that people with physical disabilities can't perform but other may be using the same process, this sense is not counterproductive but it goes one step to the development of applications using EEG technology, sensor research is based on the design of the technical system requirements in the case of two states a channel with two compositions such as concentration for ignition and mediation to turn off are necessary.

For the user this system is a tool bridge between the executive cognitive functions and physical action, this mean that the system supplies this relationship and executes the action proposed by cognitive human function, it is necessary to take into account that should be process of training to control the system that is important and necessary for its use.

Resumen

El presente trabajo de titulación muestra el estudio, desarrollo, diseño e implementación de un sistema de control basado en el registro de señales cerebrales mediante la tecnología EEG para la estudiante Mónica Escobar, afectada por una discapacidad física, el sistema está definido como una tecnología de apoyo, con la funcionalidad principal de controlar el encendido y apagado de un actuador lumínico con la construcción mental de una función cognitiva específica, sustentando el proceso de neuroplasticidad, se podrá decir que este efecto es lo mismo que aprender una habilidad, en consecuencia el cerebro posee esta tipo de capacidades que asimilan cambios y se adaptan al medio por tal razón este efecto es tomado para el desarrollo del diseño.

El sistema crea la base de fundamentos para futuros desarrollos aplicativos semejantes, presentándose minimalista en la acción a realizar, no obstante considero que no es simple sino que enmarca una necesidad fácil de realizar, pero compleja que requiere de ciertas características, que las personas con discapacidad física no lo pueden cumplir, englobando a otras mediante el mismo proceso, este sentido no es contraproducente si no que escala un peldaño al desarrollo de aplicaciones en el uso de la tecnología EEG, la investigación del sensor está según el diseño de los requerimientos técnicos del sistema, en el caso de dos estados es necesario un canal con dos composiciones como es la concentración para el encendido y la mediación para el apagado del mismo.

Para el usuario este sistema es una herramienta de puente entre la las funciones cognitivas, ejecutivas y acción física, esto quiere decir que el sistema suple esta relación y ejecuta la acción que la función cognitiva humana propuesta, algo a tomar en cuenta es que se debe tener un proceso de entrenamiento para el control del sistema esto es importante y necesario para su uso.

1. ANTECEDENTES

Dentro de este capítulo se tratará los aspectos tomados en cuenta para la definición del tema, se explica cómo se determinó el problema, el objetivo general y específicos a alcanzar, se expone puntualmente el alcance del proyecto, lo que se pretende lograr dentro de la realización del proyecto especificando como está conformado el proyecto y la justificación argumentando los puntos técnicos, sociales, académicos y económicos de la toma de decisión para la realización del proyecto.

1.1. Problema

La discapacidad física es una barrera que limita las funciones motrices de una persona, impidiéndole interactuar entre la sociedad y un diario vivir, donde la falta de movimiento crea la dificultad de realizar actividades comunes, como el encender o apagar una lámpara, esto engloba un conjunto de problemas que afrontan cada día, de manera que la vida adquiere una cierta fragilidad.

Actualmente las personas con discapacidad físico -motriz presentan los problemas y necesidades provocados por su condición, tienen grandes limitaciones en la interacción física, mantienen una lucha constante por lograr romper las barreras que su cuerpo lo condiciona debido a que su entorno no está adaptado, es el caso de Mónica Escobar estudiante de la carrera Ingeniería en Sistemas Computacionales en la Universidad técnica del Norte, ella padece una condición denominada reducción de extremidades superiores y presenta la necesidad de asistencia en actividades cotidianas.

Considerando a este proyecto como un recurso que potencialice el desarrollo de Mónica, se plantea exponer una tecnología de apoyo que supla ciertas necesidades y mejore su calidad de vida. La idea fundamental del sistema es controlar un dispositivo electrónico

mediante señales cerebrales, ejemplo el encender o apagar una lámpara sin que exista ningún contacto físico solo la interacción de la mente generadora de ese pensamiento y el dispositivo, facilitándole la capacidad de realizar ciertas acciones.

En resumen la discapacidad física limita las funciones motrices del cuerpo, provocando que disminuya la autonomía de una persona, como solución se plantea implementar un sistema electrónico con la capacidad de apoyar y mejorar la calidad de vida, posibilitando la interacción con el entorno que lo rodea, mediante un vínculo entre el cerebro y el sistema electrónico.

1.2. Objetivos

1.1 Objetivo general

- Implementar un sistema electrónico de iluminación para el encendido y apagado de una lámpara de escritorio mediante la interacción entre el dispositivo y las señales cerebrales

1.2 Objetivos específicos

- Investigar acerca de la tecnología EEG para la captación y el tratamiento digital de las señales cerebrales con el propósito de comprender la interacción del dispositivo con el cerebro.
- Diseñar el sistema de control de acuerdo a las ondas cerebrales, para gestionar el encendido y apagado de una lámpara de escritorio.

- Implementar el sistema de vinculación entre el sensor de señales cerebrales y la plataforma de procesamiento digital basada en hardware libre para el control inalámbrico de encendido y apagado de una lámpara de escritorio.
- Realizar el análisis costo-beneficio del sistema electrónico de iluminación mediante la comparación del costo económico del sistema electrónico y los beneficios otorgados
- Analizar la funcionalidad del sistema electrónico mediante pruebas de desempeño con el fin de recopilar conclusiones, recomendaciones e información para el desarrollo de nuevas investigaciones

1.3 Alcance

Se propone implementar un sistema electrónico de iluminación que permita el encendido y apagado de una lámpara de escritorio controlado mediante señales cerebrales para eso se usará un dispositivo que capta las ondas cerebrales transfiriéndolas inalámbricamente(estándar IEEE 802.15.1) hacia un módulo de comunicación, para luego procesarlas en una plataforma basada en hardware libre con el propósito de encender o apagar la luz sin que exista ningún tipo de contacto físico, complementado este proceso con la verificación de que si la luz está encendida o apagada mediante el uso de un sensor de luminosidad.

Se aplicará un dispositivo sensor con tecnología EEG para la captación de información mediante exámenes de ondas cerebrales denominada electroencefalografía, con el uso de electrodos que captan las señales del cerebro, permitiendo que la información obtenida se disponga para el control del sistema electrónico de iluminación, por esta razón el proyecto está orientado al desarrollo de esta tecnología.

La idea principal del proyecto de trabajo de grado es proponer la base de desarrollo en aplicaciones basadas en tecnología EEG mediante el estudio de funcionalidad del sistema electrónico de iluminación, tomando como ejemplo la necesidad que presenta la estudiante Mónica Escobar, en el marco de aplicación el sistema discrimina las discapacidades físicas que presentan las personas esto fundamenta al sistema a ser universal, que sin importar el grado de discapacidad o la condición que lo afecta funciona de igual manera, redefiniendo las condiciones para el diseño e implementación del sistema.

1.4 Justificación

Dentro del aspecto social el proyecto define un sistema de desarrollo tecnológico aplicativo, orientado a personas con discapacidad físico-motriz, este desarrollo tiene como finalidad el mejoramiento en la calidad de vida, tomando como referencia el “Plan del Buen Vivir 2013-2017” donde se especifica el proporcionar condiciones adecuadas para el acceso a un habitat seguro e incluyente, aplicando un diseño de acondicionamiento conforme a los requerimientos de las personas con discapacidad, cimentado en las pautas de confort y accesibilidad para hogares digitales, en si el proyecto se transforma en una investigación que busca el acceso a tecnologías de asistencia y promueva su desarrollo.

Debido que Mónica Escobar es estudiante universitaria y se encuentra en pleno proceso de formación académica la mayor parte de su tiempo dentro de su casa lo consume realizando distintas tareas curriculares en un determinado espacio, por esta razón se presenta la necesidad de contar con un dispositivo de iluminación para el desarrollo de las mismas, implícitamente se determina que el control del dispositivo debe ser adaptado a sus capacidades físicas. El costo económico del sistema electrónico es reducido comparado con los beneficios ofrecidos para el mejoramiento en la calidad de vida, dando la posibilidad al desarrollo de futuras aplicaciones diseñadas de acuerdo a sus necesidades y requerimientos.

Dentro del aspecto social el proyecto define un sistema de desarrollo tecnológico aplicativo, orientado a personas con cierto grado de discapacidad físico-motriz como es el caso de Mónica Escobar, este desarrollo tiene como finalidad el mejoramiento de la calidad de vida, tomando como referencia el “Plan del Buen Vivir 2013-2017, Objetivo 3-Política 3.8” donde se especifica el proporcionar condiciones adecuadas para el acceso a un hábitat seguro e incluyente, para generar un diseño de acondicionamiento conforme a los requerimientos de las personas, aplicando las pautas de confort y accesibilidad para hogares digitales, en si el proyecto se transforma en una investigación que busca facilitar la accesibilidad y el confort dentro de su hogar, permitiéndole realizar determinadas acciones de acuerdo a sus necesidades y así aumentando su autonomía.

El proyecto está enfocado en la investigación de tecnología EEG para el desarrollo de futuras aplicaciones esto implica un dispositivo capaz de recopilar información mediante el uso de la tecnología EEG y comunicarse con una plataforma de procesamiento digital basada en hardware libre por medio de transmisión inalámbrica (estándar 802.15.1), para determinadas acciones.

El proyecto espera en convertirse herramienta tecnología que brinde mayor confort e independencia a las personas que sufren de alguna discapacidad físico-motriz permitiéndoles mejorar su calidad de vida y vivir de forma autónoma, con lo cual se estaría cumpliendo con los principios que guían al objetivo de cohesión, inclusión y la equidad social hacia este sector de la población.

En vista de los conocimientos adquiridos durante el periodo de estudio universitario se cuenta con la capacidad de desarrollar el presente proyecto teniendo como respaldo los niveles de estudio aprobados cumpliendo de esta forma con la visión y misión planteada por la Universidad Técnica del Norte, la razón por la cual se orienta a realizar este proyecto con la

evidente necesidad de innovar en el estudio de nuevas tecnologías cumpliendo con la interacción recíproca entre la educación y la investigación, en el marco de requerimientos y necesidades presentes hoy en día.

Un aspecto que se tomó como referencia es la generación de investigación para el desarrollo de aplicativos tecnológicos, basados en el uso de la tecnología EEG, manteniendo un rol principal en su desarrollo y cumpliendo con los objetivos planteados y así extender una área de investigación dentro del país.

2 MARCO TEÓRICO

Dentro de este capítulo se aborda los cimientos teóricos del proyecto, la tecnología EEG, el tratamiento de las señales cerebrales y su estudio, la interacción entre el dispositivo sensor y el cerebro, el vínculo de comunicación y la plataforma de desarrollo basa en open-source.

2.1 El cerebro

El cerebro es la parte más importante del sistema nervioso central. Está situado dentro del cráneo y en la especie humana su peso oscila entre 1.245 y 1.375 gramos, dependiendo de diversos factores que afectan a su morfología, como son la edad (el cerebro aumenta su tamaño hasta que se alcanza la edad adulta, después se mantiene y cuando se alcanza la vejez comienza a disminuir), el peso corporal, el sexo y la etnia a la que se pertenece. (Rodríguez de la Torre, 2011: 8).

En el cerebro reside todo lo que una persona fue, es y puede llegar a ser, lo que ha vivido, aprendido y memorizado, su conciencia y su metac conciencia. También están allí sus habilidades y dificultades, lo que acepta y rechaza, lo que ama y cómo lo ama, lo que está presente y lo que cree haber olvidado. (Braidot, 2013, p.20).

Ya se conoce que el cerebro es una segmento el cual ha evolucionado desde las primeras etapas del ser humano y mantenido un constante cambio, pero se debe responder la pregunta para qué se diseñó una maquina tan sorprendente, con sus determinadas funciones regidas de una manera casi perfecta y con la capacidad de seguir evolucionando, los mecanismos cerebrales que rigen la conducta y las emociones son contemplados por la selección natural con el objetivo de comandar cuerpo humano, valga la redundancia el cerebro se transforma en un comandante el cual presenta sentencias u órdenes para la realización de una determinada actividad esto es consciente o inconscientemente.(Tirapu, 2010, p.37)

Según el autor Javier Tirapu en su libro *¿Para qué sirve el cerebro?*, presenta tres razones que para comparar al cerebro con un ordenador siendo la tercera, una pauta importante dentro de este proyecto "La tercera razón se halla más relacionada con las señales que un cerebro recibe y como procesa esas señales" el autor se refiere a que el cerebro tiene la capacidad de organizar y categorizar la información, obtenida por los sentidos comparados con sensores naturales del cuerpo humano, el cerebro presenta un sistema que se o podría identificar simplista pero eficiente, donde se determina un proceso de generar una acción de acuerdo a los requerimientos presentes o captados por alguno de estos sensores naturales, así predeterminando una tarea específica, el cerebro mediante sus capacidades cuenta con la de generar estas acciones que pueden ser definidas como ideas, algo contradictorio es que las ideas pueden nacer espontáneamente pero siempre llevan implícitamente la necesidad de satisfacer un requerimiento.

2.1.1 Funcionalidad

Como se comprendió el cerebro es una máquina que cumple con determinadas funciones, establecidas que en conjunto conforman la funcionalidad del cerebro esto permite la ejecución de acciones y el cumplimiento de objetivos, por así decirlo el cerebro cuenta funciones específicas como patrones que rigen su funcionamiento.

Las acciones, los pensamientos y las percepciones sensoriales proceden de procesos cerebrales que se replican a determinadas funciones o necesidades, estas funciones son clasificadas en tres grandes grupos:

2.1.1.1 Sensitivas.

"El cerebro recibe estímulos de los órganos sensoriales, los procesa y los integra para formar percepciones."(Braidot, 2013, p.32)

2.1.1.2 *Motoras.*

“El cerebro controla los movimientos voluntarios e involuntarios del organismo.” (Braidot, 2013, p.32)

2.1.1.3 *Integradoras.*

“El cerebro genera actividades mentales, como el aprendizaje, la memoria y el lenguaje.” (Braidot, 2013, p.32)

Estas funciones nos permiten reconocer a los demás por su rostro, su voz o su manera de caminar, distinguir lo dulce de lo salado, lo frío de lo caliente, lo áspero de lo suave. También hacen que nos movamos o nos quedemos quietos, dormir o estar despiertos, memorizar y olvidar. (Braidot, 2013, p.32)

Tabla 1. Los patrones de funcionalidad dotados por el cerebro que conforman el funcionamiento lógico.

Funciones	Descripción
Receptor de datos	Recibe y procesa los datos que mandan las neuronas sensitivas.
Consumidor de energía.	Demanda una cantidad enorme de energía, siendo el órgano con mayor consumo de energía, el cerebro consume 20% de la energía que consume el cuerpo humano para vivir.
Codificador	El cerebro es un codificador de información espacial y temporal para integrarla de manera coherente y compatible,
Descompresor	El cerebro descomprime la información obtenida por los receptores sensoriales y provee un proceso de fabricación de datos

	comprensibles, de manera constante y dinámica.
--	--

Procesador de información	La información es transformada en energía, es analizada con referencia a patrones establecidos, luego manipula o procesada y manifestando una respuesta, la velocidad de procesamiento de la información está relacionada con el coeficiente intelectual.
---------------------------	---

Realizador de procesos mentales	El cerebro presenta una asociación e integración de la información de manera que es almacenada y producida por escalas para su manipulación, se establece la relación entre los elementos relativos y sucesivos absolutas.
---------------------------------	--

Organizador de sistemas de conocimiento abiertos	El cerebro es un organizador sistemático, considerando la recepción de la información y su respuesta, establecido por el comportamiento de las neuronas según los impulsos bioeléctricos codificados anteriormente.
--	---

Función dinámica.	El cerebro se encuentra en un sistema no lineal, no se presenta con un proceso a seguir constantemente si no que es adaptativo al medio, se permite generar nuevos procesos para lograr el objetivo, no se rige a reglas si no que a cada momento genera sus propias reglas.
-------------------	--

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez, fuente Kandel, Schwartz, Jessell, (2000), Principios de Neurociencias.

2.2 Anatomía

El sistema nervioso es una estructura bilateral y esencialmente simétrica con siete partes fundamentales: médula espinal, bulbo raquídeo, protuberancia, cerebelo, mesencéfalo, diencéfalo y los hemisferios cerebrales. (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000, p.7)

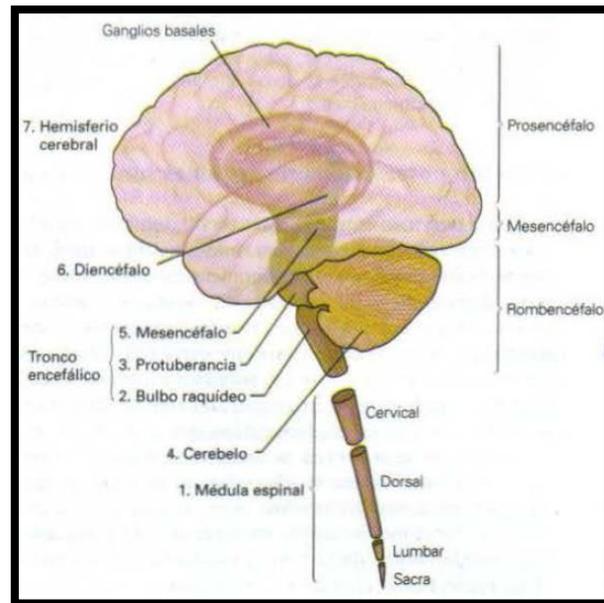


Figura 1. El sistema nervioso central

Referencia: Kandel, Schwartz, Jessell, (2000), Principios de Neurociencias, [Imagen]

Merced a diversos métodos experimentales, se pueden obtener estas imágenes del cerebro mientras los sujetos realizan tareas específicas, que pueden ser relacionadas con la actividad de zonas definidas del cerebro. El resultado es que la idea original de Gall de que diferentes regiones del cerebro están especializadas en diferentes funciones se acepta en la actualidad como uno de los fundamentos de la ciencia moderna del cerebro. (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000, p.7)

2.2.1 Medula espinal.

Es la parte más caudal del sistema nervioso central, recibe y procesa la información sensitiva de la piel, las articulaciones y los músculos de las extremidades y el tronco. Se subdivide en las regiones cervical, dorsal, lumbar y sacra. El tronco del encéfalo recibe información sensitiva de la piel y los músculos de la cabeza y se encarga del control motor de los músculos de la cabeza. (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000, p.8)

2.2.2 Bulbo raquídeo.

Situado directamente por encima de la médula espinal, contiene varios centros responsables de funciones autónomas vitales, como la digestión, la respiración el control de la frecuencia cardíaca. (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000, p.8)

2.2.3 Protuberancia.

Situada por encima del bulbo, transmite información sobre el movimiento del hemisferio cerebral al cerebelo. (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000, p.8)

2.2.4 Cerebelo.

Está situado por detrás de la protuberancia y se encuentra conectado con el tronco del encéfalo a través de vanos haces de fibras importantes llamados pedúnculos. El cerebelo regula la fuerza y la amplitud de los movimientos y participa en el aprendizaje de las capacidades motoras. (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000, p.8)

2.2.5 Mesencéfalo.

Situado por encima de la protuberancia, controla muchas funciones sensitivas y motoras, como los movimientos oculares y la coordinación de los reflejos visuales y auditivos. (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000, p.8)

2.2.6 Diencéfalo.

Está situado por encima del mesencéfalo y contiene dos estructuras. Una de ellas, el tálamo, procesa la información que alcanza La corteza cerebral procedente del resto del sistema nervioso central. La otra, el hipotálamo, regula la función autónoma, endocrina y visceral. (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000, p.8)

2.2.7 Hemisferios cerebrales.

Consisten en una capa externa muy plegada -La corteza cerebral- y tres estructuras situadas en la profundidad: los ganglios basales, el hipocampo y los núcleos amigdalinos. (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000, p.8)

Las operaciones cerebrales responsables de nuestras capacidades cognitivas ocurren fundamentalmente en la corteza cerebral, la sustancia gris plegada que cubre los hemisferios cerebrales. En cada uno de los dos hemisferios cerebrales la corteza que los reviste está dividida en cuatro lóbulos diferenciados anatómicamente: frontal, parietal, temporal y occipital. (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000, p.9)

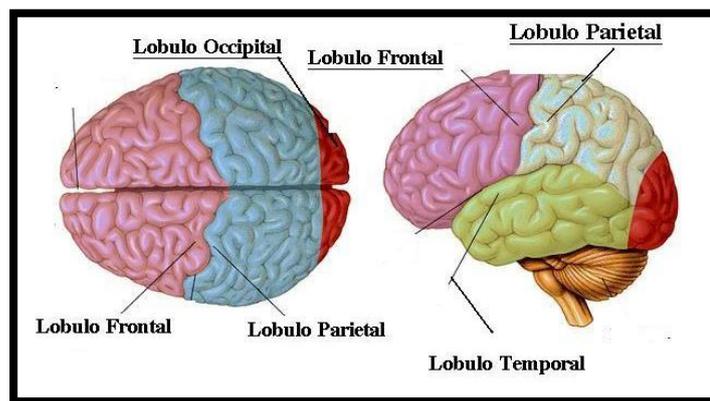


Figura 2. Lóbulos de la corteza cerebral

Referencia: Mónica Rot, (2010), *Hemisferios cerebrales*, <http://blogintentalo.blogspot.com/2015/08/loss-hemisferios-cerebrales.html> [Figura]

2.2.7.1 Lóbulo frontal.

Que incluye no sólo la corteza motora sino también áreas frontales de asociación responsables de la iniciativa, el juicio, el razonamiento abstracto, la creatividad y la conducta socialmente apropiada. (Stephen G. Waxman, 2003, p.135)

El lóbulo frontal se ocupa en gran medida de la planificación de acciones futuras y del control del movimiento. (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000, p.9)

“La función principal del cortex prefrontal dorsolateral es la organización temporal de la conducta dirigida a una meta, habla y razonamiento.” (Mendez Perez, 2011, p.24)

2.2.7.2 *El lóbulo occipital.*

“Constituye, aproximadamente, 1/8 de la corteza cerebral. Contiene las áreas de visuales primarias y las de asociación visual” (Mendez Perez, 2011, p.29)

2.2.7.3 *Lóbulo temporal.*

“Constituye aproximadamente ¼ de toda la corteza y no posee una función unitaria. La corteza del surco temporal superior está implicada en la asociación entre la información visual y la auditiva.” (Mendez Perez, 2011, p.28)

2.2.7.4 *Lóbulo parietal.*

“La corteza parietal constituye aproximadamente 1/5 de la corteza cerebral; El área total asociada con una región concreta del cuerpo se relaciona directamente con la sensibilidad de dicha región concreta.” (Mendez Perez, 2011, p.24)

2.3 Neurona

Las células nerviosas, o neuronas, son las unidades estructurales y funcionales del sistema nervioso. Generan y conducen cambios eléctricos en forma de impulsos nerviosos. Se comunican químicamente con otras neuronas en los puntos de contacto denominados sinapsis. Miles de millones de neuronas forman un caparazón o corteza en la superficie de los hemisferios cerebrales y cerebeloso. (Fitzgerald, Gruener & Mtui, 2012, p.70)

El autor plantea que las neuronas son células con un cuerpo alargado especializadas en conducir los impulsos nerviosos, su capacidad principal es la transferencia de los denominados

datos que es la información del cuerpo esto es una manera sencilla de explicar su función principal, específicamente transfiere potenciales eléctricos en forma de impulsos electroquímicos siendo una célula variable en su forma y tamaño. (Martínez, 2009, p.18)

2.3.1 Anatomía

La anatomía de la neurona está dividida en distintas partes significativas dentro de su estructura como se ve en la figura 3.

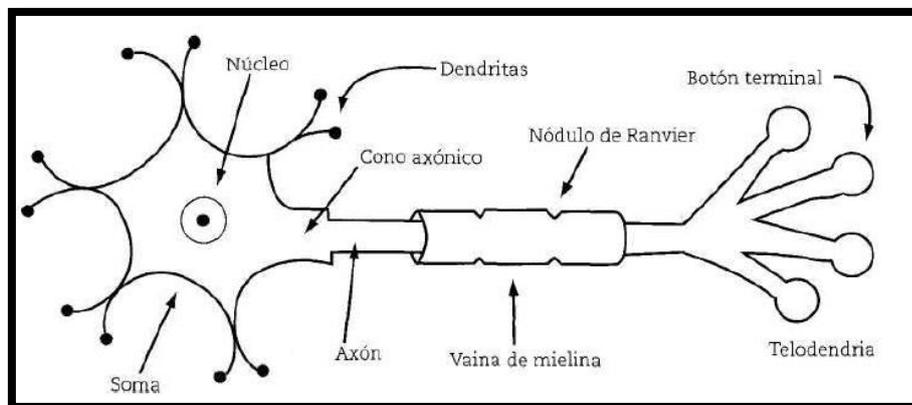


Figura 3. Estructura de una neurona

Referencia: Quintanar, (2013), Neurofisiología Básica [Figura]

*“Un área central ensanchada que contiene al núcleo y que corresponde al soma, cuerpo neuronal o perkarion.”
(Quintanar, 2011, p.31)*

“Ramificaciones que emergen del soma llamadas neuritas. Las neuritas pueden ser prolongaciones gruesas de diámetro relativamente uniforme llamadas axones y las más pequeñas, abundantes y ramificadas denominadas dendritas.” (Quintanar, 2011, p.31)

El axón es la estructura de la neurona especializada en la conducción del impulso nervioso a distancias relativamente grandes. La porción final del axón es el botón terminal que puede ser uno solo o ramificado y es el sitio donde se realiza el contacto con otras neuronas: la sinapsis. (Quintanar, 2011, p.31)

Las dendritas se proyectan a partir del cuerpo neuronal y presentan arborizaciones que actúan como elementos de recepción de otras neuronas. (Quintanar, 2011, p.32)

2.3.2 Potenciales bioeléctricos

Junto con las células musculares, las neuronas son únicas en cuanto a que son excitables; es decir, responden a los estímulos generando impulsos eléctricos. Las respuestas eléctricas de las neuronas (modificaciones del potencial eléctrico a través de sus membranas) pueden ser locales (restringidas al sitio que recibió el estímulo) o propagadas (pueden viajar a través de la neurona y de su axón). Los impulsos eléctricos propagados se denominan potenciales de acción. Las neuronas se comunican entre sí en las sinapsis por medio de un proceso denominado transmisión sináptica. (Waxman, 2011, p.19)

2.3.2.1 Potenciales de acción.

Los potenciales de acción constituyen las señales mediante las cuales el cerebro recibe, analiza y transmite información.” (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000, p.20)

Las neuronas se comunican a través de la producción de impulsos eléctricos denominados potenciales de acción. Estos potenciales son señales eléctricas autorregenerativas que tienden a propagarse a través de una neurona y a lo largo de su axón. El potencial de acción es una despolarización de aproximadamente 100 mV (una señal grande para una neurona). El potencial de acción es de todo o nada. Su magnitud es constante en cada neurona. (Waxman, 2011, p.20)

Las siguientes propiedades pueden caracterizar a un potencial de acción:

- Su propagación se da de forma activa a lo largo del axón hasta las terminales dendríticas correspondientes.

- La magnitud de su voltaje permanece constante a todo lo largo de su propagación.
- Una vez iniciado el potencial de acción, éste no se detiene y se propaga en todas direcciones.
- Las características que presenta son generalizables a cualquier otra neurona.

En la figura 4 se muestra como un potencial de 0 mV, donde el número de cargas positivas es igual en el interior como en el exterior de la pared de la neurona, después se puede ver el cambio de potencial en los estados que puede presentar.

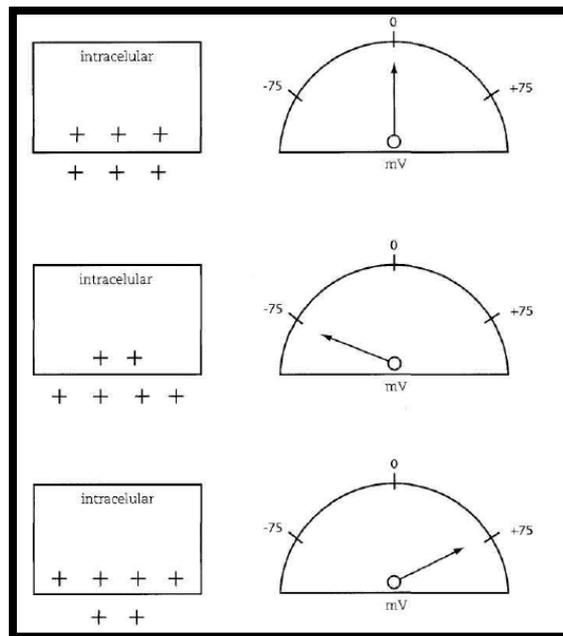


Figura 4. Registro celular del potencial eléctrico en milivoltios (mV)

Referencia: Westbrook, G. 2013. Principles of neural science. (Figura).

Cuando la variación de V_m alcanza unos + 20 mV (p. ej., de -75 a -55 mV), la respuesta que aparece es cualitativamente distinta: el potencial de acción. Al valor de potencial de membrana en el cual se produce el potencial de acción se le llama “umbral”. (Quintanar, 2011, p.38)

Debido a la semipermeabilidad selectiva de la membrana se mantiene la separación de estas cargas. Esa separación de cargas es la responsable del potencial de reposo de la membrana celular. En la mayoría de las neuronas, este potencial intracelular es de -55 a -75 mV. Por tanto, se define potencial de membrana (V_m) a la diferencia de potencial entre el interior y exterior de la célula, tanto en reposo como en los distintos estados de activación neuronal. (Quintanar, 2011, p.37)

“La transmisión de diferencias de potencial del orden de milivoltios a una cierta distancia requiere que el proceso de transmisión sea activo, con consumo de energía.” (Quintanar, 2011, p.40)

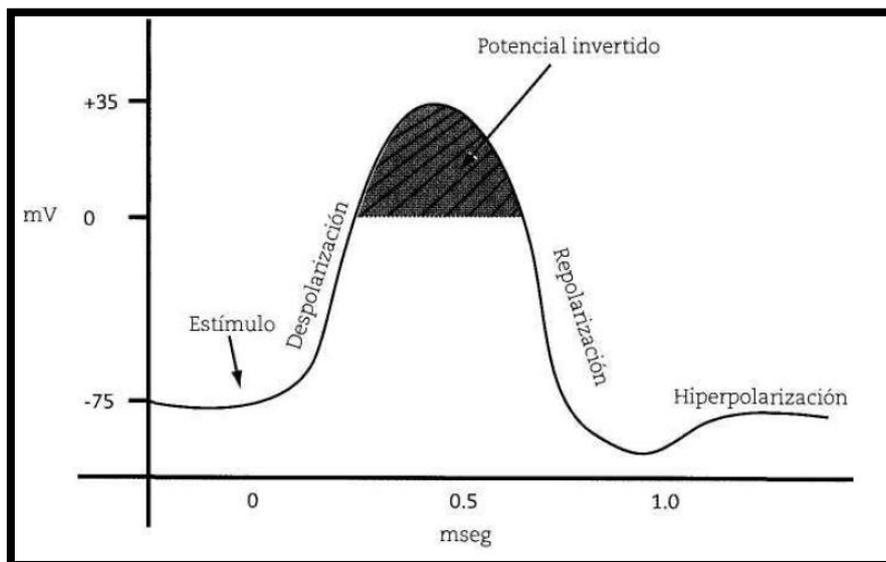


Figura 5. Registro del potencial de acción

Referencia: Westbrook, G. 2013. Principles of neural science. (Figura).

En la figura 6 se observa el potencial de acción mediante un osciloscopio basado en la relación del voltaje-tiempo (mV-mseg) donde la membrana en reposo se encuentra en un estado inicial de -75mV a los 0mseg, dentro del rango de 0mseg a 0,5mseg se aplica un estímulo y se genera la despolarización, donde el voltaje de la membrana llega a un máximo de +35mV,

después de eso se provoca una salida de potasio mucho mayor y generando la repolarización, dentro del rango de 0,5mseg a 1mseg, llegando por debajo del potencial inicial y estabilizándose.

2.4 Sinapsis

La sinapsis se define como el sitio de unión entre células excitables como neurona-neurona, neurona-músculo, neurona-glándula. El sistema nervioso humano está compuesto por unas 1011 neuronas, las cuales son unidades especializadas en la comunicación de señales y estas señales se transmiten por la sinapsis, las cuales se han calculado en 1015, es decir, 10,000 sinapsis por neurona, aproximadamente. (Quintanar, 2011, p.47)

“A medida que el impulso nervioso eléctrico se desplaza a lo largo del axón en forma de un PA (Potencial de acción), alcanzan un punto en el que debe ser transmitido a otra neurona.” (Webb & Adler: 2010, p.96)

2.4.1 Sinapsis Eléctrica

Se considera que las sinapsis eléctricas son infrecuentes en los mamíferos. Cuando aparecen, lo hacen principalmente en las dendritas o bien entre dos cuerpos neuronales muy próximos entre sí. En esta sinapsis no participa ningún neurotransmisor y tampoco se produce ningún retraso en la propia sinapsis. Por tanto, no es posible la modulación de la transmisión. Las sinapsis eléctricas garantizan que las neuronas que den participar en una actividad común sean estimuladas de manera sincrónica. Un ejemplo de ello es la descarga sincrónica que tiene lugar en el bulbo raquídeo durante la inspiración. (Webb & Adler: 2010, p.97)

Los potenciales de acción que pasan a lo largo de la membrana celular provocan la rotación individual de las subunidades, creando un poro lo suficientemente grande como para permitir la libre difusión de iones y pequeñas moléculas siguiendo sus gradientes de concentración. La

función global de estas uniones comunicantes es asegurar la actividad sincrónica de las neuronas con una acción común. (Fitzgerald, Gruener & Mtui, 2012, p.93)

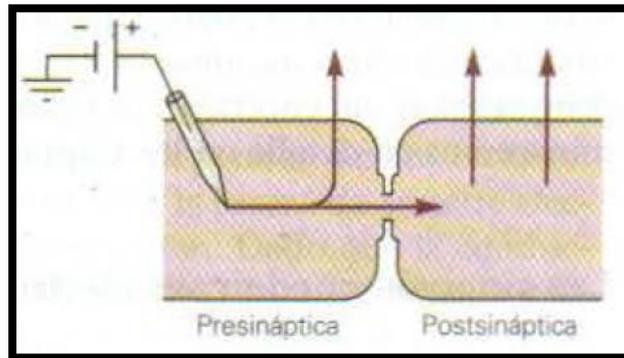


Figura 6. Flujo de la corriente en las sinapsis eléctricas.

Referencia: Westbrook, G. 2013. *Principles of neural science*. (Figura).

En la sinapsis eléctrica cierta parte de la corriente pasa de la neurona presináptica a través de los canales iónicos en reposo a la membrana, y una mayor parte de la corriente pasa a la célula postsináptica mediante los canales iónicos intercelulares comunicantes que conectan ambas neuronas. (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000, p.176)

2.4.2 Sinapsis química

En este tipo de sinapsis química, la transmisión de la información es unidireccional, es decir, va de la membrana presináptica a la membrana postsináptica, y al tiempo que tarda en pasar de una neurona a otra se le conoce como retardo sináptico; el cual se debe en su mayor parte al proceso de liberación del transmisor, y en menor proporción al pasaje del transmisor a través del espacio sináptico hasta llegar al receptor. Tal retardo es de aproximadamente 0.5 mseg. En la sinapsis eléctrica no existe diferenciación clara. (Quintanar, 2011, p.48)

“Como resultado de ello, la transmisión sináptica química depende de la liberación de un neurotransmisor por la neurona presináptica.” Como el autor lo indica este es un mensaje químico que una neurona a otra y está dividido en dos procesos el primero la transmisión donde

se libera el neurotransmisor y la segunda de recepción en donde el neurotransmisor se une a la célula postsináptica (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000, p.182)

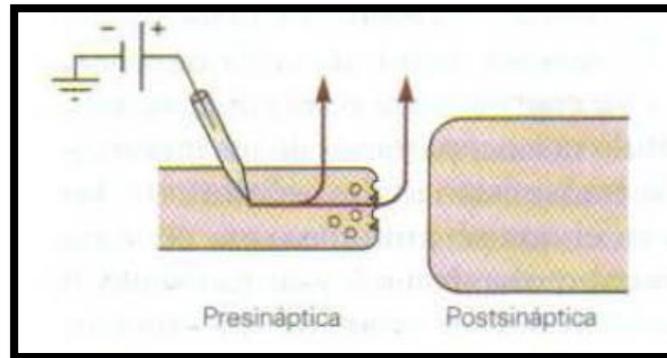


Figura 7. Flujo de corriente en sinapsis química.

Referencia: Westbrook, G. 2013. Principles of neural science. (Figura).

En la sinapsis química toda la corriente suministrada atraviesa la membrana de los canales iónicos de la neurona presináptica, donde la despolarización celular libera los neurotransmisores de las vesículas sinápticas que se unen a la neurona postsináptica, esto abre los canales y genera el cambio de potencial de una membrana de la neurona postsináptica. (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000, p.176)

2.4.2.1 Neurotransmisores.

“Se llaman neurotransmisores a las moléculas liberadas por despolarización de la membrana presináptica que afectan a la membrana postsináptica mediante la comunicación química neural.” (Quintanar, 2011, p.49)

2.5 Neuroplasticidad

La plasticidad cerebral (también denominada plasticidad neuronal, cortical, sináptica o, simplemente, neuroplasticidad) se refiere a la formación de aprendizajes y adaptaciones al

entorno a través de modificaciones en las estructuras de las redes neuronales. La experiencia puede alterar tanto la función del cerebro (su fisiología) como la organización (su anatomía), y esta experiencia incluye no sólo las influencias externas sino también algunas internas. (Alcover & Rodríguez, 2012, p.4)

Los hábitos tienen importantes consecuencias en la vida real de los individuos: simplifican los movimientos requeridos para obtener un determinado resultado, los hace más exactos y disminuye la fatiga; y también reducen la atención consciente con que se ejecutan los actos, automatizando la conducta y haciéndola más fluida, aunque la conciencia es capaz de detectar cualquier desviación y rectificar de inmediato. Los autores presentan de una manera concreta que los hábitos, con el caso de estudio de este trabajo en el cual se basa la simple acción de encender y pagar una luz mediante el movimiento físico, mediante la interacción física entre la persona y el dispositivo eléctrico, se lo plantea como un hábito, el cual puede ser suplantado por otro manteniendo el mismo resultado, como los autores lo presentan textualmente “A esto se añade la posibilidad de cambiar o abandonar hábitos establecidos y adquirir otros nuevos.”(Alcover & Rodríguez, 2012, p.4)

En los principios de la psicología el investigador Willian James presenta el concepto de la plasticidad del sistema nervioso y el cerebro, según el investigador el cerebro cuenta con dos tipos de funciones: las inferiores dominan y controlan el comportamiento autónomo, y las superiores que se encargan de los procesos intelectuales de los seres humanos. Willian James concluye que “plasticidad, en la acepción amplia de la palabra, significa poseer una estructura lo suficientemente débil para ceder ante una influencia, pero también lo bastante fuerte para no ceder de golpe.” (Alcover & Rodríguez, 2012, p.2)

Se presenta el siguiente escenario donde se ejemplifica que una corriente que atraviesa una determinado, se le será más fácil recorrerlo nuevamente, esto genero al investigador William

James ¿Qué la hizo cruzarla la primera vez? Para contestar a esta pregunta tendremos que apoyarnos en nuestro concepto general del sistema nervioso como una masa de materia cuyas partes se encuentran continuamente en estados de diferente tensión y que constantemente tiende a igualar sus estados” (Alcover & Rodríguez, 2012, p.2)

Con las bases de las primeras investigaciones de James, Freud, Hebb y otros investigadores se llega a la definición antes mencionada estableciendo que las funciones y la organización del cerebro para controlar determinadas actividades físicas y cognitivas se pueden alterar y cambiar.

Los efectos beneficiosos de la expresión de la plasticidad pueden dividirse en tres grandes grupos: necesidad de desarrollo normal del desarrollo postnatal, facilidad para que el sistema nervioso se adapte a las demandas del ambiente y compensación de pérdidas de funcionalidad y reorganización del sistema nervioso para reemplazar dichas funciones perdidas (Møller, 2006)

De manera genérica puede afirmarse que la potencialidad de cambio del cerebro se basa en las propiedades fisiológicas y anatómicas de la modulación neuronal y alcanza su máximo desarrollo durante la niñez, manteniéndose durante toda la vida como una herramienta eficaz ante los cambios inducidos o el simple deterioro neuronal debido al proceso de envejecimiento del individuo (Baundry, Thompson, y Davis, 1993).

El proceso de la plasticidad abarca las características de la sinapsis, según los autores Ramón y Cajal los procesos de adaptación y aprendizaje proveen de las transformaciones en la eficiencia dentro del conjunto de conexiones neuronales. Dentro de las investigaciones de Hebb planteo que el lugar en donde se fundamente los cambios son las conexiones entre las neuronas o como ya se explicó el proceso de sinapsis; para que ocurra la plasticidad interviene dos neuronas activas, que estimulan el fortalecimiento de la sinapsis, siendo la función

sináptica la causante de que el cerebro funcione de manera plástica, durante actividades como: aprendizaje, la memorización, la recuperación de una lesión o la edad. “Bien es cierto que desde un punto de vista global, la plasticidad comportamental será el resultado de la suma e interacción de las plasticidades de las sinapsis individuales.” (Kolb, 1995)

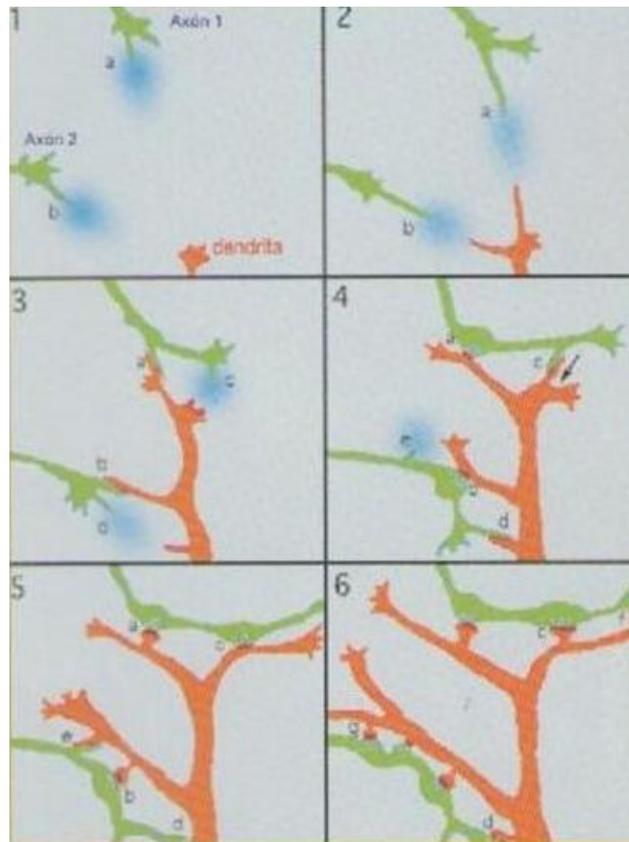


Figura 8. Proceso de plasticidad neuronal

Referencia: Westbrook, G. 2013. Principles of neural science. [Figura].

El proceso de desarrollo de la neuroplasticidad dentro del cerebro como se observa en la figura 8, mantiene un ciclo generativo denominado plasticidad positiva como se puede ver en la figura 8 la cual establece nuevas redes neuronales partiendo del estímulo o necesidad por la implantación de la nueva red, este proceso conlleva un determinado periodo afectado por factores como la complejidad de la red o la facilidad de las modificaciones morfológicas.

2.5.1 Efecto Priming

El efecto priming se refiere a la mayor sensibilidad que tenemos ante determinados estímulos, por ejemplo, una palabra, una imagen, un sonido, un aroma, a causa de conocimientos experiencias previas. Está relacionado con la memoria implícita e influye en la toma de decisiones desde las profundidades de la mente, esto es, sin que seamos conscientes de lo que ocurre. (Braidot, 2013, p.136) el autor da una definición más conceptual del efecto priming el cual se encuentra ligado con la neuroplasticidad por la razón que realizarse el efecto priming se crea una red neuronal para dicho evento siendo conscientes de la idea a nacer en base al estímulo del deseo.

El efecto priming está basado en:

- Las decisiones del cerebro son realizadas de 6 a 10 segundos después de que podamos estar conscientes
- Dentro de la toma de sesiones se dan anticipaciones derivadas del conocimiento, experiencias y acciones del medio de comunicación.
- El propósito del efecto priming es decidir que la presentación de un estímulo asocie a un evento establecido relacionado con dicho estímulo.

En base a esto el autor Braidot (2013) ejemplifica que si durante una conversación se toma el tema de una marca específica de alimento, el oyente toma a esa marca como un estímulo y se genera el efecto priming haciendo que el sabor del alimento se reproduzca dentro del cerebro con tan solo pensarlo y así aludiendo a una determinada red neuronal donde se encuentre guardado dicho conocimiento, pero en el caso que la otra persona desconozca la mencionada marca no se produciría el efecto. (p. 136)

Este sistema de memoria de dominio específico procesa y representa la información sobre la forma y la estructura, pero no sobre el significado u otras propiedades asociativas de los estímulos (Schacter, 1994). El sistema que controla las funciones cognitivas en la parte prefrontal del cerebro es donde se procesa parte de la generación de la idea para el efecto priming donde un estímulo causado como por ejemplo la falta de luminosidad evoca en una red neuronal que será creada para dicho evento. (p.4)

2.6 Funciones cognitivas

Las funciones cognitivas ejecutivas son denominadas como un grupo de procesos mentales también llamadas construcciones mentales que otorgan el control y regulación de otras habilidades y conductas, son tan necesarias para regir las acciones al efecto de agenciar objetivos específicos. Contienen la capacidad de ejercer el inicio y finalización acciones llevadas a cabo con un fin, o de planificar la conducta por delante de tareas o situaciones, con estas habilidades se permite el usuario anticipar y constituir el hecho de que su acción significara una reacción como ejemplo el pensar en moverse a un lugar específico para accionar un interruptor y que se presente un reacción resultante el encendido de una iluminaria, esto parte desde el mismo momento en que la función cognitiva ejecutiva se cimenta en la mente de la persona y desea la reacción del encendido, tal vez por el mero hecho de hacerlo o por la singularidad de una necesidad presente,. (Redolar Ripoli, 2014, p.134)

2.7 Ondas cerebrales

Las ondas cerebrales se refieren a la actividad eléctrica que es producida por células cerebrales. Esta actividad eléctrica cerebral es medida en microvoltios, y es el resultado de la

suma de potenciales post-sinápticos-exitatorios (Llancafil, 2013, p.18) esta actividad eléctrica genera simetrías, siendo la información que viaja de una neurona a otra formando una red, con el propósito de ejecutar una función.

Las ondas cerebrales, como cualquier onda, poseen frecuencia y amplitud. Así, la frecuencia o velocidad de pulsos eléctricos se mide en ciclos por segundo o Hz, variando de 0,5 a 38 Hz, y la amplitud representa cuán intensa es la onda cerebral. (Llancafil, 2013, p.18)

Esta manifestación de la actividad eléctrica del cerebro tiene una relación entre voltaje, frecuencia y amplitud de cada tipo de onda generada por los distintos estados de percepción de un individuo, la actividad está presente en los diferentes procesos de conciencia como: vigilia, relajación, sueño/meditación y sueño profundo. Con el comportamiento de cada onda cerebral se puede determinar los estados que se perciben en cada fase.

La descarga de una sola neurona o de una sola fibra nerviosa en el encéfalo nunca puede registrarse desde la superficie de la cabeza. Por el contrario, deben disparar sincrónicamente muchos miles o incluso millones de neuronas o de fibras; sólo entonces se sumará una cantidad suficiente de potenciales procedentes de las neuronas o de las fibras aisladas como para recogerse después de atravesar todo el cráneo. (Guyton y Hall, 2011, p.724)

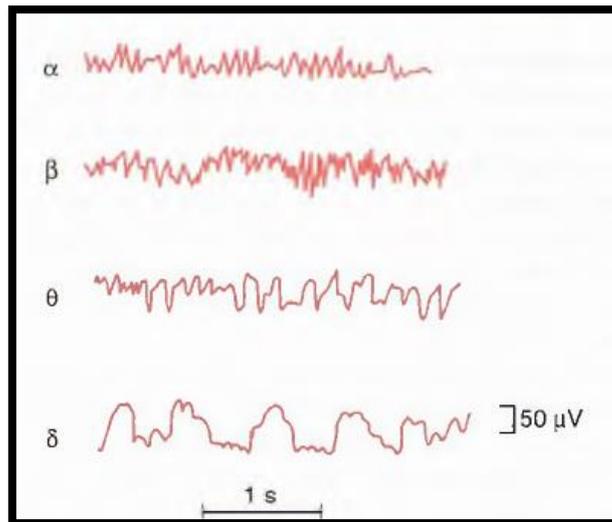


Figura 9. Tipos de ondas cerebrales

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez, fuente Kandel, Schwartz, Jessell, (2000), Principios de Neurociencias.[Figura]

2.7.1 Ondas Beta

“Se producen cuando el cerebro está despierto e implicado en actividades mentales. Es la más rápida de las cuatro, su frecuencia es de 14 a 30 Hz Denota actividad mental intensa, estudiando y resolviendo problemas.” (Llancafil, 2013, p.18) este tipo de ondas están presentes cuando los rasgos de personalidad son mayores, entre la relación de la actividad mental con aspectos externos, el análisis intelectual y la percepción de un entorno físico como la interacción del entorno. Son señales de baja amplitud que están por debajo de los $20\mu\text{V}$ y están divididas en beta baja, beta media y beta alta.

2.7.2 Ondas alfa

“Se producen en un estado de no actividad y relajación. Son más lentas y de mayor amplitud, su frecuencia oscila entre 6 a 13 Hz.” (Llancafil, 201, p.18). Son ondas de amplitud

entre 20-100 μ V son presentes en estados de relajación instantes antes de dormir o por métodos de relajación mental (meditación).

2.7.3 Ondas theta

“Son de mayor amplitud y menor frecuencia, 4 a 5 Hz. Aparecen en el sueño, así como en estados de meditación profunda.” (Llancafil, 2013, p.18).

Estas ondas son más lentas que las alfa pero de amplitud menor de 20 μ V, las características que provocan son capacidad de aprendizaje, memoria plástica, imaginación y creatividad.

2.7.4 Ondas delta

Son las de mayor amplitud y menor frecuencia. Entre 0.5 a 3 Hz, y aparecen en un estado de sueño profundo. En estas ondas la mente opera de forma totalmente integrada. Sus estados psíquicos correspondientes son el dormir sin sueños, el trance y la hipnosis profunda. Si se consigue entrar y permanecer consciente en el nivel delta, se alcanza el estado de superconsciencia que es el último peldaño de la meditación, donde desaparecen las barreras entre consciente, subconsciente e inconsciente. (Llancafil, 2013, p.18).



Figura 10. Ondas cerebrales y estados de conciencia

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez, fuente Kandel, Schwartz, Jessell, (2000), Principios de Neurociencias. [Figura]

2.8 Electroencefalograma

El neuropsiquiatra alemán Hans Berger (1873-1941) fue el inventor de un sistema capaz de registrar desde el cuero cabelludo la actividad eléctrica cerebral; sin embargo, su primer trabajo no fue aceptado hasta que Adrián, en Cambridge, confirmó sus hallazgos. Usando como electrodos agujas de plata, platino o acero recubierto de cinc, describió en su propio hijo el ritmo alfa con su atenuación fisiológica con la apertura de ojos, y las ondas de frecuencia beta. También estudió los cambios relacionados con las fluctuaciones del nivel de conciencia, el sueño los defectos óseos, etc. Él acuñó en 1929 el término electroencefalograma, formado juntamente con palabras de origen griego (Dlek-tr(o) + en-kephal(o) +-gram-maÍ). (Archundia Papacetzzi, 2003))

2.8.1 Conceptos básicos de EEG

La electroencefalografía proporciona un método no invasivo para estudiar la actividad eléctrica continua o espontánea del cerebro. Los potenciales del cerebro se registran en un electroencefalograma (EEG¹); éstos aparecen como ondas periódicas con frecuencias que van de 0.5 a 40 ciclos por segundo (herzios [Hz]²) y con una amplitud que abarca de cinco a varios cientos de microvoltios. (Stephen G. Waxman, 2003, p.277)

“Aprender a leer electroencefalografía es como aprender un idioma, es interpretar un lenguaje mediante el cual el cerebro nos va hablando. Hay que aprender sus grafoelementos, su forma de expresarse y su forma de responder a los estímulos.” (Archundia Papacetzzi, 2003)

“Cabe añadir que el electroencefalograma es una técnica diagnóstica fácil de realizar, barata y no es invasiva.”(López-tercero, 2013, p.12)

2.8.2 Actividad eléctrica

Dentro del cerebro existen aproximadamente 10^{14} sinapsis, donde se forman las redes neuronales que tiene como propósito el procesar la información transmitida por las neuronas, en el instante del procesamiento de la información, son emitidas minúsculas corrientes eléctricas que circulan por dichas redes neuronales, componiendo los potenciales eléctricos. (Blenkman, 2013, p.9)

2.8.3 Corteza cerebral

La corteza cerebral es una delgada capa de tejido nervioso de unos 3 a 4 mm de espesor, formada por sustancia gris, esta plegada y forma los curcos y giros del cerebelo, tomando que cada lóbulo del cerebro contiene estos surcos y giros. Los impulsos que son generados por las neuronas postsináptica el cambio que anteriormente se explicó, y se tiene dos potenciales: potencial postsináptico excitador (PPES³) y potencial inhibitorio postsináptico (PPSI⁴). (Blenkman, 2013, p.9)

La corteza cerebral denominada “cortex” está dividida según sus áreas con específicas características y las funciones que cumplen: áreas motrices, áreas sensoriales, área somestésica, área visual, área auditiva, área olfativa, área gustativa, áreas de asociación. (Tovar, 2008)

2.8.3.1 *Funciones de la Corteza*

- Retroalimentación: toda área que recibe fibras de otro entro, envía fibras en sentido contrario. Por ejemplo, hay vías córtico-talámicas y tálamo-corticales. . (Tovar, 2008)
- Recorticalización: Una señal puede pasar varias veces por un analizador cortical para ser depurada. . (Tovar, 2008)
- Facilitación cuando se aplican estímulos consecutivos; e inhibición por fatiga. . (Tovar, 2008)
- Toda sensación consciente es fruto de extensa actividad cortical, en la que participan distintas áreas de las fibras de asociación. El funcionamiento cerebral es global e integrado. . (Tovar, 2008)
- Los lóbulos frontales participan en la conducta, la personalidad, la memoria, la experiencia afectiva y la conciencia del yo. La sección de los mismos mediante la lobotomía produce depresión, falta de impulso para la acción, pérdida de la capacidad de adaptación a situaciones inesperadas. . (Tovar, 2008)
- A través de la corteza se establecen reflejos condicionados, si bien no es necesaria para todas las respuestas condicionadas. . (Tovar, 2008)
- Las áreas corticales relacionadas con el lenguaje (área de Broca), se encuentran en un solo hemisferio: el izquierdo en las personas diestras y el derecho en las zurdas. En caso de lesión de este hemisferio puede cumplir su misión el otro. . (Tovar, 2008)
- La memoria depende de la corteza, áreas de asociación, aunque intervienen en ella conexiones del tronco cerebral. . (Tovar, 2008)

- La corteza actúa: retardando la reacción al estímulo; eligiendo la respuesta; contribuyendo a integrar la acción. Para ello: analiza, sintetiza, correlaciona, integra, modifica. . (Tovar, 2008)

2.8.4 Electrogénesis cortical

Como el autor López lo presenta en su trabajo de tesis (2013) que todo tejido presenta una función básica de generar potenciales eléctricos que es el fundamento de la excitabilidad del organismo, en un fragmento del tejido cortical es sitio de la actividad eléctrica neuronal que está caracterizada por ondas y son consecuencia de la actividad sináptica, este tejido que produce actividad eléctrica es denominado generador, y esta dividido en 3 grupos:

- Generador A: Situado a unas 500 micras de la superficie cortical está producido por la despolarización de las dendritas apicales de las células piramidales. Su actividad produce ondas negativas en la superficie de la corteza. No tiene relación con la descarga de potenciales de acción de las células. .”(López-tercero, 2013, p.18)
- Generador B: Situado a 900 micras de profundidad. Produce ondas positivas en la superficie cortical y su actividad coincide con la aparición de potenciales de acción en las células. .”(López-tercero, 2013, p.18)
- Generador C: Está situado también a 900 micras, pero su actividad determina ondas negativas en la superficie cortical y es el resultado de la hiperpolarización de las células. Su actividad coincide con una interrupción de la descarga de potenciales de acción en las células piramidales. .”(López-tercero, 2013, p.18)

2.8.5 Captación de EEG

Toda actividad eléctrica neuronal es posible captársela por algunas técnicas:

- Sobre el cuero cabelludo.
- En la base del cráneo.
- En el cerebro expuesto.
- En localizaciones cerebrales profundas.

2.8.6 Fundamentos técnicos del registro EEG

Se ubican electrodos tipo disco metálico, en la superficie del el cuero cabelludo como se presenta en la figura 12. Se detectan corrientes oscilatorias de 20-100 μ V, esta corriente se origina del efecto aditivo de un conjunto de neuronas corticales piramidales constituidas en columnas radiales, que están situadas debajo de la superficie de los giros corticales, donde estos potenciales fluctúan y se establece un dipolo eléctrico⁵, se genera un potencial de campo eléctrico en base a la corriente que atraviesa el espacio extracelular e intracelular. “En el EEG se registra la componente extracelular de esta corriente, y las variaciones tanto en la potencia como en la densidad de los bucles de corriente dan lugar a su forma característica de onda sinusoidal.”(Fitzgerald, Gruener & Mtui, 2012, p.313)

⁵ Dipolo eléctrico áreas adyacentes de carga opuesta

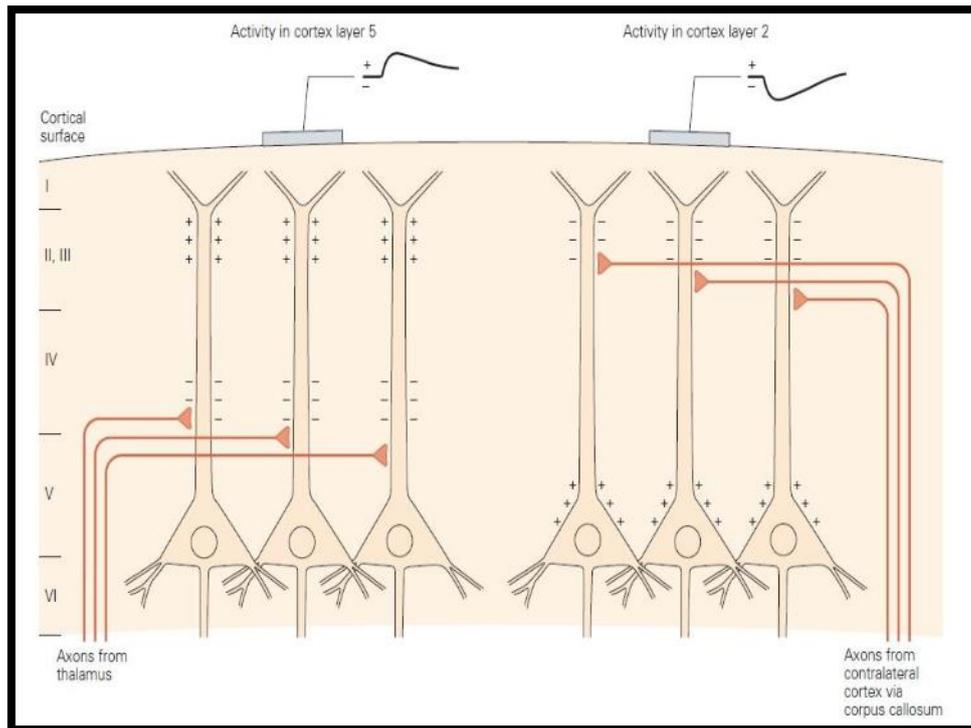


Figura 11. Chatura de registro en la actividad eléctrica

Referencia. Westbrook, G. 2013. Principles of neural science. [Figura].

La actividad eléctrica del potencial registrada sobre la superficie cortical está continuamente permutando es decir que no se mantiene constante ni cumple con un ciclo predeterminado, manteniendo una variación entre cada registro en milisegundos, siendo que existen nuevos registros a cada momento con una diferente escala del potencial, para ejemplificar esta definición, demos el caso que una olla de agua se la pone a hervir durante unos minutos se puede ver como las burbujas de vapor comienzan a ascender, no cumple con un ciclo, no son del mismo tamaño pero son constantes esto es lo q ocurre con los registros de la actividad eléctrica neuronal se puede expresar que esta actividad es impredecible, en todo ese cambio y desorden existen leyes que rigen y determinan estas ondas. (Mostafa & Mohamed, 2011)

2.8.6.1 *Electrodos*

Los electrodos son elementos receptores que captan la señal de la actividad eléctrica, son un tipo de sensor el cual trasforma la condición iónica a conducción electrónica para que la señal pueda ser procesada. (Platas, 2008, p.15)

2.8.6.2 *Tipos de electrodos*

Los electrodos están divididos en 2 grupos por su ubicación.

2.8.6.3 *Electrodos extra craneales*

Se los usa en la superficie del cuero cabelludo y estos se dividen en:

2.8.6.3.1 Adheridos

Son discos metálicos con un diámetro de 5mm, tienen una resistencia muy baja, son fijados con un aislante en el cuero cabelludo. (López-tercero, 2013, p.19)



Figura 12. *Electrodos adheridos*

Referencia. <http://tienda.bionic.es/electrodos-emg-varios/163-electrodos-superficie-disco.html> [Imagen]

2.8.6.3.2 De contacto

Son pequeños tubos de plata clorurada roscados a soportes de plástico, consta de una almohadilla con solución conductora. Se fijan al cráneo con bandas. (López-tercero, 2013, p.19)

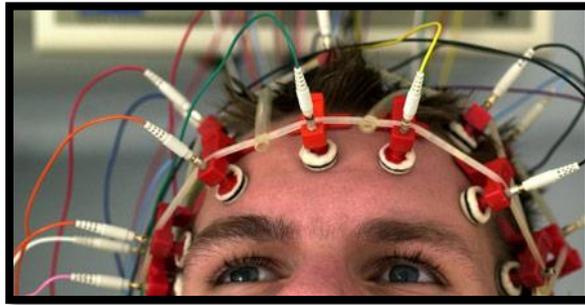


Figura 13. Electrodo de contacto

Referencia. <http://blog.mensa.org.mx/category/salud/>[Imagen]

2.8.6.3.3 En casco de malla

Es un tipo de gorro que tiene incorporado los electrodos, presentan una gran comodidad para el paciente en registros de largo tiempo no usa ningún tipo de solución para fijarlos. (López-tercero, 2013, p.19)



Figura 14. Electrodo casco de malla.

Referencia. <http://biofeedbackspain.es/productos/nuevos-productos/nexus-eeeg-cap/>[Imagen]

2.8.6.3.4 De aguja

Son electrodos tipo aguja para su ubicación se lo realiza mediante la incrustación de la aguja en el cráneo en la zona a ser registrada, su uso es limitado, son desechables y su manipulación es debe ser muy cuidadosa (López-tercero, 2013, p.19)



Figura 15. Electrodo tipo aguja

Referencia.

http://grupovisiontienda.com/diopsacr/catalog/product_info.php?manufacturers_id=33&products_id=81 [Imagen]

2.8.6.4 Electrodo intracraneales

Se los ubica mediante una intervención quirúrgica abriendo el cráneo e introduciendo los electrodos en la corteza de manera invasiva⁶.



Figura 16. Electrodo intracraneales

Referencia. Parvici J. (Fotografía) <http://mexico.cnn.com/salud/2013/10/21/un-equipo-de-cientificos-logra-advinar-el-pensamiento-de-sus-pacientes> [Imagen]

⁶ Invasiva. Capacidad de ingresar en el cuerpo y acoplarse en los tejidos.

2.8.6.5 Impedancia

“La impedancia es la resistencia que presenta los electrodos al paso de la corriente.” (Alan, Jenny, & David, 2015), existe una impedancia en al realizar el registro con los electrodos, esta impedancia es baja, pero para realizar el registro se debe mantener una resistencia en los electrodos entre 300 a 5000 ohmios⁷ y que no exista una gran diferencia entre los electrodos ya que se podría provocar alteraciones en el registro.

2.8.6.6 Calibración

Una de las fases preliminares antes de realizar el registro, es donde se realiza un pre registro de una señal fija que debe ser la misma para los canales, si existe algún tipo de alteración en la respuesta se debe tener en cuenta esta alteración para interpretar y captar un registro más real. (Alan, Jenny, & David, 2015)

2.8.6.7 Tierra

El denominado concepto tierra está considerando en todo sistema electrico. Dentro de la neurofisiología se refiere a 3 tipos de tierra. Tierra del paciente, tierra del sistema y tierra del planeta. La más importante es la primera, que es la conexión neutra en el paciente, esta equilibra la entrada y salida del amplificador diferencial, un elemento indispensable es el electrodo neutro que puede estar ubicado en diferentes partes del cuerpo como por ejemplo el lóbulo de la oreja como punto de referencia. (Alan, Jenny, & David, 2015)

2.8.7 Montaje EEG

Para realizar el registro de EEG, se debe ubicar los electrodos en el cuero cabelludo, donde se debe ajustar a un sistema de posicionamiento establecido por la Federación Internacional de

⁷ Ohmio es la unidad derivada de resistencia eléctrica

sociedades de Electroencefalografía y Neurofisiología Clínica, convirtiéndose en un sistema de posicionamiento estándar. (Raut y Taywade, 2012, p.78)

El sistema de posicionamiento denominado diez-veinte como se puede ver en la figura 18 está basado en el área cubierta en la parte interna del cráneo la corteza cerebral y la posición que se encuentra el electrodo, se tiene puntos craneales específicos de referencia donde se fijan los electrodos con una determinada denominación con letras y números para su ubicación, se ubican 19 electrodos superficiales y dos electrodos de referencia y cada uno de estos puntos son considerados puntos de registro. (González, 2014, p.12)

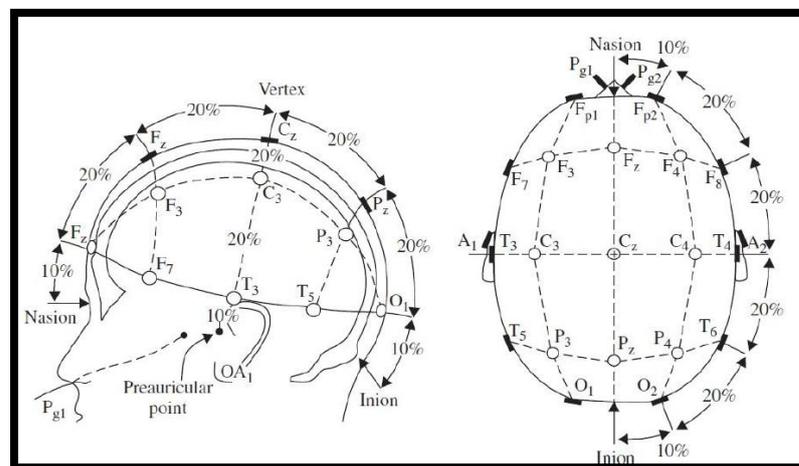


Figura 17. Representación del sistema 10-20

Referencia. Gonzáles J. 2014. Técnicas de toma de datos y análisis de electroencefalografía [Imagen]

La electroencefalografía es una simbolización de forma gráfica de los cambios de potencial, donde los electrodos en cada posición son puntos del registro, debido a esto es necesario un punto de comparación para ello se usa dos terminales una para captar la señal de la fuente del registro y otro como punto de referencia, esto varía dependiendo del número de canales y el propósito del registro, para esto se selecciona entre tres tipos de registros:

2.8.7.1 Registro con montajes bipolares

El registro bipolar corresponde a una diferencia comparativa entre dos electrodos o combinaciones de ellos, siendo estos dos electrodos activos, donde se comparan la señal captada de un electrodo con otro cumpliendo como se ve en la figura 19 donde se ubican dos electrodos, pero esta ubicación de cumple con normas estandarizadas para su montaje y comparación. Existen montajes bipolares anteroposteriores, transversales coronales, con triangulación, etc.

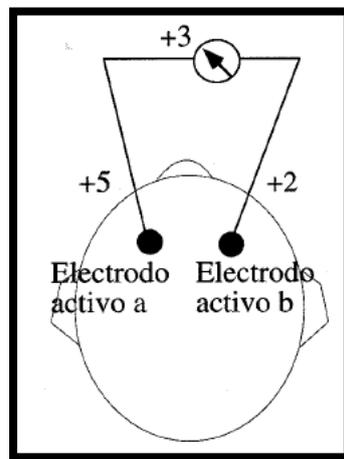


Figura 18. Montaje para un registro bipolar.

Referencia. López-tercero I. 2013. Detección de crisis epilépticas a partir de señales EEG mediante índices basados en el algoritmo de Lempel-Ziv. [Imagen]

2.8.7.2 Registro con montajes monopolares

Registros monopolares o también denominados referenciales, la señal captada en cada electrodo es comparado con un valor común o de referencia, en esta caso es la tierra del paciente, siendo el primero designado como electrodo activo como se ve en la figura 19 y el segundo como electrodo de referencia, este electrodo debe ser posicionado en un potencial cero, pero de manera práctica no existe un potencial con un valor cero, por eso se emplean puntos aproximados como A1 y A2 que se encuentra ubicados en el lóbulo de la oreja. (López-tercero, 2013, p.21)

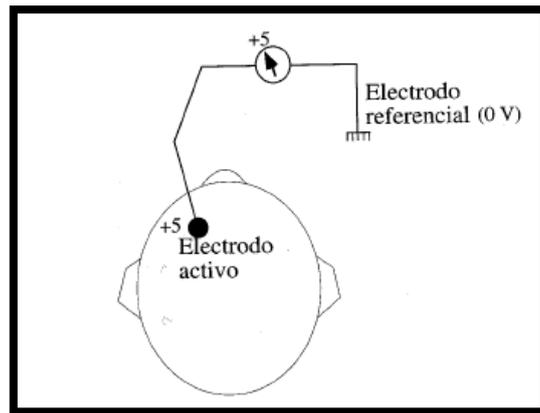


Figura 19. Montaje para registro monopolar

Referencia. López-tercero I. 2013. Detección de crisis epilépticas a partir de señales EEG mediante índices basados en el algoritmo de Lempel-Ziv. [Figura]

2.9 Plataforma de Hardware en código abierta

El hardware libre es un hardware cuyo diseño se pone a disposición del público de modo que cualquiera puede estudiar, modificar, distribuir, hacer y vender el diseño o el hardware que se sustente en dicho diseño... el diseño a partir del cual se construye está disponible en el formato que se prefiera para que se hagan modificaciones en él. Idealmente, el hardware libre utiliza elementos y materiales inmediatamente disponibles, procesos estandarizados, infraestructura abierta, contenido no restringido y herramientas de diseño libres para aumentar al máximo la capacidad de los individuos de hacer y utilizar el hardware. El hardware libre brinda a los individuos la libertad de controlar su tecnología mientras comparten el conocimiento y alientan el comercio a través del intercambio abierto de diseños. (Lazalde, Torres & Vila-Viñas, 2015, p.5)

Tecnología adecuada es la noción que aporta el autor Pearce en su publicación, enfocada en la construcción de un modelo de desarrollo tecnológico, tomando en cuenta determinados aspectos éticos, sociales y económicos. Esta noción engloba un conjunto de elementos, materiales disponibles y similarmente procesos basados en estándares, manteniendo un enfoque en conformar las bases para que cualquier persona tenga las herramientas para el

desarrollo de la tecnología adecuada contribuyendo con conocimiento en nuevas ideas, diseños y análisis para un grupo social orientado a las tecnologías adecuadas. (2014)

2.9.1.1 *Objetivo del hardware libre*

El objetivo principal del hardware libre es proveer y aproximar la electrónica como tecnología actual a las personas pero desde un punto no consumista, cambiando esta perspectiva incluyendo al desarrollo participativo de manera didáctica y fomentando en la creación de nuevas tecnologías, con esto se contempla la posibilidad de saber cómo funcionan los dispositivos electrónicos en base a una manera ética. Tanto el software y hardware libre sean fundamentado como una pieza esencial en el progreso de un mundo informático y electrónico. (Artero, 2013, p.69)

2.9.2 *Arduino*

La definición que le da a Arduino según su sitio oficial <https://www.arduino.cc> “Arduino es una plataforma de prototipos de código abierto basado en hardware fácil de usar y el software.”

Arduino nació a Ivrea Interaction Design Institute como una herramienta fácil para prototipado rápido, dirigido a estudiantes sin experiencia en electrónica y programación. Tan pronto como llegó a una comunidad más amplia, la placa Arduino comenzó a cambiar para adaptarse a las nuevas necesidades y desafíos, diferenciar su oferta de tablas simples de 8 bits a los productos de la IO aplicaciones, la impresión 3D portátil y entornos integrados. Todas las placas Arduino son completamente de código abierto, permitiendo a los usuarios crear de forma independiente y, finalmente, adaptarlos a sus necesidades particulares. El software también es de código abierto, y está creciendo a través de las aportaciones de los usuarios en todo el mundo. (Arduino , 2015)

Según la Free Software Foundation un entorno de hardware libre cumple con cuatro libertades:

- Libertad 0: la libertad de usar el programa con cualquier propósito y en cualquier sistema informático. (Free Software Foundation, 2014)
- Libertad 1: la libertad de estudiar cómo funciona internamente el programa y adaptarlo a las necesidades particulares. El acceso al código fuente es un requisito previo para esto. (Free Software Foundation, 2014)
- Libertad 2: la libertad de distribuir copias. (Free Software Foundation, 2014)
- Libertad 3: la libertad de mejorar el programa y hacer públicas las mejoras a los demás, de modo que toda la comunidad se beneficie. El acceso al código fuente es un requisito previo para esto. (Free Software Foundation, 2014)

El hardware libre también denominado en inglés Open-source⁸ comparte la gran mayoría de los objetivos y métodos del software libre, aportando que los usuarios y diseñadores estudien su funcionamiento, poder modificarlo, reutilizarlo, mejorarlo y generar esta información para compartir en foros abiertos. El diseño del hardware está en archivos CAD⁹ se especifica toda la información de materiales, herramientas y conocimientos para la construcción, las placas Arduino son hardware libre y sus ficheros esquemáticos se encuentran abiertos a cualquier persona, bajo la licencia (Creative Commons Attribution Share-Alike)¹⁰ permitiendo realizar trabajos y publicándolos bajo la misma licencia. (Artero, 2013, p.69)

⁸Open-source. Código abierto es la expresión con la que se conoce al software distribuido y desarrollado libremente. Se focaliza en los beneficios prácticos que en cuestiones éticas o de libertad que tanto se destacan en el software libre.

⁹ Computer-aided design (CAD) es el uso de programas computacionales para crear representaciones gráficas de objetos físicos ya sea en segunda o tercera dimensión (2D o 3D)

¹⁰ Creative Commons es una organización sin ánimo de lucro que fue fundada por Lawrence Lessing, Profesor de Derecho en la Universidad de Stanford, que ofrece modelos de licencias libres que permiten a los autores depositar su obra de forma libre en Internet

2.9.2.1 Lenguaje de programación

“La programación es un gran recurso que nos permite crear diversas secuencias de pasos lógicos que van a satisfacer nuestras necesidades y las de nuestros sistemas” (Tienda de Robótica; Equipo de Cosas de Mecatrónica, 2012, p.33). El lenguaje de programación se lo denomina como un idioma artificial que permite formular operaciones y métodos para que sean ejecutados por un sistema lógico (computadora), está constituido por reglas sintácticas y semánticas definidas por una estructura y el tipo de lenguaje, su estructura varía respecto al tipo de lenguaje en el que trabaja.

2.9.3 Módulos Arduino

Arduino tiene un amplio stock de placas oficiales de trabajo con diferentes características y diseñadas para distintos propósitos, dentro de este documento se presentan algunas de ellas entre las más importantes:

2.9.3.1 Arduino Leonardo

El Arduino Leonardo es una placa electrónica basada en el ATmega32u4 (ficha técnica). Cuenta con 20 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 7 se pueden utilizar como salidas PWM y 12 entradas como analógicas), un 16 MHz oscilador de cristal, una conexión micro USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. (Arduino , 2015)

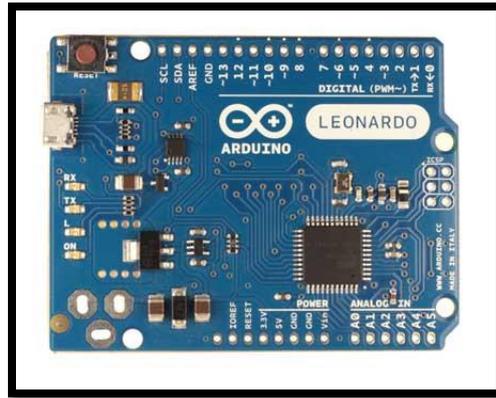


Figura 20. Placa Arduino Leonardo

Referencia: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardLeonardo>[Imagen]

2.9.3.2 Arduino Micro

El Micro es una placa electrónica basada en el ATmega32U4 desarrollado en conjunto con Adafruit. Cuenta con 20 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 7 se pueden utilizar como salidas PWM y 12 entradas como analógicas), un oscilador de 16 MHz cristal, una conexión micro USB, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. (Arduino , 2015)

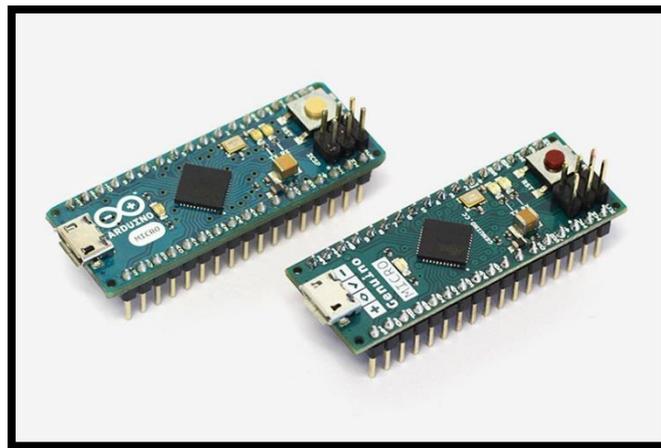


Figura 21. Placa Arduino Micro

Referencia: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMicro>[Imagen]

2.9.3.3 *Arduino Pro Micro*

El Pro Micro es similar al Pro Mini, excepto con un ATmega32U4 a bordo. El transceptor USB dentro del 32U4 nos permite agregar conectividad USB a bordo y acabar con voluminosos interfaz USB externo. Tiene 4 canales de 10-bit ADC, 5 pines PWM, 12 Diods, así como de hardware conexiones serie Rx y Tx. Funcionando a 16MHz y 5V, es una placa de un tamaño reducido. (SparkFun Electronics ®, 2014)

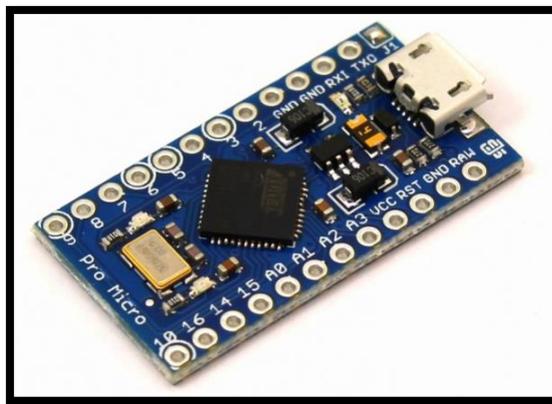


Figura 22. Placa Arduino Pro Micro

Referencia: <http://electronilab.co/tienda/arduino-pro-micro-atmega32u4/>[Imagen]

En el mercado existen un alto número de placas Arduino con distintas características en hardware, para el desarrollo de un proyecto se debe tener en cuenta estas características y ver si cumplen con las requerimientos basados al tipo de aplicación que está orientada y las capacidades de procesamiento, es muy importante determinar la placa para que la implementación sea realizada en base a fundamentos técnicos y parámetros físicos del usuario.

2.10 Investigación sensores EEG

Actualmente los avances tecnológicos en captación electroencefalografía con dispositivos comerciales ha incrementado de manera drástica enfocándose en tres puntos, un menor tamaño

del dispositivo, una mayor tasa de detección de los registros y un menor costo por dispositivo, pero estos avances no solo están en el campo comercial, en una mayor escala se realiza investigaciones militares basadas en este tipo de tecnología como lo presentado en un artículo de la revista *Scientific American* publicado en el 2012 donde existe un monitoreo de su estado mental a los pilotos de combate en determinadas circunstancias, para ver los niveles de concentración y la reacción del cerebro a dichos escenarios, pero esto no solo se centra en el monitoreo, un paso más adelante es el control, se refiere a la capacidad de controlar o manipular un sistema electrónico, con solo la generación de un rango específico de onda. (Scientific American, 2012)

2.10.1 Introducción

Brain Computer Interface (BCI): a menudo se llama una interfaz mente-máquina (MMI), es una vía de comunicación directa entre el cerebro y un dispositivo externo. BCI a menudo se dirigen a ayudar, aumentar, o la reparación de las funciones cognitiva o sensorial-motor humanos. La investigación sobre BCI se inició en la década de 1970 en la Universidad de California en Los Ángeles (UCLA) en virtud de una subvención de la Ciencia Fundación Nacional seguido por un contrato de DARPA. Los artículos publicados después de esta investigación también marcan la primera aparición de la interfaz cerebro-ordenador expresión en la literatura científica. Desde entonces, el campo de la investigación y el desarrollo BCI ha centrado principalmente en neuroprótesis aplicaciones que tienen como objetivo restaurar la audición dañada, la vista y el movimiento. Gracias a la plasticidad cortical notable del cerebro, las señales de las prótesis implantadas pueden, después de la adaptación, ser manejado por el cerebro como canales de sensor o efectoras naturales. Tras años de experimentación animal, los primeros dispositivos neuroprótesis implantados en seres humanos aparecieron a mediados de la década de 1990. (Mostafa & Mohamed, 2011, p.4)

2.10.2 Mindwave mobile

MindWave Mobile es auricular EEG grado de investigación menos cara del mundo disponible. Diseñado para la interfaz con dispositivos móviles (iOS y Android) y de escritorio (Windows y Mac), que se puede utilizar con una amplia variedad de juegos, Braintraining y aplicaciones educativas. Su señal clara de ondas cerebrales se basa en la TGAM, el chipset bio-sensor que revolucionó una industria. Es una excelente introducción al mundo de la interfaz cerebro-ordenador (BCI). MindWave móvil de registra de forma segura medidas y emite los espectros de potencia del EEG (ondas alfa, ondas beta, etc), metros NeuroSky eSense (atención y meditación) y ojo parpadea. El dispositivo consiste en un auricular, una oreja-clip y un brazo sensor. De referencia y de tierra electrodos de los auriculares están en el clip de oreja y el electrodo de EEG está en el brazo del sensor, descansando en la frente sobre el ojo (posición FP1). Se utiliza una sola batería AAA con 8 horas de duración de la batería. (NeuroSky, 2015)



Figura 23. Sensor MindWave móvil

Referencia: <http://store.neurosky.com/products/mindwave-mobile>[Imagen]

2.10.3 Emotiv

Un cerebro revolucionaria interfaz de PC y Científico contextuales EEG que ofrece alta resolución, 14 canales de EEG + 2 referencias. Un sistema EEG inalámbrico para la investigación que permite entretenimiento, estudios de mercado, pruebas de usabilidad y neuroterapia. (Emotiv, 2014)



Figura 24. Sensor Emotiv EPOC

Referencia: <https://emotiv.com/epoc.php>[Imagen]

2.10.4 Muse

Muse: el cerebro de detección diadema es una herramienta de fitness cerebral que mide las señales del cerebro al igual que un monitor de ritmo cardíaco detecta los latidos del corazón. 7 sensores de Muse calibrados finamente - 2 en la frente, 2 detrás de las orejas más 3 sensores de referencia - detectar y medir la actividad de su cerebro. (Muse, 2015)



Figura 25. Sensor Muse

Referencia: http://www.choosemuse.com/wp-content/uploads/2014/10/measure_muse_sensors_noData.jpg
[Imagen]

2.10.5 IFocusBand

El iFocusBand es un dispositivo de entrenamiento cerebral portátil con tres sensores que se colocan en la cabeza para medir su actividad cerebral. El auricular Bioprene y los sensores son tolerantes a la transpiración y los datos medidos se muestran en un móvil para la formación del cerebro sin esfuerzo a un estado más tranquilo de la mente. Algoritmos del FocusBand procesan las señales eléctricas y de audio-visual de traducir su actividad mentes a través de neurofeedback. (FocusBand, 2015)



Figura 26. Sensor iFocusBand

Referencia: <http://www.opl.rescontechologies.com/infoHubPost.php?id=627>

2.10.6 OpenBCI

OpenBCI significa interfaz cerebro-ordenador de código abierto (BCI). La Junta OpenBCI es un microcontrolador bio-sensor versátil y asequible que se puede utilizar para probar la actividad eléctrica del cerebro (EEG), la actividad muscular (EMG), frecuencia cardíaca (EKG), y más. Es compatible con casi cualquier tipo de electrodo y el apoyo de un cada vez mayor, marco de código abierto de herramientas y aplicaciones de procesamiento de señales. (OpenBCI, 2015)

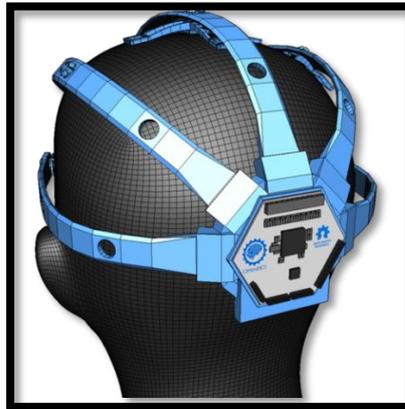


Figura 27. Sensor OpenBCI

Referencia: <http://www.geek.com.mx/2015/11/openbci-desarrolla-computadoras-que-funcionan-con-el-pensamiento/>[Imagen]

2.10.7 Tabla comparativa de sensores EEG

Tabla 2. Tabla comparativa de sensores EEG

Dispositivo	Electrodos	Bits	Sensor	Periférico	SDK	Fabricante	Interfaz/Conexión	Descripción	Costo	Fecha
Mindwave Mobile	1	12	2 estados mentales basado en 4 ondas cerebrales	Si	Si	NeuroSky	Bluetooth 4.0	-	130\$	2011
EmotivPOC	14	16	3 estados mentales 13 pensamientos conscientes, expresiones faciales, movimientos de cabeza	Si	Si	Emotiv Systems	Bluetooth 4.0	-	499\$	2009
Muse	4	16	7 sensores; 5 frontal (2 activa, 2 DRL, 1 de referencia), 2 activa detrás de las oreja	-	Si	InteraXon	Bluetooth	Viene con aplicación de entrenamiento cerebral diseñado para reducir el estrés y	299\$	2014

								mejorar el enfoque.			
iFocusBand	1	-	8 estados mentales, la tensión facial movimiento de los ojos	Si	Si	iFocusBand	Bluetooth	Sensores tejidos blandos, comentarios de audio.	de	310\$	2014
OpenBCI	8~16	24		Si	Si	Proyecto OpenBCI	Bluetooth 4.0	Proyecto de hardware abierto. Juntas se pueden conectar en cadena juntos para aumentar el conteo de electrodo.	de	800\$	2014

Referencia: basado en <https://emotiv.com/epoc.php>, <http://openbci.com/>, <http://www.ifocusband.com/>, <http://store.neurosky.com/products/mindwave-mobile>, <http://www.choosemuse.c>

2.11 Estándar IEEE 802.15.1 “Bluetooth”

“Bluetooth es una especificación industrial para (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia.” (Alvaro, 2012, p.3)

2.11.1 Aspectos básicos

Cada dispositivo debería estar equipado con un microchip, llamado transceptor¹¹, que transmite y recibe en la frecuencia de 2.4 GHz, disponible en todo el mundo (con algunas variaciones de ancho de banda en diferentes países. Además de los datos, están disponibles tres canales de voz. Cada dispositivo tiene una dirección única de 48 bits basado en el estándar IEEE 802.15.1. Gracias a este protocolo, los dispositivos que lo implementan pueden comunicarse entre ellos cuando se encuentran dentro de su alcance. Debido a la naturaleza de las transmisiones, los dispositivos no tienen que estar alineados y pueden incluso estar en habitaciones separadas si la potencia de transmisión lo permite. Estos dispositivos se clasifican como Clase uno, Clase dos o Clase tres en referencia a su potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles los dispositivos de una clase con los de las otras. En la mayoría de los casos, los dispositivos no son de la misma clase. El receptor, por ejemplo un PC, será de clase uno, mientras que el emisor, un smartphone, pertenecerá a la clase tres. De esta manera, la mayor sensibilidad y potencia de transmisión del dispositivo de clase uno permite que la señal llegue con energía suficiente hasta el de clase tres. Además, la mayor sensibilidad del dispositivo de clase 1 reconocerla la señal del dispositivo de clase 3 aunque sea débil. (Alvaro, 2012, p.4)

¹¹ Transceptor= es un dispositivo que cuenta con un transmisor y un receptor que comparten parte de la circuitería o se encuentran dentro del mismo recipiente

Especificaciones técnicas del Bluetooth

- Banda de Frecuencia: 2,4 GHz (Banda ISM¹²).
- Potencia del transmisor: entre 1 y 100 mW, típica de 2,5 miliwatios.
- Canales máximos: hasta 3 de voz y 7 de datos por piconet¹³.
- Velocidad de datos: hasta 720 kbit/s por piconet.
- Rango esperado del sistema: hasta 100 metros.
- Numero de dispositivos: 8 por piconet y hasta 10 piconets.
- Tamaño del Módulo: 0,5 pulgadas cuadradas (9x9 mm).
- Interferencia: Bluetooth minimiza la interferencia potencial al emplear saltos rápidos en frecuencia =1.600 veces por segundo.

2.11.2 Estándar

El estándar bluetooth ha mantenido una evolución progresiva pasando por las siguientes versiones:

2.11.2.1 Bluetooth v2.0

“La versión 2.0 tiene mejor funcionalidad a la hora de la unión con varios dispositivos y mejora el consumo de energía. Los dispositivos con 2.0 + EDR disfrutan de caudales de hasta 3Mbit/s.”

(Alvaro, 2012, p.10)

¹² ISM= son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica.

¹³ Piconet= es una red informática cuyos nodos se conectan utilizando Bluetooth

2.11.2.2 Bluetooth v2.1

“Bluetooth 2.1 facilita la conexión bajando el número de procesos durante el proceso de unión. Reduce aún más el consumo de energía” (Alvaro, 2012, p.11)

2.11.3 Picoredes WPAN bluetooth

“Una picored es una WPAN formada por dispositivos Bluetooth que sirven como maestros en la picored y uno o más dispositivos Bluetooth que sirven de esclavos”. Usan un canal de frequency-hopping establecido mediante la dirección del maestro. Cada uno de los elementos de la red se sincroniza al canal frequency-hopping y los dispositivos que se comportan como esclavos son comunicados con el maestro a través de una estructura punto a punto. (Archundia Papacetzzi, 2003, p.7)

2.11.3.1 Topología punto a punto

Los enlaces punto a punto son un elemento estándar de la infraestructura inalámbrica. A nivel de topología estos pueden ser parte de una topología de estrella, en una simple línea entre dos puntos u otra topología. Un enlace punto a punto puede establecerse en modo ad hoc o infraestructura. (Buettrich & Escudero Pascual, 2007)

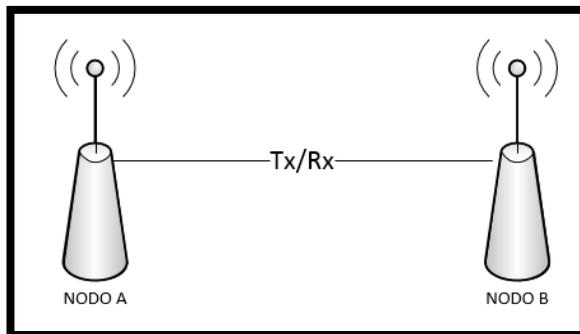


Figura 28. Infraestructura de enlace punto a punto

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Figura]

2.11.4 Estructura del paquete de datos

La información es transmitida en la red por medio de paquetes, el formato del paquete se muestra en la figura 35 está constituido por tres partes código de acceso, encabezado, datos útiles.



Figura 29. Formato del paquete

Referencia: Archundia Papacetz F. 2003, *Wireless Personal Area Network (WPAN) & Home Networking* [Figura]

2.11.4.1 Código de acceso

Cada paquete tiene un código de acceso y es el que identifica a todos los paquetes de intercambio dentro de la piconet. (Archundia Papacetzzi, 2003, p.25)

2.11.4.2 Encabezado

Dentro del encabezado se encuentra la información del link de control. (Archundia Papacetzzi, 2003, p.29)

2.11.4.3 Datos útiles

Los datos útiles son la información transmitida puede tener un tamaño máximo de 2745 bits. (Archundia Papacetzzi, 2003, p.25)

2.12 Iluminación

La iluminación es un eje crucial en el desarrollo de las actividades académicas cumpliendo con condiciones adecuadas para el confort visual de manera productiva y segura, por ese motivo se debe enfocar en cumplir con el diseño óptimo que cubra estos requerimientos. Un aspecto crítico de la visión aparece cuando es preciso observar pequeños detalles al momento de realizar alguna determinada tarea como la lectura o escritura dentro de un bajo nivel de iluminación teniendo como consecuencia el incremento de errores, la fatiga visual y mental.

En la capacidad del ojo humano para distinguir los detalles denominada agudeza visual influyen significativamente el tamaño de la tarea, el contraste y el rendimiento visual del observador. El aumento de la cantidad y calidad de la iluminación también mejorará significativamente el rendimiento visual (Farrás, p.16)

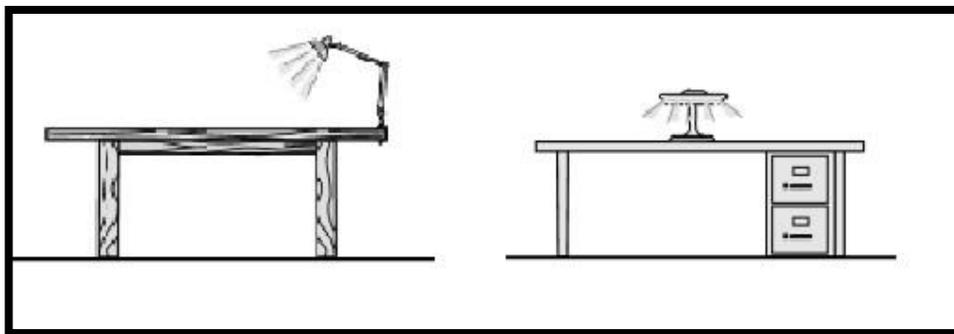


Figura 30. Iluminación Local

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez basado en Farrás J. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo [Figura]

Los sistemas de iluminación locales como se observan en la figura 36 proporcionan iluminancia para áreas relativamente pequeñas que incorporan tareas visuales. Normalmente, estos sistemas se complementan con un nivel especificado de iluminación general. Cuando hay que realizar tareas visuales, es esencial alcanzar el nivel exigido de iluminancia y estudiar las circunstancias que afectan a su calidad (Farrás)

“Los requisitos visuales deben ser estudiados en función de las tareas que se vayan a realizar, ya que pueden variar significativamente de unas a otras.” (Dirección General de Industria Energía y Minas, 2006)

2.12.1 Norma Europea UNE-EN 12464-1 de iluminación para áreas de trabajo

La Norma Europea UNE-EN 12464-1, respecto a la iluminación de los lugares de trabajo en interior, define los parámetros recomendados para los distintos tipos de áreas, tareas y actividades. Las recomendaciones de esta norma, en términos de cantidad y calidad del alumbrado, contribuyen a diseñar sistemas de iluminación que cumplen las condiciones de calidad y confort visual, y permite crear ambientes agradables para los usuarios de las instalaciones. La siguiente tabla

muestra los parámetros recomendados por la norma para edificios educativos y hogares. (Dirección General de Industria Energía y Minas, 2006)

Tabla 3. Tabla de parámetros recomendados para iluminación de edificios educativos y hogares

Lugar o actividad	Iluminancia mantenida(lux)	Temperatura de color	Observaciones
Aulas, Aulas de tutoría	300	Fría-Neutra	La iluminación debería ser controlable
Aulas para clases nocturnas	500	Fría-Agradable	La iluminación debería ser controlable
Sala de lectura	500	Fría-Agradable	La iluminación debería ser controlable
Aulas de prácticas de informática	300	Fría-Neutra	-
Área de trabajo académico (Hogar)	500-750	Fría-Estimulante	La iluminación debería ser controlable

Referencia: elaborado por Marco Jimenez basado en guía técnica de iluminación eficiente

3 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

3.1 Interfaz cerebro-dispositivo electrónico

Los métodos para la interacción entre el ser humano con el entorno que lo rodea es una parte crucial para su desarrollo social y cognitivo, esta interacción puede ser de manera visual o táctil y en base a esto se ha desarrollado herramientas con la capacidad de mejorar esta relación del ser humano con su ambiente, para el uso de dichas herramientas se debe cumplir con requerimientos dependiendo de la actividad que a realizarse, los cuales pueden ser definidos como habilidades en mayor parte psicomotoras donde existe una acción humana, para ejemplificar de manera sencilla se toma un acción común de realizar como el encender una iluminaria, cumpliendo con un proceso desde la generación de la necesidad del encendido, pasando por la realización del movimiento físico para la activación y terminando con la respuesta en forma lumínica. Este proceso es una acción común de realizarse por parte de un ser humano, pero el cual debe cumplir con los requerimientos que esta acción lo demanda, debido a la restricción de determinadas habilidades en el caso de funciones motoras con la ausencia de movimiento parcial o total que cierto grupo social padece, genera una complejidad en la referenciada actividad. (Rojas, Garzón, Martínez, Escobar & Robayo, 2012, p. 2)

El uso de una interfaz cerebro-dispositivo nace de las necesidades ya presentes como una alternativa de nexos entre el uso del dispositivo y personas con capacidades motoras limitadas, el método en que la interfaz interconecte a la persona con el dispositivo es mediante la captación de las ondas cerebrales y la transmisión de la información captada al dispositivo para su ejecución.

3.2 Aspectos básicos de diseño basado en el estándar IEEE 29148

3.2.1 Propósito del sistema

La Implementación de un sistema electrónico de iluminación para el encendido y apagado de una lámpara de escritorio mediante la interacción entre el dispositivo y las señales cerebrales para Mónica Escobar.

3.2.2 Descripción General del producto

3.2.2.1 Perspectiva del diseño

El sistema en general está compuesto por dos etapas, la Interfaz Usuario (IU) y el Centro de Procesamiento (CPD) en el cual consta las interfaces de comunicación y de alimentación, la etapa de la IU consta de un solo dispositivo capaz de censar los potenciales corticales del cerebro basado en la técnica electroencefalografía EEG, dentro del capítulo anterior se encuentra la tabla comparativa de los tipos de sensores EEG que existen en el mercado, tomando como referencia se ha determinado que para la IU se utilice el sensor Mindwave Mobile que cumple con los requerimientos técnicos en el diseño del sistema.

El Centro de Procesamiento consta de dos interfaces, la primera es la encargada de comunicar inalámbricamente los dos dispositivos, la segunda cubre con los requerimientos de energía para el funcionamiento del mismo, además centraliza los datos obtenidos del IU y los procesa para determinar la acción a realizar por el actuador lumínico, para esta tarea se usa un entorno de programación Open Source, la placa Arduino Pro cubre con los requerimientos expuestos tanto de procesamiento y aplicación de los elementos electrónicos que demanda el sistema, también su tamaño reducido y el bajo consumo de corriente aportan al diseño, se implemente de manera minimalista pero ofertando un uso intuitivo al usuario.

Un punto a destacar es el aspecto de la interfaz de comunicación que otorga al usuario el no tener que usar molestos cables para conectar al IU con el CPD, se basa en el estándar IEEE 802.15.1 entre un módulo bluetooth Bluesmirf RN-42 y el sensor Mindwave Mobile.

Dentro de los segmentos que conforman el sistema de iluminación que funciona en base a las siguientes limitaciones.

3.2.2.1.1 Interfaces del sistema

El sistema de iluminación cuenta con las siguientes interfaces:

- Interfaz de comunicación
- Interfaz de procesamiento de datos
- Interfaz Usuario

3.2.2.1.2 Interfaz del Usuario

Para el usuario la comunicación con el sistema está basada en la interfaz de censado la cual se determinó en base a la investigación de los dispositivos que ofrece el mercado, en la tabla 4 se puede ver la comparativa de los distintos dispositivos, en la elección del sensor EEG se busca que cubra con los aspectos técnicos requeridos para el desarrollo del sistema, Mindwave Mobile satisface los aspectos técnicos, cuenta con un electrodo electrocortical ubicado en la zona Fp1 para el registro de las ondas cerebrales, tiene un amplificador operacional para la etapa de aplicación del potencial, utiliza un módulo TGAM1, cuenta con comunicación inalámbrica basada en el estándar Bluetooth v2.1 con un alcance de 10 metros ideal para la distancia de comunicación del usuario, tiene un procesamiento de salida en dos canales basado en eSense (atención y meditación), cuenta con análisis en la calidad de la señal para la verificación de un mal contacto entre el

sensor y la piel del usuario. Su peso es de 90g siendo casi imperceptible al usuario al momento de energía, por estas razones el dispositivo es considerado el adecuado para la implementación del sistema.

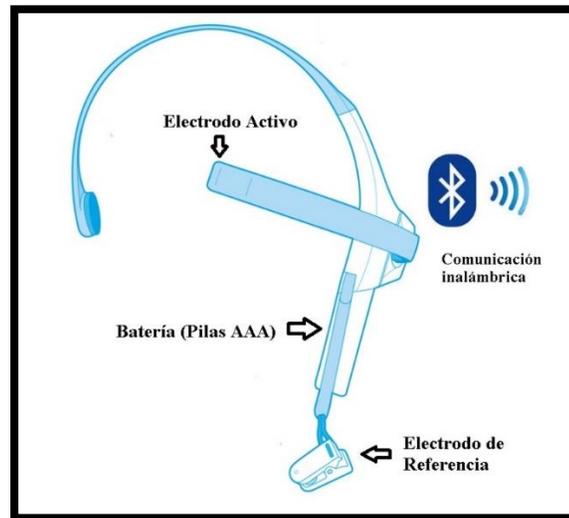


Figura 31. Partes del sensor Mindwave Mobile

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez, Fuente para la realización www.neurosky.com[Figura]

3.2.2.1.3 Interfaz de hardware

El sistema está segmentado en dos partes: la Interfaz Usuario (IU) y el Centro de Procesamiento de Datos (CPD), este segundo está compuesto por una etapa de comunicación y de alimentación.

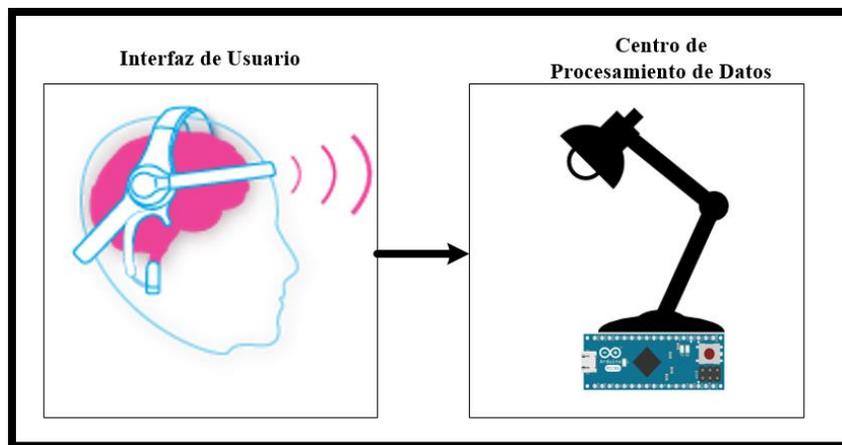


Figura 32. Interfaces del sistema.

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Figura]

En el CPD está constituido por tres etapas

3.2.2.2 Función del sistema

La función del sistema es el control del encendido y apagado de una iluminara, no obstante se ramifica a otras funciones como la percepción visual de los registros de potencial en tiempo real mediante la barra de estado y el monitoreo constante de las señales cerebrales.

3.2.2.3 Características del usuario

El sistema está enfocado específicamente para Mónica Escobar, quien padece de una restricción de las capacidades físico-motriz denominado reducción de extremidades superiores dentro del marco de características generales del usuario para su uso, son definidas por la ejecución de una investigación visual y un test para la recopilación de información por parte del usuario de sus posibilidades físicas, los resultados obtenidos mediante estos dos métodos son cruciales en el desarrollo del diseño del sistema, se establece cuatro puntos importantes que abarquen las características del usuario como son:

- Funciones físicas del usuario
- Funciones mentales y cognitivas
- Experiencia de uso en tecnologías semejantes
- La capacidad de cambio en sus actividades

En base a la investigación visual se obtuvo de manera general que el usuario tiene un adiestramiento en el uso de sus miembros inferiores con los cuales realiza las actividades, que debido a un mal congénito no posee los miembros superiores, sus funciones visuales y cognitivas son normales y posee una gran capacidad adaptativa al medio que lo rodea.

3.2.2.4 Características del espacio de trabajo

El área de estudio y las formas o ubicaciones en las cuales desarrolla sus actividades Mónica Escobar fueron tomadas en cuenta en el diseño del sistema electrónico de iluminación (on-off), en la figura se puede ver un esquema conjeturado de como Mónica Escobar se posiciona en sus actividades y se analizó el área de trabajo que en base a la Norma Europea UNE-EN 12464-1, de iluminación para edificios educativos y hogares, en la realización de actividades de carácter académico, lectura y uso dispositivos (computadora), se comprobó que el área no cumple con los estipulado en la norma, mediante la mediación de la intensidad de la luz con un luxómetro, arrojando un valor entre 60~150 lux con el uso de la luz artificial que ofrece su lugar de estudio, en el anexo – se verifica el censado de la luminosidad.

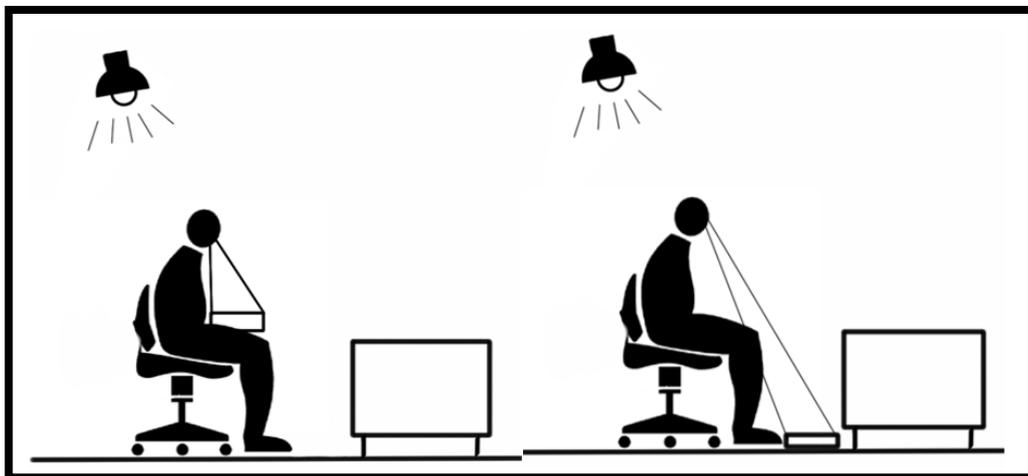


Figura 33. Esquema conjeturando el posicionamiento para realizar actividades con el área de visualización

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Figura]

Al realizar la socialización con Monica Escobar se encontró que el esquema diseñado no estaba de acuerdo a lo interpretado, siendo que el área de trabajo era en un sitio no adecuado pero en el cual Mónica realizaba con mayor comodidad sus actividades académicas en el hogar esta ubicación aún más le provoca el moverse de su área para encender la iluminación artificial con la que cuenta la habitación, con este provocando un mayor esfuerzo.

En la figura 40^a se presenta un esquema real de como Mónica Escobar realiza sus actividades, en la figura 40^b esta una evidencia grafica de como Mónica se ubica y contrasta con el esquema ya diseñado.



a. b.
 Figura 34. a. Diseño esquemático de la posición del usuario en su área de trabajo b. Fotografía de Mónica Escobar como realiza sus actividades.
 Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

3.2.2.5 Limitaciones

El sistemas se encuentra delimitado por aspectos técnicos, el consumo de energía del sistemas es estático refiriéndose a que se necesita una conexión continua para la alimentación de energía, la distancia entre el sensor EEG y el centro de procesamiento de las señales es limitada al alcance ofrecido por el estándar de comunicación IEEE 802.11.15, el nivel de interferencia que el usuario genera puede en cierta medida afectar con el registro del sensor, dentro del aspecto cognitivo diferentes estados fisiológicos y cognitivos alteran de manera gradual al correcto funcionamiento del sistema, al momento de la colocación del sensor el usuario debe ser asistido por otra persona para colocarse el sensor esto limita a la autonomía total en el uso del sistema las limitaciones funcionales del sistema restringen al usuario a ciertas actividades, pero como se lo ha desarrollado

en base de los requerimientos de Mónica Escobar se notifica las limitaciones para el funcionamiento correcto del sistema.

3.2.3 Requerimientos del sistema

El sistema de control presenta tres requerimientos en la entrada y 2 requerimientos en la salida.

Tabla 4. Requerimiento del sistema

Función	Descripción	Tipo
Entrada (estímulo)	Suministro de energía	Batería(IU)
		Corriente alterna (CPD)
	Comunicación inalámbrica	
	Captación del registro EEG	
Salida (respuesta)	Respuesta visual luz artificial	
	Estados de conmutación del registro EEG	

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

El requerimiento en la entrada del sistema es el suministro de energía, está dividido en dos etapas como se observa en la tabla 7 en la alimentación de energía para IU se usa pilas AAA de litio con una tensión nominal de 1,5V y una capacidad entre 900 a 1155 mA según el fabricante, en la segunda etapa la energía para el CPD es alimentado por la corriente eléctrica con una tensión de 110V y una frecuencia de 60Hz alterna obtenida en cualquier fuente (tomacorriente/enchufe) para poner en unión eléctrica la tensión de la red eléctrica con el sistema receptor.

El requerimiento de comunicación inalámbrica está basado en el estándar IEEE 802.15.1 “Bluetooth”, la comunicación entre el IU y CPD es de manera constante y fundamenta en la distancia que el estándar presenta para la correcta comunicación, este requerimiento se debe tomar en cuenta al momento de la movilización y alejamiento entre el IU y el CPD, una facilidad técnica que se le ofrece al usuario es la capacidad de no estar ligado a ningún medio de propagación físico

(cables), cabe recalcar que el sistema es basado para el uso en espacios cerrados y a cortas distancias.

El requerimiento de captación del registro EEG, se lo presenta por el sensor EEG para el registro del potencial cortical, el cual pasa por la etapa de amplificación de los datos y la conversión análoga-digital y terminando en él envío de los registros, para el censado de las señales se usa un registro con montajes monopolares con un electrodo activo y un electrodo referencial los cuales están ubicados de acuerdo al sistema de posicionamiento, como requerimiento del sistema estos electrodos deben estar correctamente ubicados sin ningún tipo de obstrucción y en contacto directo con la piel, el electrodo activo debe estar ubicado en la posición Fp1 y el electrodo de referencia en la posición A1 como se puede ver en la figura

En los requerimientos de salida se tiene como respuesta del sistema al usuario el resultado principal la visualización del encendido y apagado de la luz artificial como indicador que el sistema cumple con el propósito funcional

3.2.4 Sensor de registro de las señales cerebrales EEG concentración meditación

Para el uso del sensor EEG se determinó características técnicas y de uso, que cumple con las funciones básicas, cubriendo con los requerimientos previamente establecidos para el sistema, la funcionalidad principal incorpora la captación del registro de señales electrocorticales mediante dos electrodos, la transmisión de la información del registro está basado en tecnología inalámbrica bluetooth, el bajo consumo de energía y la compatibilidad para el desarrollo con sistemas de entorno Open Source, por estas principales razones dentro del mercado de ofertas de este tipo de sensor se encuentra el desarrollado por la empresa NeuroSky Inc. denominado MindWave Mobile en la tabla 4 se observa las características que presenta el sensor siendo la interfaz de usuario

captadora del registro EEG que cumple con los requerimientos y la adecuada para el desarrollo del sistema.



Figura 35. Mindwave Mobile

Referencia: <http://store.neurosky.com/products/mindwave-mobile>[Figura]

3.2.4.1 Nombre de la pieza

MindWave Mobile EEG Headset

3.2.4.2 Descripción del objeto:

Sensor tipo diadema-auricular para la captación de registros electrocorticales, con 2 electrodos ubicados en la zona Fp1 y A1, tiene un diseño ergonómico con una brazo tipo manilla adaptable a distintos tamaños, fabricado en un material liviano y resistente con un peso de 90g, tiene una comunicación Bluetooth versión 2.1 con una potencia de salida clase 2, en un a tasa de baudios de 57600, con un rango de 15m de distancia, usa una fuente de alimentación eléctrica tipo batería pila

AAA y la tecnología de captación y conversión mediante NeuroSky eSense para atención y meditación usando el módulo TGAM1

3.2.4.3 Rango valido de tolerancia

El sensor EEG cuenta con el módulo TGAM1 bio-sensor que provee un rango de tolerancia de error del 8% debido a la tecnología de registro y a la etapa de amplificación de potencial.

3.2.4.4 Unidades de medida

Las señales cerebrales están medidas en Hz, estas señales están definidas por un rango específico para cada onda, para la funcionalidad del sistema, la onda beta está en un rango entre los 14 a 30 Hz y la onda alfa esta en los rangos de 6 a 13 Hz.

3.2.4.5 Relación con entrada/salida

Contiene una relación directa con el módulo de comunicación inalámbrico bajo la tecnología IEEE 802.15.1, realiza la transmisión del registro hacia el modulo bluetooth BlueSMiRF RN-42.

3.2.4.6 Formatos de datos

Los datos del registro son de manera digital basado en una escala para su medición y procesamiento, los datos son transmitidos en el Payload dentro del paquete de la comunicación inalámbrica.

3.2.5 Placa de procesamiento Arduino Micro

Dentro del mercado la gran oferta de placas con entorno Open Source es muy variada y están diseñadas para un número ilimitado de aplicaciones, según sus características tanto físicas y técnicas, son diferenciadas una de otra y definidas para distintos tipos de proyectos adaptándose a

los requerimientos de diseño como se observa en la tabla 3 donde se compara entre algunas de la placas, así permitiendo elegir la placa más adecuada para el desarrollo del diseño cubriendo con los requerimientos del sistema.

La placa Arduino Micro se convierte en el cerebro del CPD siendo un elemento crucial dentro del sistema donde se ejecuta el programa de instrucciones para realizar la funcionalidad del sistema, la adaptabilidad de esta placa al sistema es amplia debido a que provee de la interconexión entre las interfaces del sistema, realiza el procesamiento de los datos obtenidos, guarda esta información y la traduce en una acción casi inmediata, tiene un tamaño reducido pero no afecta en sus capacidad técnicas, tiene 20 pines los necesarios para la comunicación con los demás elementos del CPD.

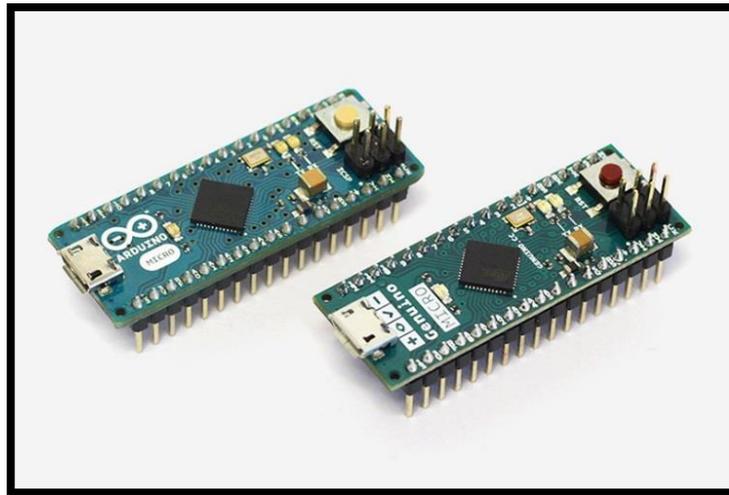


Figura 36. Placa Arduino Micro

Referencia: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMicro>[Imagen]

3.2.5.1 Nombre de la interfaz

Placa Arduino Micro

3.2.5.2 Descripción del objeto

La placa Arduino es una variante de la placa Arduino Leonardo, tiene un tamaño de 48x18mm pero manteniendo las mismas características técnicas, tiene un microcontrolador ATmega 32u4, un oscilador de 16 MHz, tiene un conector micro-USB y un puerto serial COM port en la fase de comunicación, cuenta con 20 pines entrada/salida digitales entre los cuales 7 son PWM y 12 como entradas analógicas de 10 bits, el voltaje de alimentación de 5 a 12 voltios

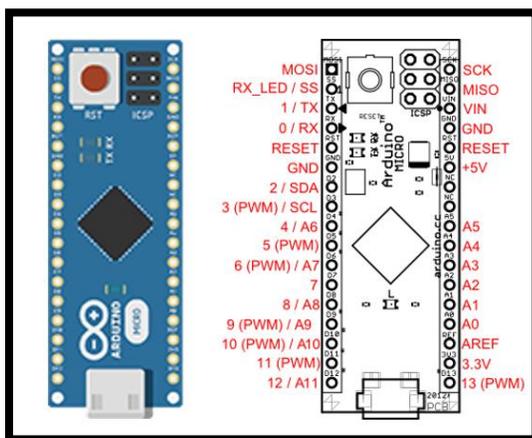


Figura 37. Diagrama de Pines de la placa Arduino Micro

Referencia: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMicro>[Figura]

3.2.5.3 Rango valido de tolerancia/temperatura

La placa puede operar en un rango de temperatura entre -40 a +85 °C

3.2.5.4 Unidades de medida

La placa Arduino Micro soporta una lectura por pin de 5v entre 0 a 1024 unidades que se convierten en 0,0049 v por unidad, los suficientes para el procesamiento de los datos del sistema.

3.2.5.5 Relación con entrada salida

La placa Arduino Pro interconecta la interfaz de comunicación (Módulo BlueSMiRF RN-42) mediante el puerto serial COM port con la IU, permitiendo la interrelación entre las interfaces del sistema.

3.2.5.6 Formato de datos:

El procesamiento de los datos dentro de la placa está basado en un lenguaje de programación de alto nivel Processing.

3.2.6 Bluetooth Modem - BlueSMiRF SilverRN-42

Para la elección de la interfaz de comunicación inalámbrica se fundamentó en buscar un módulo se adapte e interconecte con la IU, dentro del mercado existen muchas variantes en este tipo de módulos de comunicación bajo el estándar IEEE 802.15.1, pero fue elegido el módulo Bluetooth BlueSMiRF RN-42 de bajo consumo clase 2, debido a que es una solución de embebida compatible con la IU, entre sus ventajas tiene un certificado FCC¹⁴ y Bluetooth SIG¹⁵, un bajo consumo de energía, soporta la tasa de baudios requeridas de 57600, entre algunas de sus

¹⁴ Certificado FCC: La FCC (Comisión Federal de Comunicaciones) se encarga de regular todas las comunicaciones, los equipos deben cumplir con los requerimientos de la FCC, como la "Parte 15", en la cual el equipo "puede recibir interferencia, pero no debe causar interferencia". Los equipos que cumplen con estos requisitos, cumplen con la certificación.

¹⁵ Bluetooth SIG: Bluetooth Special Interest Group (SIG), una asociación comercial formada por líderes en telecomunicación, informática e industrias de red, está conduciendo el desarrollo de la tecnología inalámbrica Bluetooth y llevándola al mercado.

características es su precio no mayor a los 40 dólares, convirtiéndolo en una solución viable para la conexión



Figura 38. Bluetooth Modem - BlueSMiRF SilverRN-42

Referencia: <https://www.sparkfun.com/products/12577>[Imagen]

3.2.6.1 Nombre de la interfaz

Bluetooth Modem - BlueSMiRF SilverRN-42

3.2.6.2 Descripción del objeto

Módulo de comunicación inalámbrica basado en el estándar IEEE 802.15.1, con un tamaño de 51.5x15.8x5.6mm, la tasa de velocidad de transferencia entre 9600 a 115200 baudios, con un alcance aproximado de 10 a 20 m con línea de vista, tiene una antena tipo chip, conexión con datos UART y USB, consumo de corriente en recepción de 25mA, el voltaje de alimentación que soporta de 3.3 a 5 v

3.2.6.3 *Rango valido de tolerancia/temperatura*

El modulo puede operar en un rango de temperatura entre -40 ~ +70 °C

3.2.6.4 *Unidades de medida y formato de los datos*

Debido a que el modulo está basado en el estándar IEEE 802.15.1 el formato para la comunicación son los paquetes, soportando una tasa de trasmisión de hasta 3 Mbps.

3.2.6.5 *Relación con entrada salida*

El módulo BlueSMiRF SilverRN-42 es la interfaz de comunicación inalámbrica entre la IU y CPD.

3.2.7 *Módulo sensor de luz con fotodiodo*

El modulo sensor de luz es un componente importante dentro del diseño del sistema debido a que otorga al CPD la capacidad de verificar si el actuador lumínico está activo o inactivo, con esto se provee al sistema que controle y condicione si el usuario a alcanzado el evento para determinada acción y esta pueda ser realizada, como ejemplo es que el actuador permanezca en estado activo y siga alcanzando el evento C que desencadena el activar el actuador, por tal motivo estaría en un estado intermitente de encenderse y apagarse, para ello se condiciona esta acción con el pre-censado de la luminosidad, cumpliendo con el requerimiento que el usuario y el sistema entiendan cuando está activo y cuando no, este módulo cumple totalmente con su funcionamiento debido a que es regulable la intensidad de luz a ser censada su direccionalidad es mayor comparada con la fotoresistencia y que aporta con la salida de los datos de manera digital.

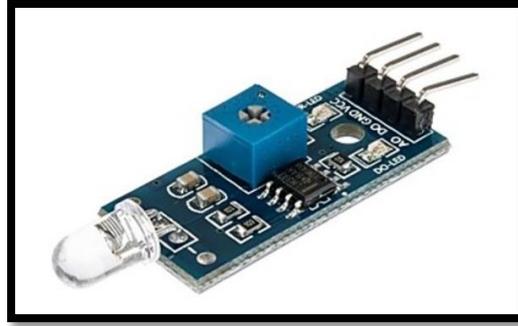


Figura 39. Módulo Sensor de luz con fotodiodo

Referencia: http://es.aliexpress.com/store/product/Pushon-4pin-Sensitive-Photodiode-Module-Light-Brightness-Detect-Photosensitive-Sensor/1627659_32329301920.html[Imagen]

3.2.7.1 Nombre de la interfaz

Módulo sensor de luz con fotodiodo

3.2.7.2 Descripción del objeto

Modulo sensor de luminosidad con fotodiodo con un tamaño de 13x33x1.9 mm detecta la luz, tiene un regulador mecánico ajustable, su voltaje de funcionamiento de 3.3 a 5 v, cuenta con dos pines de salida el A0 que emite una salida analógica en un voltaje referencial y el pin D0 que emite una salida digital.

3.2.7.3 Rango valido de tolerancia/temperatura

El modulo puede operar en un rango de temperatura entre -40 ~ +90 °C

3.2.7.4 Unidades de medida y formatos de datos

El módulo sensor tiene como salida dos tipos de datos en el pin A0 los datos son de tipo analógico voltaje con una escala referencial de 5V en el máximo y de 0V en el mínimo, de igual

manera en el pin D0 los datos de salida son de tipo digital con el formato de 0/1 siendo el 0 el valor mínimo y 1 el valor máximo.

3.3 Funcionalidad del sistema

Las acciones fundamentales que el sistema usa están constituidas por el diagrama de funcionalidad en la figura 44, se muestra el diagrama una representación gráfica del concepto como el sistema ejecuta el evento para una determinada acción, las relaciones estructurales entre entradas y salidas.

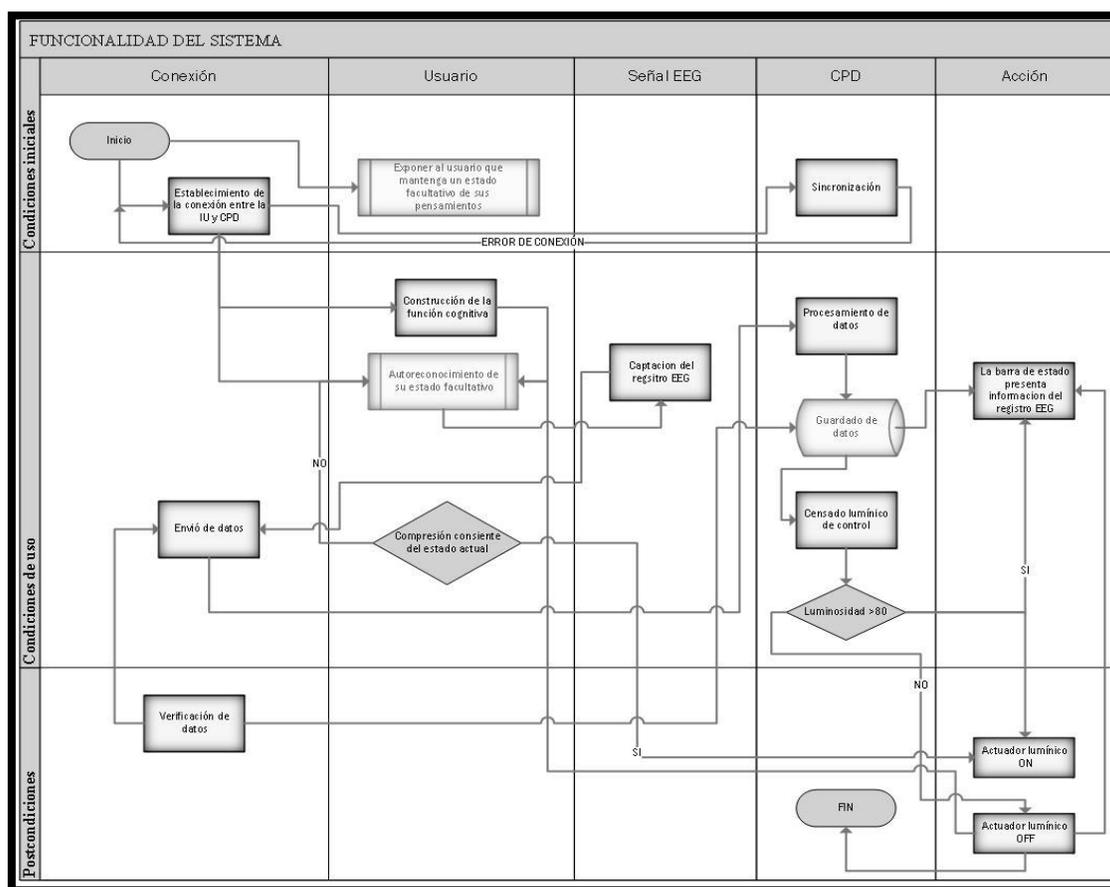


Figura 40. Diagrama de funcionalidad del sistema electrónico de iluminación (on-off)

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

Para la generación del algoritmo se analizaron las condiciones de las funciones cognitivas que proceden a relacionarse con el evento C que desencadene activar el actuador o el evento M contrario inactivando el actuador, estableciendo una estructura básica con un elemento que identifique el usuario de manera visual como se captan sus registros EEG y le permita tener conciencia de sus construcciones cognitivas dando la posibilidad al control del sistema.

La funcionalidad del sistema se la estableció con 3 etapas: condiciones iniciales, condiciones de uso y Postcondiciones que delimitan al sistema el comportamiento según los elementos que los integran y su participación dentro del funcionamiento del mismo. Conforme cada suceso se desencadena, deslinda al siguiente como se puede ver en la figura el diagrama de funcionamiento explica la dependencia entre cada uno y su conexión, interiormente en las condiciones iniciales es el establecimiento de la conexión entre el IU y CPD, indicar al usuario mantener una estado facultativo y controlado de sus pensamientos y por último el sincronismo que se efectúa entre el IU y las ondas cerebrales como primera fase, en la segunda fase se toma aspectos críticos de cada elemento; en la fase de Condiciones de Uso se ubica como el usuario debe depender y efectuar según como el funcionamiento está siendo ejecutado, para el elemento conexión procede a él envió de datos, el centro de procesamiento de datos efectúa una amplia gama de tareas de respuesta y acción al relacionarse con el usuario y por ultimo las acciones que son provocadas por todo este proceso; finalizando la fase de postcondiciones puede ser una etapa no sugestiva pero que prevalece enfocada en dos elementos importantes que es la conexión y la acción siendo en la primera verificar los datos de envió y la segunda la respuesta visible por el usuario percibiendo el encendido y apagado del actuador lumínico que es el resultado final de todo el proceso en conjunto.

3.4 Diagrama de bloques del sistema

El diagrama de bloques demuestra de manera gráfica los elementos fundamentales dentro del diseño, las dos etapas que conforman al sistema completo, están definidas la Interfaz Usuario (IU) y el Centro de Procesamiento de Datos (CPD), en conjunto los elementos que construyen las cuatro interfaces del sistema, y su relación entrada salida entre cada uno,

Como antes se mencionó el sistema está dividido en dos etapas, la primera la conforma el sensor Mindwave Mobile el cual capta los registros emitidos por el usuario, mediante el algoritmo eSense y su módulo TGAM1, digitaliza los datos y los envía mediante paquetes; para la segunda etapa mediante el módulo BlueSMiRF SilverRN-42 se recepta los paquetes que son enviados a través de la serial COM port de la placa Arduino Micro donde son procesados y emitidos en una barra de estado que el usuario ve en tiempo real, se condiciona si se debe realizar el evento C o M mediante el sensor de luz que otorga al sistema la capacidad de entender si está activo o inactivo el actuador lumínico, para realizar la acción que el usuario pretende, en la siguiente sección se explica como el sistema está desarrollado para alcanzar el correcto funcionamiento mediante la numeración de cada elemento que conforma el diagrama.

3.4.1 Interfaz Usuario

- 1 El usuario percibe conscientemente la construcción mental sujeta a la función cognitiva que está relacionada con la acción que desea realizar, tanto el

- 2 El evento C (concentración) está relacionado con el encendido del actuador, esta apreciación es denotada por el usuario como un deseo consciente (encender el foco), para la construcción mental que debe estar conectada con el paso 1.
- 3 El sensor Mindwave Mobile capta los registros presentes generados por el usuario mediante el módulo TGMA1, los datos son digitalizados y procesados con el algoritmo eSense, para ser establecidos como el evento C (concentración) o el evento M (meditación) para lo cual es importante entender que para cada evento se dispara una onda cerebral en tanto las beta y alpha son las señales que se toman para dichos eventos.
- 4 Mediante la comunicación inalámbrica el estándar Bluetooth versión 2.1 se establece el enlace punto a punto entre el sensor Mindwave Mobile y el módulo BlueSMiRF SilverRN-42 para la transferencia de los datos, terminando con la fase de interfaz usuario.
- 5 Al pasar al Centro de Procesamiento de Datos la interfaz de comunicación con el módulo BlueSMiRF SilverRN-42 recepta los paquetes y los transfiere mediante comunicación serial al puerto COM port de la placa Arduino Micro.
- 6 Este momento los datos son almacenados y procesados dentro de la placa Arduino Micro en base al algoritmo para el proceso de selección del evento a ejecutarse, dentro de esta fase se realizan dos tareas simultáneamente con el programa de manera cíclica.
- 7 La barra de estado es un indicador lumínico que presenta la información de la captación del registro EEG, convirtiendo el valor de la captación a una escala, donde se ubica el valor registrado a un estado de encendido, como por ejemplo si

- el registro está en valores menores la barra de estado solo mostrará uno o dos niveles pero en cambio si los registros son altos a barra indicará los niveles más altos, como esto ocurre por cada registro es importante mostrar al usuario para que el perciba visualmente su estado mental y trate de controlar formando o cambiando las construcciones para alcanzar los patrones de cada evento.
- 8 Siendo de manera condicional el usar un sensor que índice al CPD cuando deba ejecutarse cada evento, esto despliega que el sistema no solo muestra la acción que se ejecuta por el usuario si no que entiende el estado actual en el que se encuentra el actuador lumínico, con el módulo sensor lumínico se condiciona el hecho de que se ejecute un evento, en el caso de que el sensor capte que el rango de luz es nulo el programa se diferencia para la ejecución del evento C el cual es el que activa al sensor, con esto se elimina la necesidad de estar procesando los datos innecesariamente.
 - 9 Como resultado final después de haber pasado el condicionamiento y que se alcance el patrón establecido para lograr ejercer la acción de encendido, el actuador lumínico es activado y pasa al modo encendido lo que el usuario estableció con su construcción mental.
 - 10 El proceso vuelve a realizarse desde el paso uno, contiendo el evento M debido a que en el condicionamiento con el sensor lumínico establece que la luz está encendida y debe tomar el camino opuesto (apagar).
 - 11 Como un detonante para el usuario es el deseo de apagar la luz con solo la construcción mental de meditación, y vuelve a repetirse todo el proceso.

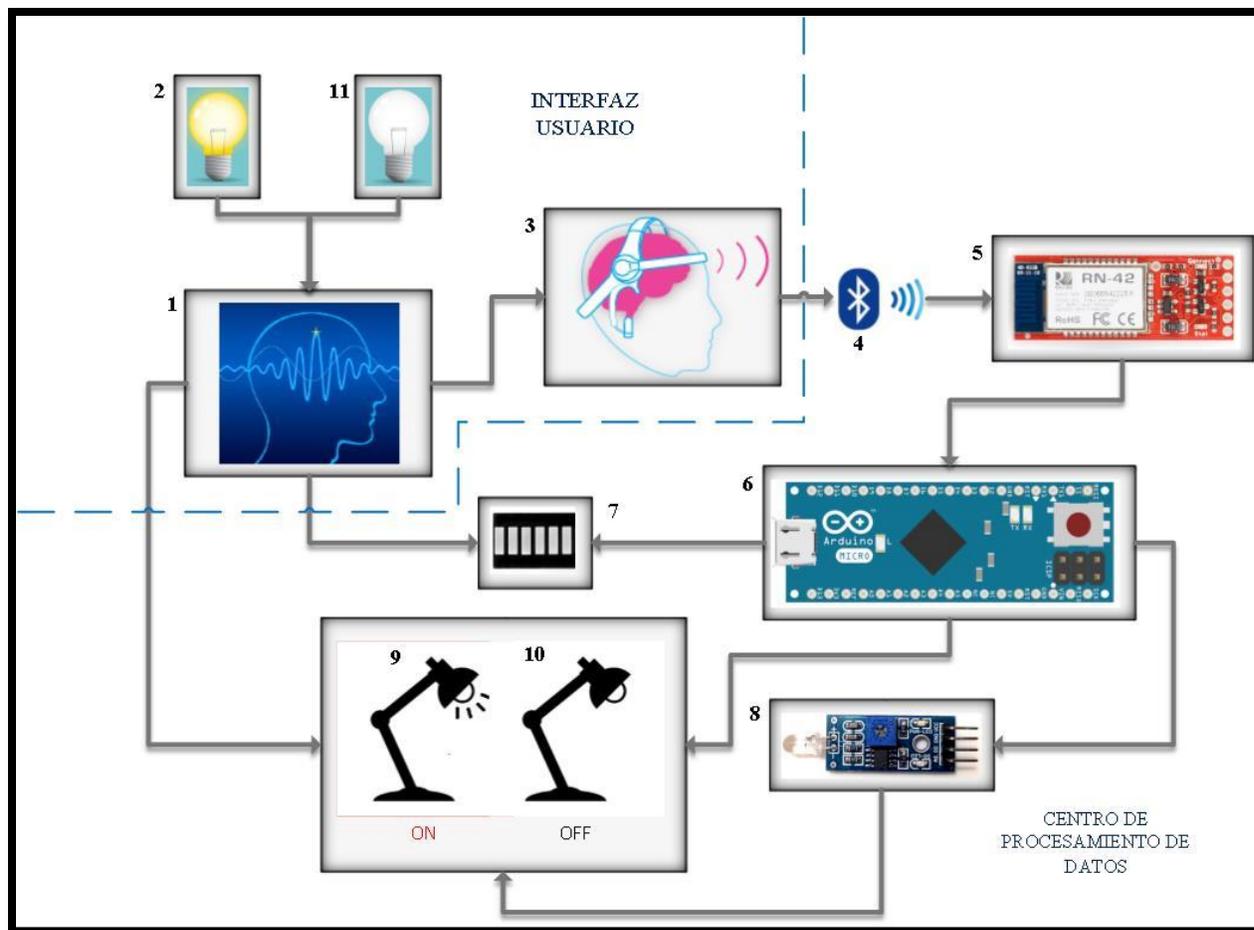


Figura 41. Diagrama de bloques del sistema electrónico de iluminación (on-off)

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

3.5 Cálculos de valores

En este apartado se especifica los cálculos determinados, para la implementación de los elementos eléctricos de la placa CPD en específico son los valores a tomar en cuenta tanto para la amplificación de energía del actuador lumínico, debido que es ejecutado el control de encendido y apagado del mismo mediante un pin de conmutación digital del Arduino Micro, por esta razón es imperativo la conformación de un circuito amplificador que otorgue el voltaje necesario.

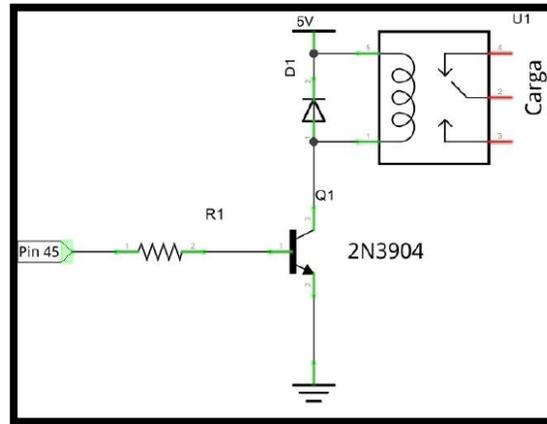


Figura 42. Diagrama eléctrico de conexión sección relé

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez simulador [Imagen]

Se debe tomar en cuenta las siguientes condiciones:

- El pico de voltaje inverso puede causar daños y mal funcionamiento en el transistor.
- Para proteger al circuito y la alimentación del Arduino Micro se usa un diodo de enclavamiento de manera de protección.
- La corriente fluye por el diodo, al estar polarizado directamente.
- El valor β ganancia del transistor del transistor 2N3904 está en un rango entre 100/300
- La resistencia interna de la bobina interna del Relé de 12Vdc (RH-012C) según del datasheet es 102Ω .

Valores a calcular:

I_C = Corriente de colector.

I_{RB} = Corriente circula por resistencia de colector.

R_C = Resistencia de colector.

I_B = Corriente de base.

R_B = Resistencia de base.

V_{RB} = Voltaje de resistencia de base.

V_{LED} = Voltaje de suministro de led.

I_{LED} = Corriente aproximada para generar una intensidad en la luminosidad

R_{BO} = Resistencia interna de la Bobina (56 Ω)

β = Ganancia de transitar (100)

Calcular I_C

$$V_{CC} = I_C * R_{Bo}$$

Despejado la corriente de colector

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_{Bo}}$$

$$I_C = \frac{5v}{56\Omega}$$

$$I_C = 80mA$$

Como resultada se encuentra que la corriente de colector es de 80mA

Calcular V_{RB}

$$V_{CC} = V_{RB} + V_{BE}$$

$$V_{CC} = V_{RB} + 0,7v$$

Despejando el voltaje de la resistencias de base

$$V_{RB} = 5v - 0,7v$$

$$V_{RB} = 4,3v$$

El voltaje en la resistencia de base es 4,3v refiriéndose que el voltaje base emisor es tomado por el transistor que se usa es de 0,7v.

Calcular I_B

$$I_C = \beta * I_B$$

Despejando la corriente de base

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$I_B = \frac{0,08A}{100}$$

$$I_B = 0,0008A \sim 0,8mA$$

Como resultado obtenido la corriente que atraviesa la base es de 0,8mA

Calcular R_B

$$V_{RB} = I_B * R_B$$

Despejando la resistencia de base

$$R_B = \frac{V_{RB}}{I_B}$$

$$R_B = \frac{4,3v}{0,0003A}$$

$$R_B = 5373 \Omega \sim 5,3K\Omega$$

Calculo de potencia

$$P = V_R * I_T$$

$$P = 2,8v * 3mA$$

$$P = 0,056$$

El valor calculado en la resistencia de base es de $5,3K\Omega$

Dentro de la interfaz de usuario son utilizados los indicadores lumínicos, diodos led de color verde, explicando su función crucial de la barra de estado en tiempo real dentro del sistema en la sección anexo A, que son conectados respectivamente a los pines digitales del Arduino Micro, para el montaje de cada uno es necesario el uso de una resistencia con un valor por calcular a continuación se explica los cálculos realizados.

R = Valor de la Resistencia

V_{CC} = Voltaje de alimentación

V_R = Voltaje admisión según el color de diodo led

I_T = Corriente emitida por los pines digitales de Arduino Micro

Con la siguiente formula de calcula el valor de la resistencia que se usara para el cada diodo led dentro de la barra de estado.

$$R = \frac{V_{CC} - V_R}{I_T}$$

Reemplazando los valores de cada variable tenemos:

$$R = \frac{5v - 2,2v}{20mA}$$

$$R = 120\Omega$$

Complementado este cálculo del valor de la resistencia a implementar, se antepone el cálculo de la potencia en la resistencia.

$$P = V_R * I_T$$

$$P = 2,8v * 20mA$$

$$P = 0,056$$

Para la alimentación del sistema es necesario el uso de un de la potencia a usar del sistema, considerando que el consuma total del sistema se obtiene de la potencial con la sumatoria de la corrientes de cada elemento de la placa.

$$P_S = V_B * I_T$$

$$P_S = 5v * 368mA$$

$$P_S = 1,44W$$

El consumo total del sistema es de 1,44 watts debido a esto parámetros de corriente y voltaje requerido se explora el uso de una fuente de alimentación q cubra con los parámetros requeridos por el sistema, para determinar este segmento se inclinó por el uso de una fuente de alimentación comercial, como se puede ver en la figura 43, donde el voltaje de salida es de 5,1v y la corriente suministrada es de 450mA con una potencia de consuma de 10W.



Figura 43. Cargador- adaptador de corriente USB

Referencia: <http://www.apple.com/es/power-adapters/>[Imagen]

La características técnicas del adaptador cumple con los requerimientos antes emitidos y gracias a su menor tamaño es loa mejor opción a usar para la fuente de alimentación del sistema, debido a este punto muy importante es crucial el uso del mismo.

3.6 Diseño del primer prototipo

Ya conformado un pre diseño en base al diagrama de bloques y con los elementos seleccionados a utilizar, su estructura está basada en la conformación de pruebas físicas debido a que una simulación del sistema tiene un margen reducido y totalmente distinto a los fenómenos ocurridos por la captación de los registros EEG.

Se construye con la conexión de la placa Arduino Micro con el modulo bluetooth, el sensor, la barra de estado y el actuador en este primero prototipo se usa un actuador referencial al real (led de luz blanca) como se puede observar en la figura 42, para establecer la conexión entre el sensor Mindwave, se debe configurar el módulo BlueSMiRF SilverRN-42.

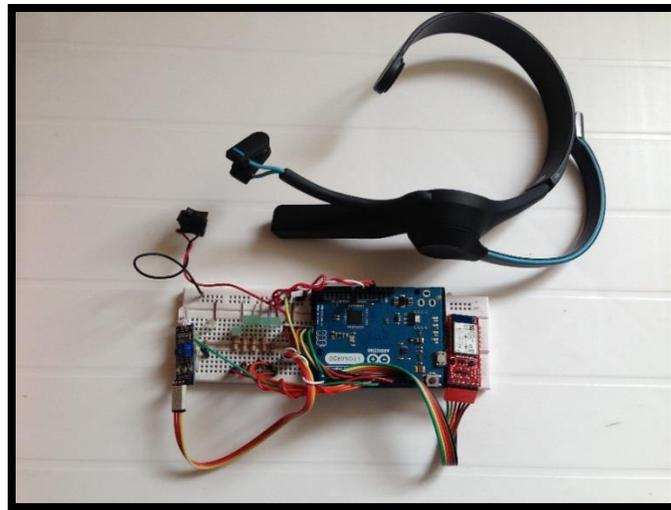


Figura 44. Primer prototipo sistema electrónico de iluminación (on-off)

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

3.6.1 Elementos indicadores del primero prototipo

En la figura 43 se presenta los indicadores de cada elemento del sistema:



Conexión.

Establecimiento de la conexión entre la IU y la interfaz de comunicación

Con el indicador lumínico en color verde permanente se muestra como se establece la comunicación entre el sensor y el módulo Bluetooth. Esto confirma la conexión y el envío de datos en los registros captados.



Notificación de la Barra de estado en tiempo real.

La barra de estado es un elemento importante dentro del sistema, el cual presente la información en tiempo real de la captación de los registros, mediante una escala referencial entre cada nivel de la barra y los valores obtenidos por los registros



Actuador lumínico activo

Con el objetivo final del sistema es la activación del actuador lumínico para el encendido y apagado, en la etapa del primer diseño se toma un indicador referencial con el usos de un led, el cual representa la activación del foco, para posterior desarrollo se implementara un sección para el encendido de un foco a 110v como un circuito de control constituido por un relé.



Sensor de luz

El sensor complementa el sistema condicionando tanto al proceso de los datos para la activación del mismo, como un margen para que el sistema se auto identifique en el control y ejecución de la acción, condicionando para cada momento estado de uso tanto en apagado para el evento C como para encendido para el evento M

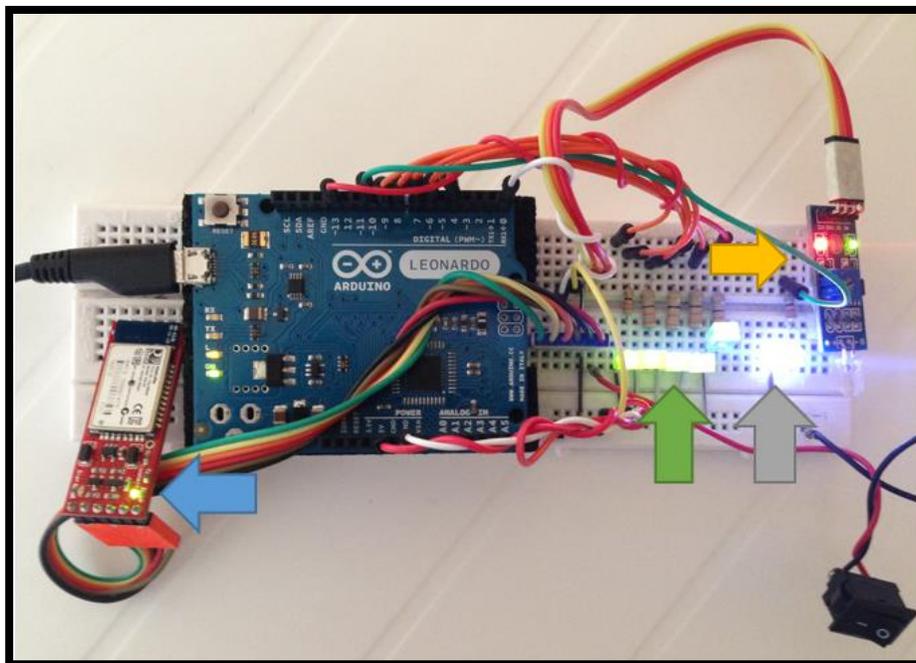


Figura 45. Indicadores del sistema.

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

Como se puede ver en la figura 43 que el sistema está conectado y en funcionamiento, la alimentación en este primer prototipo es a través de la conexión micro USB de la placa, se verifica con los indicadores del sensor Mindwave el establecimiento del enlace entre la IU y el módulo BlueSMiRF SilverRN-42, también se puede constatar que el módulo de censado lumínico debe ser ajustado a los lux que el actuador (diodo led de luz blanca) se usa de referencia, la barra de estado está conformado por 5 diodos led de color verde.

3.6.2 Diagrama de flujo

Para el diseño del programa tiene una estructura básica que permite el censado, se guarda los datos en dos variables para la comparación y la ejecución de casos que identifiquen los PPE (patrón por evento) para cada evento y para identificar en la barra de estado el rango del registro, se determina una comparación con el Payload este aspecto hace que el sistema esté en constante registro de las señales y pueda identificar cuando el usuario no está puesto la IU, en la figura 44 se presenta el diagrama de flujo con la estructura que ejecutan las sentencias del programa para el primer prototipo.

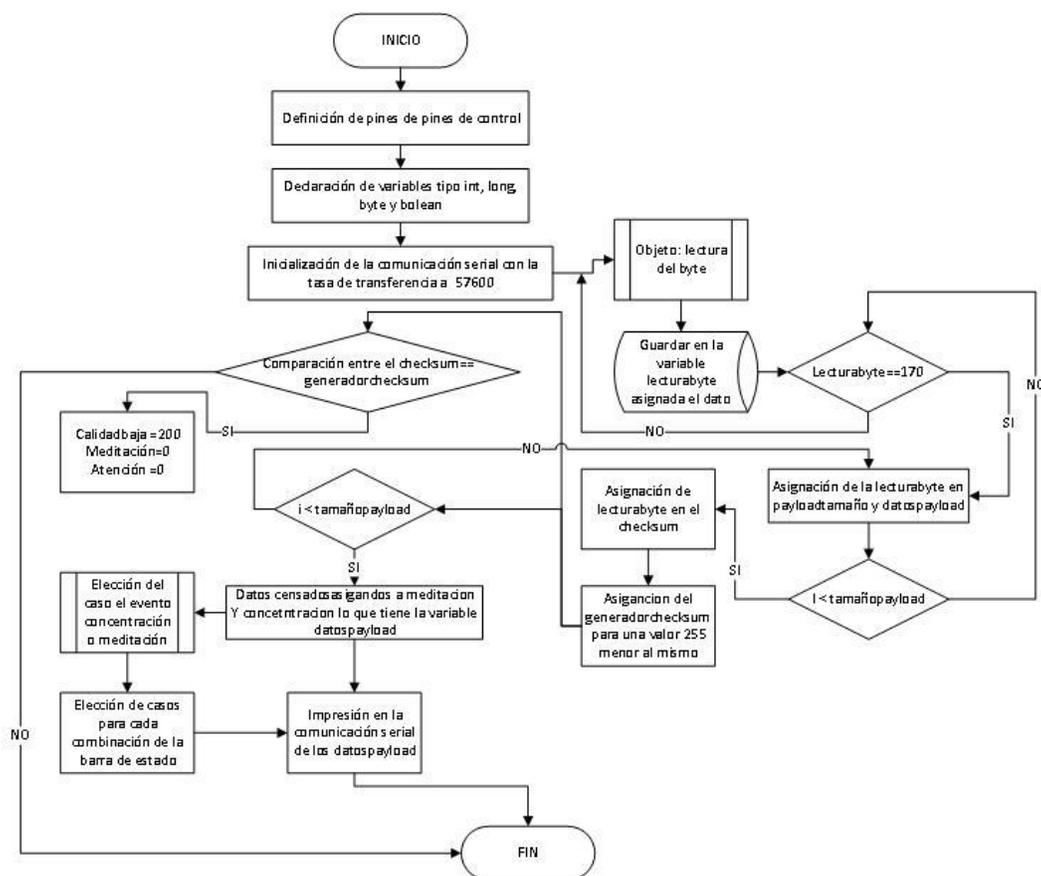


Figura 46. Diagrama de flujo del sistema de iluminación

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Figura]

El programa inicia definiendo la tasa de baudios para la comunicación con el Mindwave, los pines de control tanto de la barra de estado como del actuador estableciendo si son estradas y salidas, son asignadas los tipos de variables a usar (byte, int, long, boolean) con el valor de inicio de cada uno, se inicializa la comunicación serial para el COM port de la placa Arduino Mricro, definido esa parte se procede a realizar un objeto donde se lee y almacene en la variable de la trasmisión para comparar.

3.6.3 Diagrama de Conexión Electrónico

Para determinar la conexión de los elementos en los distintos pines del Arduino se toma en cuenta sus requerimientos de funcionamiento.

De esta forma se procede a realizar la distribución de pines de la siguiente manera:

- Pin 0(Rx) y 1(Tx) del Arduino para la comunicación serial con el Módulo Bluetooth BlueSmird RN-42.
- Pin 7 del Arduino Micro para la comunicación con el pin de señal del Sensor Fotodiodo.
- Los pines 1, 2, 3, 4, 5 y 6 del Arduino Micro son conectados cada uno con resistencias de 330 Ohmios y 5 diodos Led que realizan la función de notificación de la Barra de estado en tiempo real

- Pin 12 del Arduino Micro es el pin de control que se conecta con el actuador lumínico, pero debidamente adecuada una conexión para trabajar con voltaje de 110 para la alimentación.
- Los pines de GND y Vcc son conectados para alimentar al Módulo Bluetooth BlueSmird RN-42 y el Sensor Fotodiodo

En la Fig. 6 se muestra la conexión de los elementos al Arduino Micro

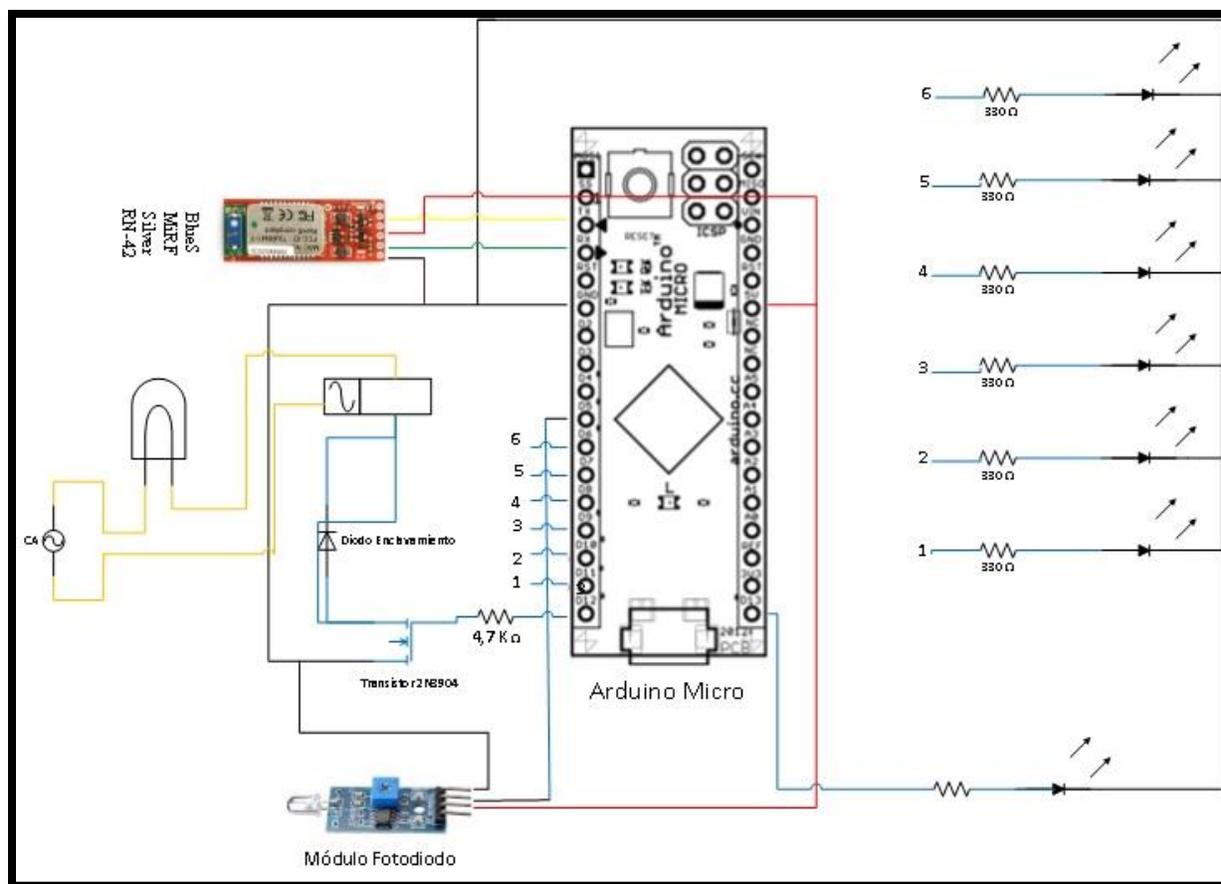


Figura 47 Diagrama de flujo del sistema de iluminación

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Figura]

3.6.4 Pruebas y resultados de funcionamiento del prototipo

Para las pruebas de funcionamiento del sensor un usuario alterno se coloca la IU para la captación de los registros EEG, como se aprecia en la figura 47 están los dos estados que el sistema provee tanto el modo inactivo (diodo led apagado) y activo (diodo led encendido), con esto se comprueba el censado de la IU como la barra de estado asciende y desciende.

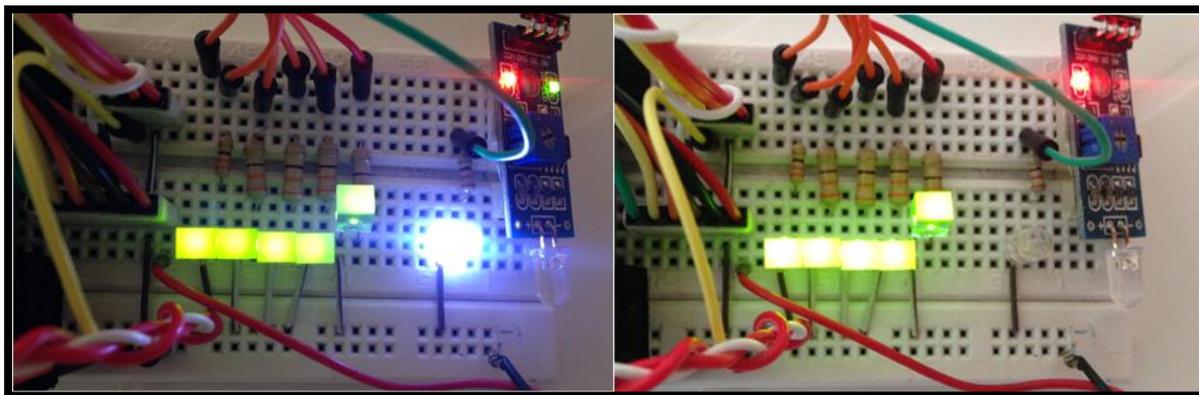


Figura 48. Pruebas de funcionamiento sistema electrónico de iluminación (on-off)

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez. [Imagen]

La verificación del registro es mediante la barra de estado, como también por las herramientas del IDE de Arduino, dentro del programa también se ejecuta una línea de comando para la impresión en el monitor serial y el plotter serial del IDE, como los datos del censado llegan al CPD, el monitor serial donde se puede visualizar los valores numéricos captados en el registro EEG varían en cada nueva captación, en el plotter serial se visualiza de igual manera los mismos registros pero en forma gráfica se observa que los valores de las señales cerebrales varían.

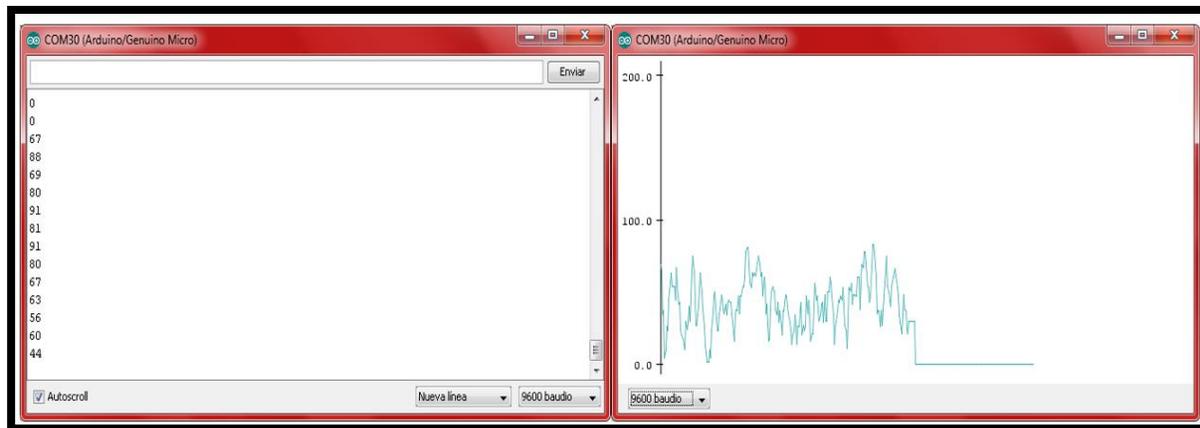


Figura 49. Monitor serial del IDE de Arduino para comprobar que los datos son procesados mediante la escala de valores numéricos b. Plotter serial del IDE de Arduino para comprobar que los datos esta son procesados mediante la gráfica analógica de los valores

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Iamgen]

Al momento del uso por parte de un usuario externo se pudo ver los cambios de los valores son casi aleatorios, para las pruebas de uso se socializo con el usuario que trate de construir y pueda mantener estos rangos, pero pese a su esfuerzo el usuario no lograba controlar conscientemente estos cambios en los valores, poniendo a evidencia que el sistema debe tener una fase previa de entrenamiento para controlar estos cambios de las señales del cerebro, es muy importante esta experiencia ya que fundamente al diseño y arroja conclusiones en el uso del mismo formando un condicionamiento en la construcción de las funciones cognitivas, para el control del CPD y por consecuente el desencadenamiento del evento C y M en la figura 46b se puede ver gráficamente el censado, que se está llevado a cabo por la IU y transfiriéndolo al CPD, con una gráfica que presenta los valores alcanzados por las señales en función del tiempo, ya trascurrido un periodo de 18 segundos, se desconecta el sensor Mindwave Mobile del usuario resultando en un periodo donde el registro pasa a valores de cero como se puede ver en la misma gráfica, el concepto funcional del sistema está logrando en esta punto del desarrollo, realizando lo propuesto

para la primera prueba de uso, así cumpliendo con las sentencias del código del programa en base al diagrama de flujo presente.

3.6.4.1 Presentación de graficas de los registros EEG

Con los datos obtenidos de la primera prueba se generó las siguientes graficas que indican de los registros como variaron y el porcentaje de eventos C alcanzados con respecto al número de intentos consientes del usuario. Esta información es importante debido a que con estas pruebas se puede refinar el sistema realizando cambios en el código del programa.

La grafica 47 se muestra como los rangos de los registros captados esta divididas en dos segmentos en un cuadro de color rojo cuando se cumple el PPE para alcanzar el evento que desencadene al actuador y permita el encendido del mismo y la sección en color verde donde los patrones no son los suficientes para lograrlo esto varía de acuerdo al proceso de entrenamiento

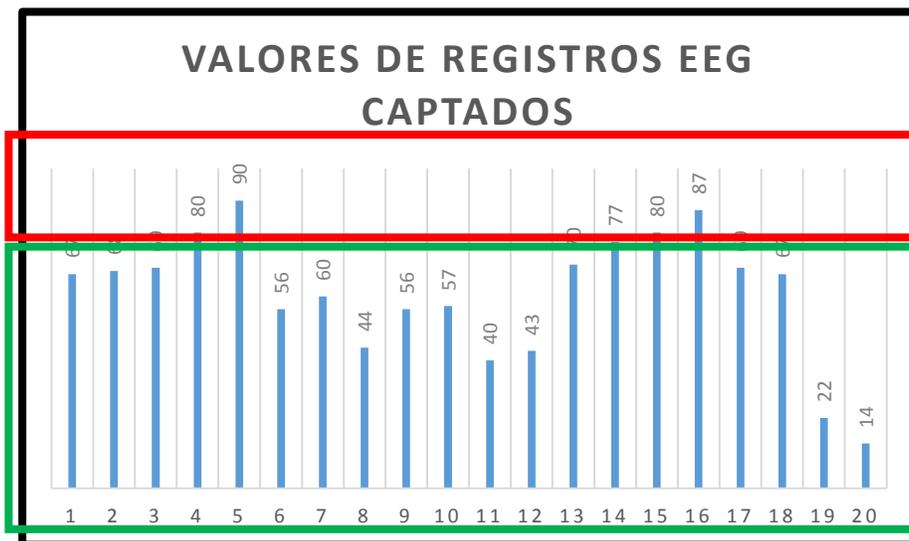


Figura 50. Grafica de datos del registro EEG para el usuario externo

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

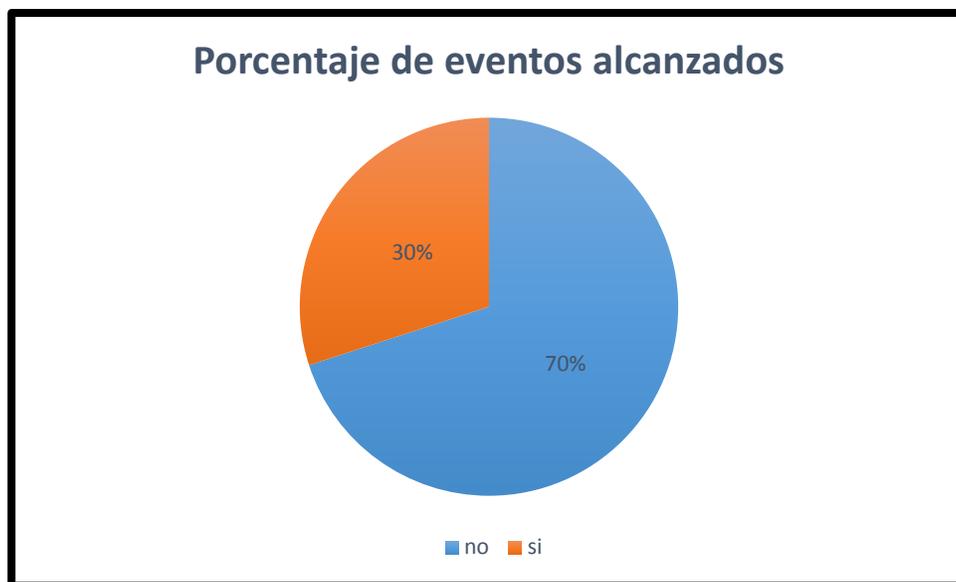


Figura 51. Grafica de porcentajes de aciertos al realizar la acción correcta de control para el usuario externo

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

3.7 Diseño final del sistema electrónico de iluminación (ON-OFF)

Después de haber realizado las pruebas con el primer prototipo, tanto la portabilidad como la estética del mismo no son las mejores para la implementación con el usuario final, constando con esto es necesario la realización de un circuito impreso y el montaje en una estructura tipo lámpara, para la cual se usara una lámpara de escritorio como se puede ver en la figura 50, donde se montara el CPD, como ya se ha visto que en este será implementado las partes que lo conforman



Figura 52. Estructura de lámpara de escritorio

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

3.7.1 Diseño y construcción del circuito impreso

El diseño y construcción del circuito impreso elimina el uso del protoboard para las conexiones reemplazándolas con las pistas y pads, reduciendo aún más el espacio, aportando con una superficie estática para el montaje de los elementos, los materiales para su realización son los siguientes:

- Baquelita de fibra de vidrio
- Espadines (tipo hembra)
- Borneras
- Cautín, pasta para soldar y soldadura (estaño)

En el diseño de las pistas y pads del circuito impreso se optó por el uso de un software que permite la serigrafía de las mismas para luego ser impreso, el circuito esta realizado con una solo capa conductora.

3.7.1.1 *Diseño del circuito en software*

La herramienta de diseño para el circuito impreso es un componente importante debido a las capacidades de realizar proyectos de gran calidad en este tipo de elementos, con sus editor de diseño esquemático favorece en el diseñado del circuito haciéndolo con un alto grado de calidad en las pistas.

En la figura 50 se puede observar el diagrama esquemático del circuito, con la ubicación de los materiales, el plano de conexiones se colocan la simbología que permita el posicionamiento de los elementos.

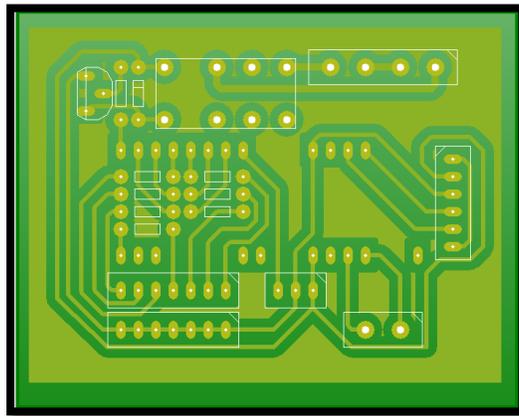


Figura 53. Diagrama esquemático del circuito

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez. [Figura]

Ya finalizado el diseño del plano esquemático, el siguiente paso es el diseñado del circuito impreso el cual constará con el posicionamiento físico de los elementos dentro del circuito, cabe mencionar que este diseño está fundamentado en un espacio reducido, para la implantación en la base de la lámpara, en la figura 50 se presenta los dos tipos de modelados que el programa ofrece antes de realizar la impresión en la baquelita de fibra de vidrio.

3.7.1.2 Dimensionamiento

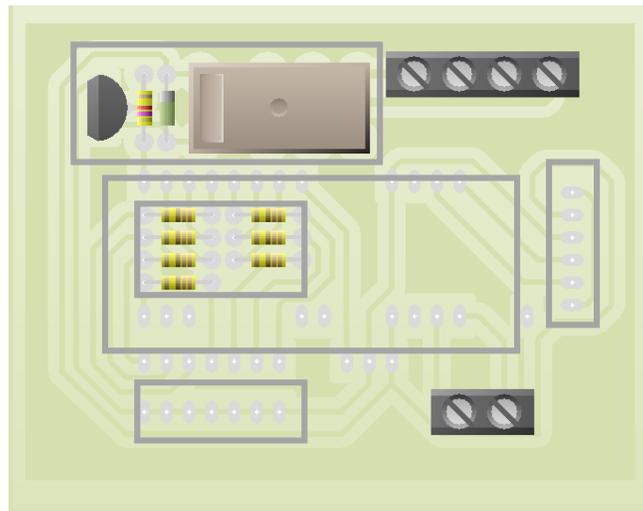
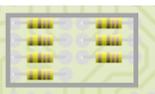
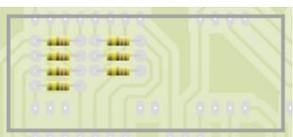


Figura 54. Circuito impreso con el posicionamiento de los elementos en la placa

Referencia: Elaborado Marco Jimenez [Figura]

Para el dimensionamiento de los elementos de la placa impresa se explica mediante código de estructura de la placa.

Tabla 5. Tabla de elementos electrónicos.

Diseño	Descripción	Elementos
	<p>Configuración del circuito alimentador para el actuador lumínico a 110v con entrada de un pin de control a 5v.</p>	<p>Relé TDS-050</p> <p>Transistor 2N3904</p> <p>Resistencia 4.7k Ohm 5%</p> <p>Diodo ERD07</p>
	<p>Configuración de resistencias para protección de los diodos led</p>	<p>7 Resistencias 330 Ohm 5%</p>
	<p>Ubicación de la placa de procesamiento Arduino Micro</p>	<p>Arduino Micro</p>
	<p>Pines de comunicación para el módulo Bluetooth</p>	<p>Puntos de suelda</p> <p>Cables tipo macho-hembra</p>

Referencia: Elaborado Marco Jimenez

3.7.1.3 Construcción del circuito impreso

La impresión del circuito se la realizo en papel termotransferible en color blanco con impresión láser, después de la impresión se procedió a pasar el diseño a la baquelita virgen y la fijación de la misma, se usó ácido cloruroferrico para la degradación de los segmentos no usados de la baquelita y el fijado de las pistas, al terminar este proceso se obtuvo el circuito impreso como se puede ver en la figura 52.

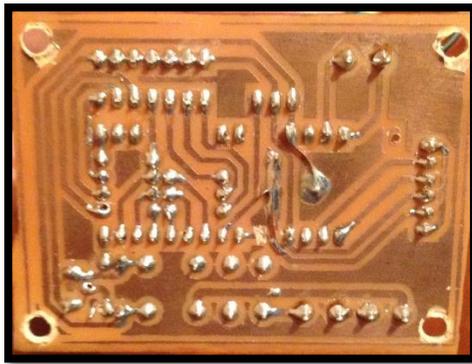


Figura 55. Circuito impreso

Referencia: Elaborado Marco Jimenez [Imagen]

3.7.1.4 Montaje de elementos

Al contar con el circuito impreso terminado se procede a la colocación de los elementos y el soldado, con el uso de cautín, la soldadura y la pasta se fija cada elemento, se debe tener en cuenta que las pistas y los elementos deben mantener continuidad. Al terminar este proceso se tiene como resultado el circuito ya fijado con los elementos como se puede ver en la figura 53.



Figura 56. Montaje de elementos en el circuito impreso

Referencia: Elaborado Marco Jimenez [Imagen]



Figura 57. Montaje de elementos y la placa Arduino Micro

Referencia: Elaborado Marco Jimenez [Imagen]

3.7.1.5 Dispositivo de prueba

Para el dispositivo de prueba se ubicó el circuito en el interior de una lámpara de escritorio tipo brazo movable, contemplando un modelo donde se ubicara los elementos del sistema, con una

estructura de cableado interno consolidando un elemento visual agradable y con una movilidad en su peso adecuada.



Figura 58. Prototipo final del sistema

Referencia: Elaborado Marco Jimenez [Imagen]

Con la construcción del primer dispositivo se realiza las pruebas de funcionamiento donde se alerta que el diseño tiene una falla en el posicionamiento de los elementos esto se rediseñará para el siguiente prototipo algo q se tomó en cuenta fue el peso el cual no podía sostener adecuadamente al equilibrio de la lámpara haciéndola inestable, al ubicar el brazo para el enfoque de la iluminación este ejercía una inestabilidad de la case y se caía.



Figura 59. Visión lateral del dispositivo

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

La distancia ente la base y el foco de irradiación es de 22 cm haciéndola con un centro de gravedad muy pequeño para su altura con lo cual se opta por otro modelo para su adaptación; otro elemento importante tomado en cuenta es el mismo tubo conductor por donde se pasa el cable de alimentación de la boquilla y los cables para el sensor de luminosidad es de un diámetro muy reducido por lo tanto este con cualquier moviente del mismo hacia que se ejercía fuerza en el mismo al punto de cortarse los filamentos internos de los cables.

Como uno de los elementos cruciales del sistema, es el sensor lumínico el cual fue ubicado en el interior del eje focal para un mejor censado de la intensidad lumínica, como se parecía en la figura 57.

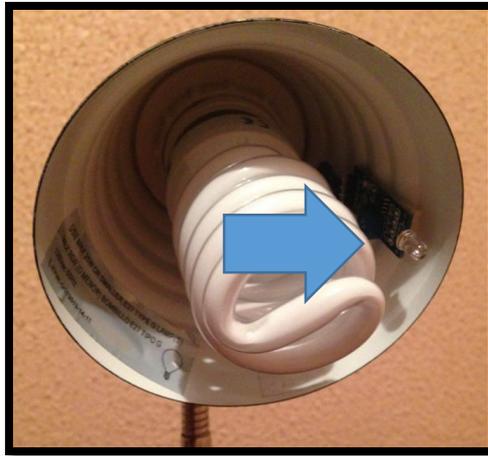


Figura 60. Ubicación del sensor lumínico

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

3.7.1.6 Características de control

- El usuario identifica la ejecución de una determinada reacción provocada como resultado a su acción.
- El sistema tiene la capacidad de auto analizarse para determinar que está realizando el usuario
- El sistema se comporta según las acciones q el usuario genere vinculando una respuesta a cada acción

Para la ubicación de los indicadores lumínicos dentro de la base de la lámpara se optó por realizar una modificación de la misma, según este modelo se ubicó cada uno cimentado de una manera distribuida en el interior superior de la base de la lámpara. Como se puede ver en la figura

58, en la parte inferior se ubicó la barra de estado con 6 niveles, en la parte izquierda el módulo de comunicación bluetooth y en la parte derecha el indicador de sincronismo y registro.

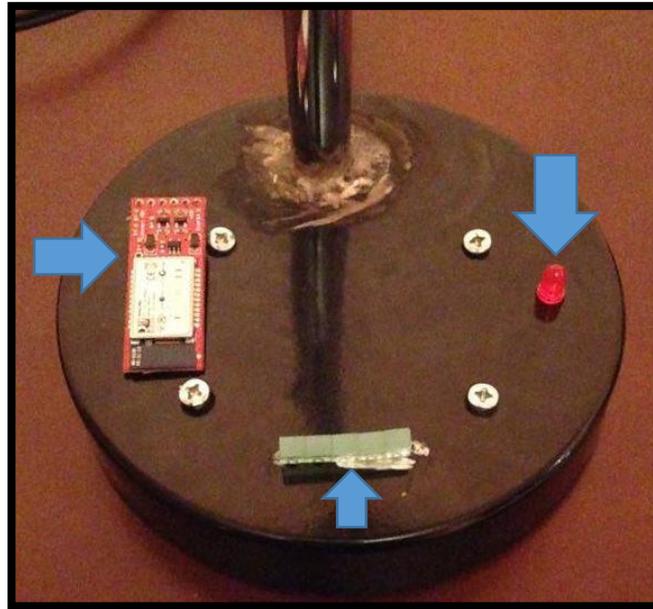


Figura 61. Elementos indicadores del sistema

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

3.7.1.7 Dispositivo final

Tomando como referencia el primer dispositivo construido, se cambió ciertos elementos y su construcción fue basada en una estructura más adecuada para la misma, con una lámpara de mesa tipo brazo movable con cableado interno, a 110 volts 60 Hz, base metálica de 3mm, cableado de plástico, eje focal de irradiación tipo pantalla.

Tabla 6. Ficha técnica de lámpara de escritorio tipo brazo

Dispositivo	Lámpara de escritorio tipo brazo extensible
Descripción básica	Lámpara de iluminación con bombilla de alimentación a corriente alterna.
Función	Iluminación de espacios o área de trabajo específicas con luminosidad pasada en la Norma Europea UNE-EN 12464-1 para actividades académicas.
Usuarios	Residencial y comercial
Materiales	Estructura metálica grosor 3mm, cableado plástico, base plástica, boquilla cerámica
Color	Negro con interior blanco
Modelo, medida	Brazo M, 40 cm
Partes	Base metálica, pantalla tipo foco, cable de conexión, tapa de pase plástico, tubo flexible con cubierta de plástico.

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

3.8 Dispositivo final lámpara con el sistema de iluminación

En la figura 59 se observa el modelado final del dispositivo CPD con las adecuaciones rediseñadas para arreglar los errores encontrados en el primer diseño. Con un modelo técnicamente eficiente que provee de una estabilidad y movilidad con un menor porcentaje de falla en el aspecto visual se ve claramente que ofrece un detalle más pulcro.



Figura 62. Dispositivo final CPD

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

La base del CPD también sufre de un rediseño con el cambio como se puede ver en la figura 60 más significativo de la posición de lo indicador de sincronismo con el módulo de comunicación inalámbrica, también la estructura de la base es metálica con un mayor peso para el equilibrar el centro de lámpara y contener el circuito impreso de la misma en su interior con una tapa plástica, el módulo de comunicación está contenido en un protector plástico, debido a que este está con sus elementos expuesto y corre el peligro de que pueda ocurrir un daño cada elemento está sujeto correctamente y se Provo con movimientos para verificar si esta estructura es lo

suficientemente compacta y no tiende a padecer de fallos por estos motivos, así el usuario cuenta con un elemento con una mayor consistencia en su estructura tanto interna como externa.



Figura 63. Base metálica del dispositivo CPD

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]



Figura 64. Cableado interno del dispositivo CPD

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

3.8.1.1 Barra de estado

dentro del sistema un elemento primordial de interactividad con el usuario y que cumpla con las condiciones que engloba las características de control es el identificador visual, para poder identificar este elemento dentro del sistema se ha denominado Barra de Estado, conformada por un segmento de seis diodos leds tipo cubo con iluminación de color verde, ubicados en forma de columna haciendo referencia a una barra de escalas con la segmentación de 6 niveles, la funcionalidad principal es presentar información visual de los patrones registrados por la captación de las ondas cerebrales del sensor Mindwave Mobile, cabe indicar que el tiempo de respuesta varía entre 1 a 2 segundos desde el momento de captación, transmisión y procesamiento de los datos esto se ha recogido en base a las pruebas de funcionamiento y al proceso de entrenamiento con el usuario.

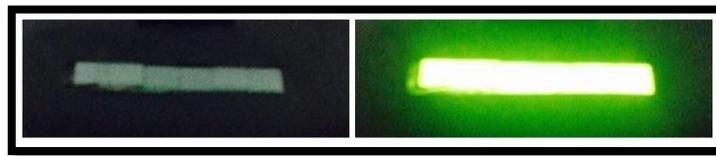


Figura 65. Barra de estado en los patrones máximo y mínimo

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

Regido según las características para cumplir el control de un dispositivo electrónico la barra de estado provee como identificador visual para el usuario, esto aparte de cumplir con su función primaria integra funciones secundarias

4 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO Y PRUEBAS

En este capítulo se genera una socialización entre el sistema y el usuario describiendo el proceso para la aclimatación del sistema con la ejecución consiente de los estipulados eventos vistos en el capítulo 3, que determinaran el control de la luz, así como los protocolos del usuario y del sistema al momento de su uso. Por último se ejecutara la evaluación del sistema basado en la suplantación de la acción física con la vinculación intangible al encender o apagar la luz.

4.1 Protocolo preparación del usuario

- Verificar y retirar cualquier objeto que interfiera en el contacto de la superficie de la piel y los electrodos sensores, en las zonas Fp1 y A1, con el objetivo de asegurar que la captación del registro no tenga ninguna interferencia y mejorar la conductividad eléctrica.
- Colocar el sensor Mindwave de manera correcta, teniendo en cuenta que el brazo manilla este apuntando a la zona Fp1, que la posición de la diadema este recorrida por detrás de la oreja fijado bajo presión de la diadema auricular con el cráneo y la pinza este ubicada en el lóbulo de la oreja derecha.
- medida de tiempo que transcurre en la vinculación y sincronismo del sensor, se refiere al tiempo que demora el IU en establecer la conexión con el CPD y en sincronizar el censado de las ondas cerebrales, es un intervalo de alrededor de cuatro a cinco segundos.
- estabilizar al usuario en sus funciones cognitivas, debido a factores emocionales y fisiológicos el conciliar de forma consiente los eventos M y C, advierte en alcanzar un estado mental pre-inicial.

4.2 Descripción de las funciones cognitivas

El dispositivo sensor se basa en la tecnología Interfaz Cerebro Computadora, parte de la hipótesis de que las funciones cognitivas diferenciadas presenta distintos patrones de ondas electroencefalográficas, al ser identificadas y caracterizadas proveen la manipulación o control de un dispositivo asociado mediante la ejecución de un evento.

En referencia a cada evento de control se relaciona con las siguientes funciones cognitivas:

- Percepción del movimiento: donde el usuario construye un pensamiento consiente de realizar una acción de movimiento corporal, en concreto el mover su extremidad inferior izquierda, pero sin que exista la ejecución del movimiento, por ejemplo realizar la acción de activar el interruptor de pared.
- Actividad matemática: donde el usuario construye un pensamiento consciente de ejecutar una operación matemática que requiera de un ciclo de concentración, la adición sucesiva de tres números primos.
- Relajación mental: donde el usuario disminuye conscientemente la ejecución de pensamientos concretos, mediante ejercicios de respiración, acotando que este proceso debe ser realizado con toda la capacidad que se pueda lograr.

Cabe indicar que las dos primeras funciones están estrictamente ligadas a la ejecución del evento concentración, que a su vez es la acción control de encendido y que la función restante comprende la ejecución del evento meditación permitiendo controlar el apagado.

4.3 Descripción de actores

Para la implementación y ejecución del sistema están identificados dos actores:

- Usuario
- Desarrollador

4.3.1 Usuario

Es la persona a la cual está destinada el sistema en este caso es Mónica Escobar, quien ejerce el control a través del uso de sus funciones cognitivas que están asociadas a las señales cerebrales, desencadenando en la actividad o inactividad del actuador lumínico de manera consiente.



Figura 66. Usuario Mónica Escobar con el sensor IU

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

4.3.2 Desarrollador

Es la persona encargada de socializar los protocolos del sistema, controlar y corregir el funcionamiento del sistema acorde a los requerimientos del usuario y la puesta en marcha del sistema en su totalidad.

Cabe señalar que el desarrollador es un actor momentáneo debido a que el sistema está diseñado como una herramienta de uso unipersonal autónoma para el usuario y que su participación es implícita en la utilización del dispositivo dentro del periodo de uso.

4.4 Procedimiento de entrenamiento

En base al procedimiento de entrenamiento las condiciones que el usuario debe reproducir en el registro EEG son adecuadas a un proceso, debido a que el usuario inicia en el uso de esta tecnología el cerebro no se encuentra adecuado y tampoco tiene la capacidad perceptiva para controlar a voluntad las funciones de las ondas cerebrales, en tanto los procesos de concentración y meditación son limitados, mencionadas funciones son modificadas con el objetivo de reducir el porcentaje de error al controlar los dos estados funcionales del sistema, para la definición dentro del procedimiento de entrenamiento de las funciones de concentración y meditación serán denominadas como evento M y evento C respectivamente.

En este proceso de entrenamiento se emplea una metodología de entrenamiento bajo supervisión, limitando este proceso con la realización de tres sesiones, precisando evaluar por cada evento los aciertos y errores cometidos, la evaluación está dentro del margen de comparación entre la diferencia del valor objetivo con el valor proporcionado por el usuario;

Durante el proceso de aprendizaje los parámetros de los eventos pueden ser modificados de dos maneras cuando se presenta y evalúa el sistema, cada modificación del patrón por evento es alterada en base a la respuesta del usuario al sistema y su adaptación, o bien al finalizar con todos los patrones de entrenamiento fueran presentados y evaluados, las necesidades computacionales para el procesamiento de la acción objetivo encender o apagar la luz artificial, por cada evento se comportan de forma diferenciada, en el caso del evento C las ondas beta alta y beta baja se alteran significativamente entrando en un estado de función cognitiva, entre los rangos que oscilan de 14 a 30 Hz, en el otro caso el evento M se obtiene una convergencia de las ondas alfa baja y alfa alta de forma lenta y con mayor amplitud y oscilan entre los 6 a 13 Hz donde el algoritmo eSense identifica y convierte esta información para ser procesada por el CPD.

4.4.1 Modificación de los parámetros por evento

En la modificación de los parámetros por evento PPE se corrige hasta alcanzar que el usuario controle conscientemente este parámetro marcando límites definidos en cada uno de los dos eventos y proporcionado un control gestionado por la función cognitiva adecuada.

En el marco de aprendizaje del proceso de entrenamiento es prioritario evitar una sobre carga de esfuerzo mental, para no provocar el agotamiento del usuario y un sentido de oposición al sistema por eso se emplea las siguientes técnicas:

- Comprensión del grupo de condiciones que afectan con la captación del registro durante el proceso de aprendizaje, de acuerdo a este grupo de condiciones se altera los patrones de evento en cada caso concluyendo con la determinación de rangos permisivos para el uso del sistema.

- Definición de estados para alcanzar los eventos C y M, dentro del aprendizaje en el proceso de entrenamiento se establece un valor mínimo de patrón de evento, se procede a evaluar la tasa de error por evento, por cada sesión, el patrón de evento se incrementa paulatinamente hasta obtener niveles de error aceptables.
- Detención del proceso de aprendizaje en un número bajo de iteraciones de forma que se permita a los patrones por evento alcancen los valores definitivos, causados por el efecto adquirido de neuroplasticidad.

El índice error que engloba al proceso de entrenamiento generalmente es alto debido a factores cognitivos y fisiológicos que afectan directamente al registro EEG.

4.5 Descripción casos de uso

Para la descripción de los casos de uso se refiere a la funcionalidad del sistema conformado por los actores inmiscuidos y a las posibles variantes que se expone el sistema, operando en base al comportamiento funcional de cada uno, de acuerdo a la relación que tiene el usuario, el entorno físico y el desarrollador con el sistema.

4.5.1 Circunstancias limitantes de uso

Dentro de las circunstancias de uso se constata que el sistema está bajo ciertas condiciones que limitan su funcionalidad y deben ser tomadas en cuenta en su diseño.

En la siguiente tabla se muestra las circunstancias de uso:

Tabla 7. Tabla de circunstancias de uso.

Parámetro	Descripción
Distancia	El usuario se aleja del dispositivo la distancia máxima de comunicación entre la IU y CDP durante el proceso de transmisión de datos.
	El usuario está a una distancia mayor a la distancia requerida para establecer la comunicación inalámbrica.
Comunicación	La IU tiene establecido la comunicación con el CPD, pero el usuario sale del rango de la distancia requerida y se pierde la comunicación inalámbrica, retornando al rango de establecimiento, la IU se restablece el enlace con el CPD.
	A iniciar el sistema en conjunto no se establece el enlace entre la IU y el CPD.
	Cuando la IU establece comunicación con otro dispositivo ajeno al sistema
Actuador Lumínico	El usuario apaga la IU y el actuador lumínico está activo - cuando el usuario pasa de la distancia máxima de la comunicación inalámbrica y el actuador lumínico está activo.
	El usuario no cumple con la función cognitiva acorde al evento de control el actuador no cambia de estado.
	La barra de estado indica que se ha alcanzado el patrón de evento y el actuador no cambia de estado.
Fuente de Energía	El sistema esta encendido y se desconecta el cable de alimentación o hay un apagón de la red eléctrica externa.

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

En base a lo informado por el usuario Mónica Escobar y a lo captado en el transcurso de los procesos de entrenamiento, el sistema está sujeto a condiciones de uso que limitan técnicamente al sistema.

4.5.2 Protocolo de ejecución del evento C (Concentración)

Durante el proceso para alcanzar el evento C es importante que el usuario adquiriera un nivel de control de sus funciones cognitivas permitiéndoles mantener la capacidad consiente; pero en base a la hipótesis propuesta se relaciona las dos funciones cognitivas antes mencionadas por la necesidad que provoca la ausencia inadecuada de luminosidad, en la figura 40 se muestra el flujograma de desarrollo donde se describe el proceso para alcanzar el evento C, en este caso son empleadas las funciones cognitivas, utilizando la captación por ventana de registro, durante el proceso de ejecución el usuario indica el momento de la realización mental para alcanzar el evento C. De igual manera se asocia las funciones cognitivas con el efecto neuroplastico, provocando que se genere la nueva red neuronal que abarca en conjunto a la actividad matemática y a la percepción de movimiento con el encendido del actuador correlacionándolos entre sí.



Figura 67. Usuario Mónica Escobar realizando evento C encendido

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

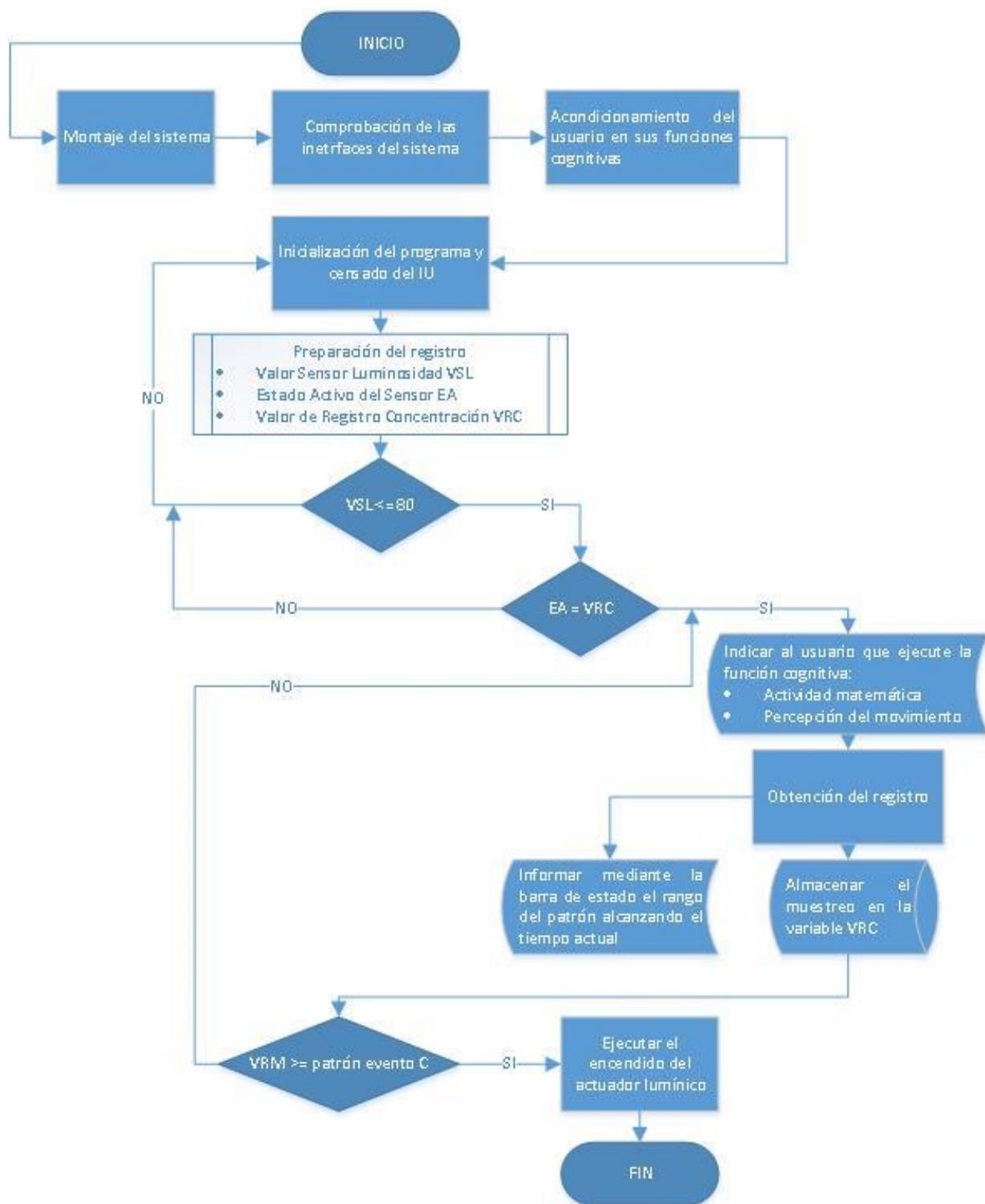


Figura 68. Flujograma de desarrollo del evento concentración.

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Figura]

4.5.3 Protocolo de ejecución del evento M (Meditación)

En el proceso para alcanzar el evento M, se captan registros de la actividad electroencefalograficà, mientras que el usuario ejecute la función cognitiva determinada y que el sistema compruebe los condicionamientos para la ejecución de control de apagado.

El objetivo de este proceso es obtener la captación del registro para la ejecución del evento M y la post activación del actuador lumínico en este caso el apagado del foco, para la comprobación que el usuario alcance el patrón de evento correcto se identifica con la barra de estado que muestra la información actual dimensionada a la escala del patrón relacionada a la función cognitiva propuesta.

Durante la captación del registro EEG el usuario está ubicado en la posición que realiza sus actividades académicas como se presentó en el capítulo 4, en una postura recostada con el espaldar, las piernas en dirección de su área de trabajo, y el CPD está ubicado e iluminando el área de trabajo.



Figura 69. Usuario Usuario Mónica Escobar realizando evento C encendido

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

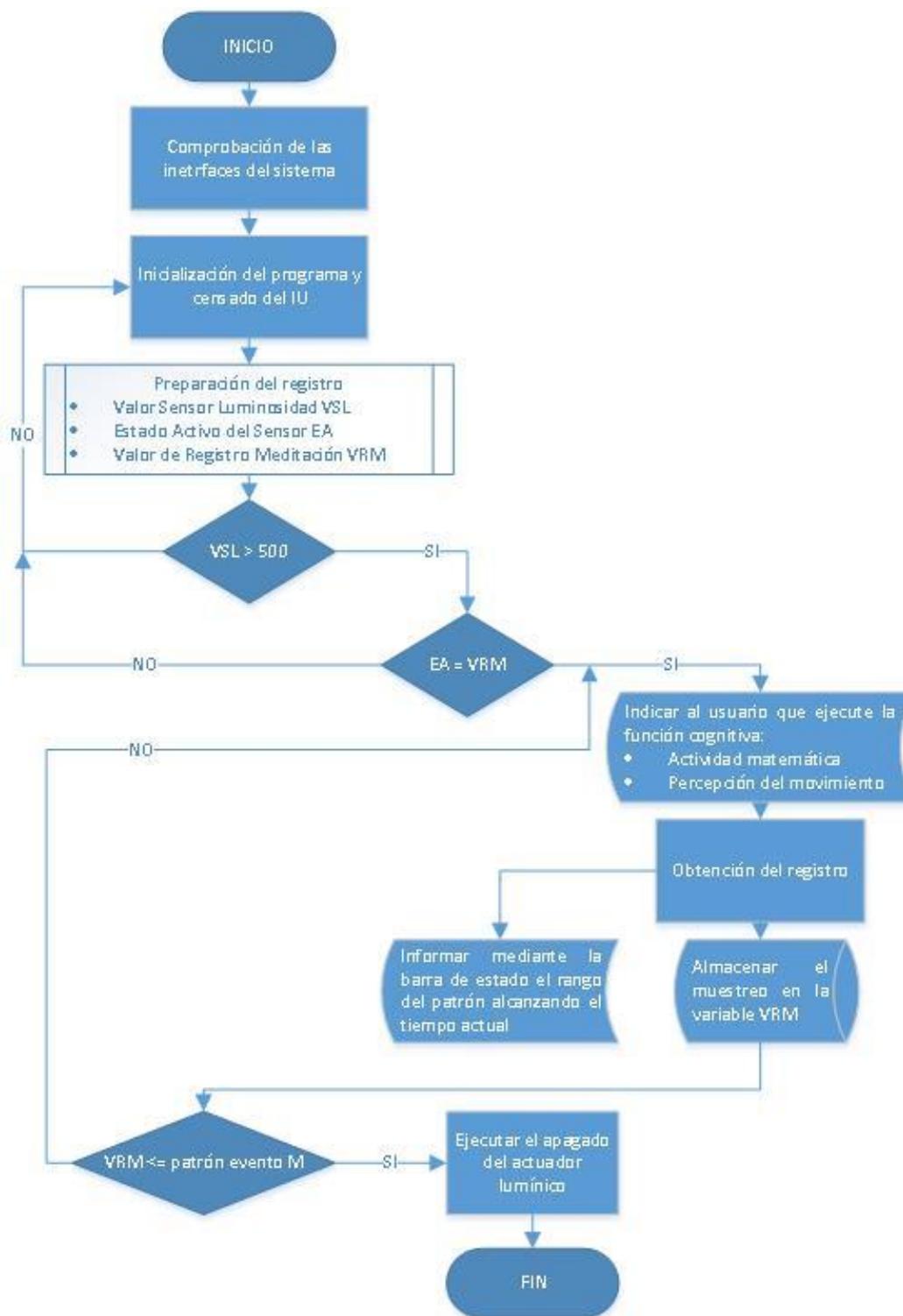


Figura 70. Flujograma de desarrollo del evento meditación.

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Figura]

4.6 Control de encendido y apagado del actuador lumínico.

En esta sección se detallara el uso del sistema cumpliendo con los pasos a seguir para el uso del mismo, para esto se formó segmentos que explican las condiciones iniciales, condiciones de uso y las postcondiciones:

4.6.1 Condiciones iniciales

A1. Se ejecutan los protocolos de preparación de usuario y sistema, comprobando el funcionamiento correcto.

A2. Es encendió el sistema, el IU y el CPD establecen la comunicación esto se puede ver mediante lo indicadores de la IU cambia de estar intermitente a mantenerse encendido, el módulo BlueSMiRF SilverRN-42 de igual manera cambia de un estado intermitente de color rojo, a un color verde.

A3. Es comprobada visualmente la barra de estado del CPD que la captación de los registros son llevados a cabo.

4.6.2 Condiciones de uso

B1. El usuario construye mentalmente la función cognitiva asociada al evento de control de acuerdo a la acción deseada, en el caso de encender el actuador lumínico debe ser provocado el evento C de acuerdo al PPE y para apagar el actuador de igual manera se debe alcanzar el PPE para el evento M.

B2. El usuario puede constatar visualmente que su construcción mental obedece a la acción deseada mediante la barra de estado, que informa en tiempo real los rangos de registro que el usuario alcanza.

B3. El sistema procede según el protocolo del evento, como se encuentra en estado inactivo debe ser alcanzado el evento C, activando el actuador lumínico después de haber alcanzado el patrón por evento.

B4. Para el apagado del actuador se trabaja de igual manera que el anterior proceso, pero se verifica que la acción determinada por el evento M es posible realizarse mediante un sensor lumínico que condiciona la ejecución de dicho evento.

4.6.3 Postcondiciones

C1 El actuador lumínico permanece activo aun cuando la IU se desconecta del CPD, cuando ocurre este caso dentro del programa se verifica que no se recibe datos del IU y el sensor de luz comprueba que el actuador lumínico está activo, se procederá a pasar a modo inactivo

C2 Después de haber realizado el proceso B1 el sistema pasa a esperar que la IU vuelva a establecer conexión con el CPD y a repetir el proceso desde el literal A3

4.7 Análisis discriminante de patrones por evento

Durante el proceso de entrenamiento se obtuvo resultados en los rangos de patrones por evento, con estos datos se prosigue a realizar un análisis basado en la técnica discriminante, la figura 62 indica el diagrama de actividades; el proceso se lo realiza con un muestreo de los

registros captados y el número de intentos que el usuario determina que realiza con la función cognitiva ejecutada, en esta metodología de análisis se usan los patrones característicos obtenidos en el muestreo de la señal EEG conforme avanza el proceso de entrenamiento.

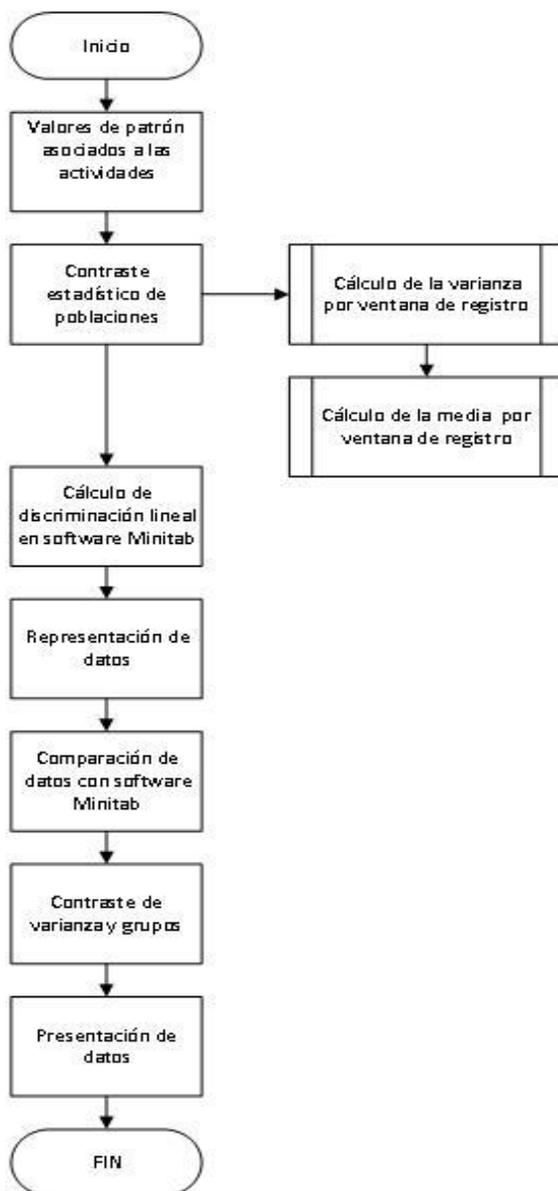
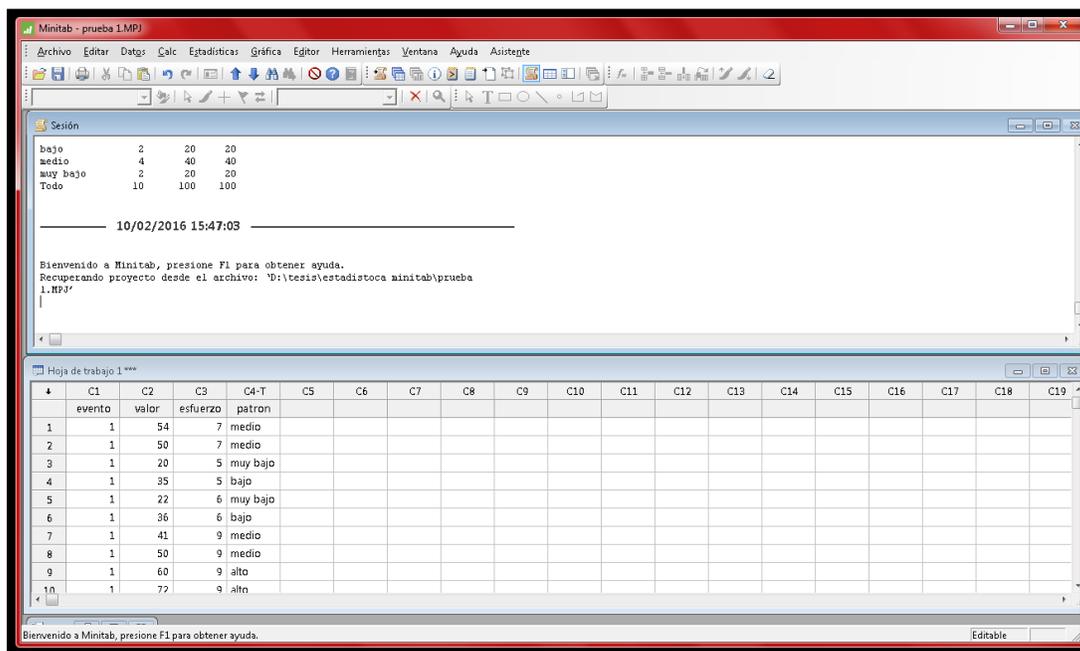


Figura 71. Diagrama de procedimiento análisis discriminante de datos del registro EEG para el usuario

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Figura]

Para la determinación de los patrones por evento que son discriminados de cada ventana de registro (número máximo de registros para la ejecución de un evento) se aplica el contraste estadístico de poblaciones, mediante el software Minitab de estadística esta herramienta permite el análisis de comprobación del PPE está dentro de los grupos establecidos en base al sistema, con esto se corrobora que los patrones deber ser modificados en base a la aceptación y habilidad del usuario al adaptarse al cambio de la realización de una iteración física para el encendido con el control sistema basado en la tecnología EEG.



The screenshot shows the Minitab software interface. The top window, titled 'Sesión', displays a table of data and a welcome message. The bottom window, titled 'Hoja de trabajo 1 ***', displays a data table with columns for event, value, effort, and pattern.

Sesión

bajo	2	20	20
medio	4	40	40
muy bajo	2	20	20
Todo	10	100	100

10/02/2016 15:47:03

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.
Recuperando proyecto desde el archivo: 'D:\tesis\estadistica minitab\prueba 1.MPJ'

Hoja de trabajo 1 ***

	C1	C2	C3	C4-T	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
	evento	valor	esfuerzo	patron															
1	1	54	7	medio															
2	1	50	7	medio															
3	1	20	5	muy bajo															
4	1	35	5	bajo															
5	1	22	6	muy bajo															
6	1	36	6	bajo															
7	1	41	9	medio															
8	1	50	9	medio															
9	1	60	9	alto															
10	1	77	9	alto															

Figura 72. Establecimiento de los grupos de PPE para el evento E con software estadístico Minitab

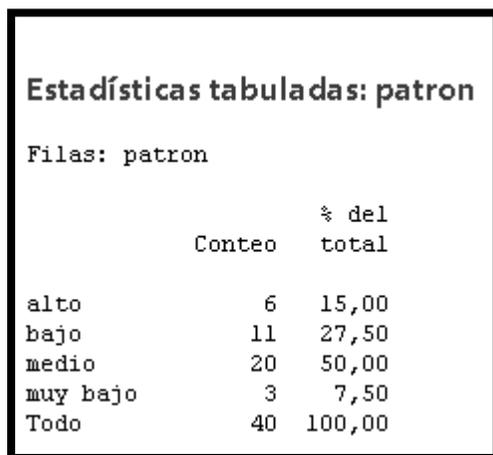
Referencia: Elaborado por Marco Jimenez. [Imagen]

4.7.1 Análisis discriminante lineal de sesión

Datos del usuario

- Nombre: Mónica Escobar
- Fecha:
- Numero de sesión: 1
- Evento: Concentración
- Función cognitiva: Actividad matemática, Percepción del movimiento
- Duración de la sesión: 30 minutos

En la figura 64 se puede ver la estadística de patrón de sesión que presenta la información de los datos EEG registrados con el porcentaje total de la captación en la sesión realizada, esto aporta al cálculo del análisis discriminante de datos.



	Conteo	% del total
alto	6	15,00
bajo	11	27,50
medio	20	50,00
muy bajo	3	7,50
Todo	40	100,00

Figura 73. Estadísticas de patrón de sesión

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

Mediante el software se ingresan los datos obtenidos en la captación de registros EEG realizados en la primera sesión (Proceso de entrenamiento) como antes ya se mencionó que durante esta fase se realiza una modificación de los parámetros por evento que el usuario alcanza para el control del sistema en base a esto se aplica el análisis discriminante lineal, con el software estadístico se llegó a la siguiente información obtenida en la figura 65

Análisis discriminante: patrón vs. valor. esfuerzo

Método lineal para respuesta: patrón

Predictores: valor. esfuerzo

Grupo	alto	bajo	medio	muy bajo
Conteo	6	11	20	3

Resumen de clasificación

Colocar en un grupo	Grupo verdadero			
	alto	bajo	medio	muy bajo
alto	6	0	1	0
bajo	0	10	1	0
medio	0	0	18	0
muy bajo	0	1	0	3
N Total	6	11	20	3
N correcta	6	10	18	3
Proporción	1,000	0,909	0,900	1,000

N = 40 N Correcta = 37 Proporción Correcta = 0,925

Distancia cuadrada entre grupos

	alto	bajo	medio	muy bajo
alto	0,0000	50,1109	12,2309	76,4204
bajo	50,1109	0,0000	12,8281	3,1617
medio	12,2309	12,8281	0,0000	27,7071
muy bajo	76,4204	3,1617	27,7071	0,0000

Figura 74. Análisis discriminante patrón vs valor esfuerzo

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

En la figura 65 expone la información determinante del análisis

- En la primera parte se puede observar los grupos establecidos entre alto, medio, bajo y muy bajo con el conteo de registros para cada grupo
- Después muestra la clasificación que el software calcula y define, en la primera fila presenta el grupo alto donde se identifican seis registros pero con una tendencia de un registro en el grupo medio el cual está en aproximación a alto
- El grupo bajo se identifican diez registros pero con una tendencia de un registro en el grupo medio el cual está en aproximación a bajo y con otro registro en tendencia.
- El grupo medio se identifican dieciocho registros de los veinte establecidos debido a que 2 registros están con tendencias a otros grupos.
- El grupo muy bajo se identifican los tres registros pero con una tendencia de un registro a bajo.
- Entrando en un número correcta de porción en el grupo alto de 100% y en muy bajo de 100%

De acuerdo a esta clasificación el establecimiento de grupos para los valores para la ejecución de los eventos C de control son los correctos, cabe recalcar que para la definición de los PPE esta es correcta pero en vista del número de intentos la tasa de error es mayor obteniendo un 70% de acierto para el evento M. la clasificación correcta son 37 registros encasillados en cada grupo establecido esto identifica que los PPE establecidos son adecuados para el uso del sistema, como fase de prueba inicial.

Función discriminativa lineal para grupos				
	alto	bajo	medio	muy bajo
Constante	-97,363	-29,528	-57,605	-17,910
valor	1,974	0,950	1,468	0,702
esfuerzo	5,442	3,934	4,699	3,196

Resumen de las observaciones clasificadas incorrectamente					
Observación	Grupo verdadero	Grupo de predictores	Grupo	Distancia cuadrada	Probabilidad
22**	medio	bajo	alto	29,331	0,000
			bajo	2,797	0,605
			medio	3,697	0,386
24**	bajo	muy bajo	muy bajo	11,188	0,009
			alto	86,688	0,000
			bajo	7,039	0,049
			medio	34,825	0,000
29**	medio	alto	muy bajo	1,087	0,951
			alto	4,110	0,691
			bajo	32,740	0,000
			medio	5,718	0,309
			muy bajo	55,968	0,000

Figura 75. Análisis discriminante patrón vs valor esfuerzo

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

En la figura 66 se observa la función discriminante lineal de grupos donde se presentan las variables que han tenido mayor poder discriminativo para asociar el patrón a un grupo o a otro identificando el esfuerzo realizado para alcanzar el grupo alto con un valor de 5,442 siendo el mayor de todos los grupos, esto lleva a que para que los valores de registros en alcanzar el evento C se debe realizar un mayor esfuerzo lo cual contrarresta al sistema, haciendo que el usuario establezca deba realizar un mayor esfuerzo esto con los datos obtenidos en la primera sesión pero como se expuso en el capítulo 2.5 la neuroplasticidad y al efecto priming son los factores del cerebro que harán que el sistema aumente progresivamente con el uso continuo por parte del usuario.

4.7.2 Interpretación de graficas de la captación del registro EEG

En esta sección se interpreta las gráficas de los datos obtenidos en el registro EEG durante el procedimiento de entrenamiento de Mónica Escobar para el uso y control del sistema.

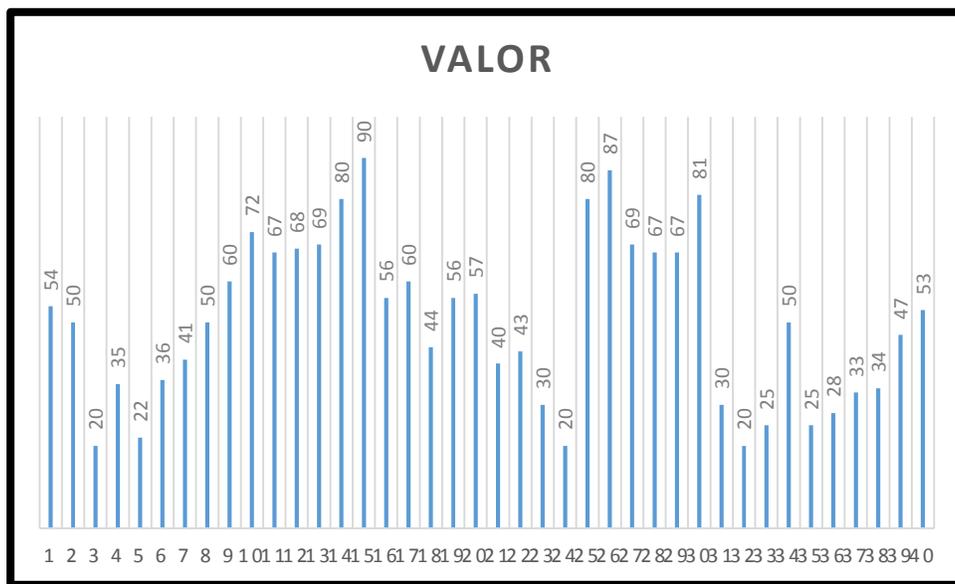


Figura 76. Grafica de datos del registro EEG para el usuario Mónica Escobar

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Figura]

Como se puede ver en la figura 67 las fluctuaciones de los registros varían para el caso de alcanzar el PPE del evento C con el objetivo de activar el actuador lumínico esto determina que el usuario debe pasar por el procedimiento establecido de entrenamiento, para contar con un mejor manejo conscientes de sus funciones cognitivas y poder alcanzar el evento que determina la acción deseada, otro aspecto a tomar en cuenta que el número de registros EEG es relativamente menor al generado por el usuario en el transcurso del uso del sistema, el motivo de esto es forzar al usuario

a que logre el control del sistema en cortos periodos y evite el cansancio mental que este provoca manteniendo un uso más prolongado y con mayor efectividad.

En la figura 68 se muestra la gráfica de análisis evento donde nos presenta mediante puntos que el evento C es alcanzado en cinco ocasiones y el resto de construcciones no alcanzan el PPE, cabe recalcar que el usuario está en el primero usos del sistema y que su control aumentara progresivamente de acuerdo a la continuidad de uso que este lo realice.

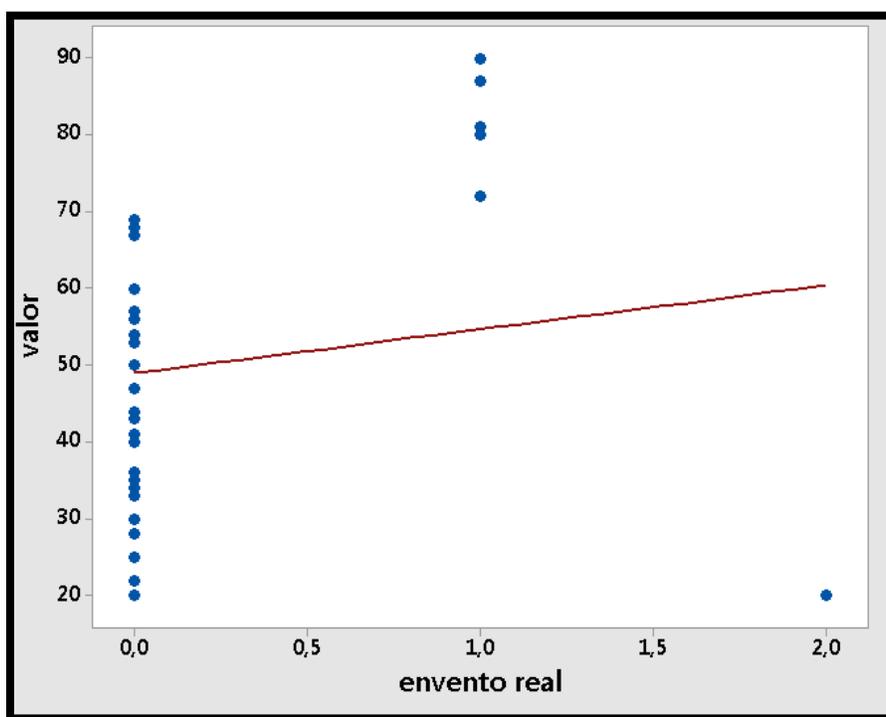


Figura 77. Grafica de análisis valor evento

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Figura]

5 ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se realizará un análisis económico entre el costo de los materiales, la elaboración del sistema electrónico de iluminación (on-off) y su implementación. Se desarrollará la recopilación de resultados, con un análisis comparativo costo beneficio y la funcionalidad del sistema siendo el marco de desarrollo el mejoramiento de la calidad de vida.

5.1 Costo de hardware implementado en el sistema electrónico de iluminación (on-off)

Para la construcción del sistema se fomentó el uso de materiales de bajo costo debido a que se orienta a personas con discapacidad físico motriz las cuales no cuentan con un alto presupuesto, esto genera una mayor aceptación del sistema no solo como herramienta de encendido y apagado de una iluminaria sino que también puede ser implementada en base al mismo diseño, en dispositivos que cuenten con un encendido/apagado eléctrico esto generaliza aún más al sistema y aporta mayor funcionalidad para determinadas acciones.

En la tabla 10 se expone los valores de los materiales usados en la elaboración del sistema.

Tabla 8. Costo Componentes (módulos) para la implementación del sistema

Cantidad	Material	Valor unitario	Valor total
1	Sensor Mindwave mobile	\$ 99,00	\$ 99,00
1	Módulo BlueSMiRF SilverRN-42	\$ 40,00	\$ 40,00
1	Arduino Micro	\$ 25,00	\$ 25,00
1	Lámpara de escritorio	\$ 12,00	\$ 12,00
1	Foco ahorrador	\$ 2,25	\$ 2,25
1	Rectificador de señal AC	\$ 4,00	\$ 4,00
1	Gatos de envío		
Total			\$ 182,25

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

En la tabla se presenta los valores de los materiales electrónicos para la elaboración del circuito impreso, en el transcurso del diseño se realizó distintas pruebas en la cuales ciertos materiales presentaban fallas o daños por el uso, de acuerdo a esto se adquirió algunos materiales en repetidas veces estos valores son tomados en cuenta en la tabla.

Tabla 9. Costo de materiales eléctrico para la construcción del circuito impreso

Cantidad	Material	Valor unitario	Valor total
12	Cables conectores	\$ 0,15	\$ 1,80
8	Resistencias 330 ohmios	\$ 0,60	\$ 4,80
2	Resistencias 1 Kohmio	\$ 0,80	\$ 1,60
1	Condensador 100 uF	\$ 0,20	\$ 0,20
1	Relé de 12Vdc (RH-012C)	\$ 1,80	\$ 1,80
1	Transistor NPN 2n2222A	\$ 1,10	\$ 1,10
2	Switch	\$ 0,50	\$ 1,00
4	Borneras 2 pines	\$ 0,40	\$ 1,60
4	Espadines tipo hembra	\$ 0,20	\$ 0,80
12	Diodo Led	\$ 0,40	\$ 4,80
1	Módulo tipo relé	\$ 10,00	\$ 10,00
1	Cautín	\$ 8,00	\$ 8,00
1	Baquelita de fibra de vidrio	\$ 4,00	\$ 4,00
1	Papel termotransferible	\$ 1,50	\$ 1,50
2	Impresión laser	\$ 0,80	\$ 1,60
1	Estaño	\$ 2,00	\$ 2,00
1	Cargador celular	\$ 3,50	\$ 3,50
Total			\$ 50,10

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

5.2 Costo de software implementado en el sistema electrónico de iluminación (on-off)

Dentro del uso de software para el sistema, para las diferentes configuraciones se desarrolló en base a software libre el cual no tiene ningún costo, el e caso del análisis discriminante se aplicó un software con licencia pagada, pero se usó una licencia de 30 días gratuitos con lo que es suficiente para el análisis, por otra parte el software que controla el sensor Mindwave cuenta con

algoritmo eSense el cual está bajo uso de licencias de la empresa NeuroSky, dentro de sus políticas de uso está la implementación del desarrollo de aplicaciones mediante entornos Open Source específicamente Arduino como lo realizado en el sistema, conforme a los derechos para el uso del sistema entra dentro del marco de la licencia Creative Commons.

Tabla 10. Costos de software

Cantidad	Software	Valor
1	IDE Arduino	\$ -
1	Ttempo	\$ -
1	MiniTab	\$ -
1	EAGLE 6.4	\$ -
	Total	\$ -

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

Estos valores son considerados para el inicio del desarrollo del sistema, pero en base a que el sistema sea adaptativo a cualquier tipo de usuario con discapacidad físico-motriz, esto se tomaría en cuenta para el número de usuarios que se beneficien del sistema, de acuerdo al REGISTRO NACIONAL DE DISCAPACIDADES DEL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA DEL ECUADOR - AGOSTO 2015 el 48% de personas con discapacidad padecen un cierto grado de discapacidad física, un total de 203880 personas podría brindarse un sistema con cierta similitud al diseñado acogándose a un desarrollo más adaptativo.

5.2.1 Análisis costo beneficio

Para el análisis del costo beneficio se manejara el método costos basado en actividades (ACB) donde se determinará si es viable el sistema en comparación con el costo que implica la

construcción e implementación del mismo, algo tentativo para tomar en cuenta que el tiempo de desarrollo y diseño pueden afectar en este análisis, en las tablas 10 y 11 se detalla los valores de los materiales empleados durante el desarrollo del sistema basándose en los precios actuales que se ofrecen en el mercado.

Tabla 11. Costos del Proyecto

Descripción	Valor	
Costo de componentes para la implementación del sistema	\$	182,25
Costo construcción del circuito impreso	\$	50,10
Costos de software	\$	-
Total	\$	232,35

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

Con el objetivo de determinar la viabilidad del sistema se compara el beneficio obtenido por el uso del sistema electrónico de iluminación (on-off), con los costos de diseño, construcción e implementación, para este proceso se fundamentará en estimaciones que el usuario proporciona en base al apoyo que el sistema le proporciona en la realización de sus actividades, para lo cual estos beneficios son indicados a continuación.

- Debido a la acción de levantarse, bajarse de su área de trabajo, trasladarse hasta el interruptor de pared y realizar el mismo procedimiento para regresar a la posición inicial consume tanto energía como tiempo.
- Esta acción el usuario la presenta como una incomodidad, que genera fatiga y desconcentración al momento de realizar las actividades académicas provocando una baja en el rendimiento.

- Para no realizar esta acción el usuario mantiene la luz encendida aun cuando no se esté realizando ningún tipo de actividad provocando un consumo innecesario de energía y de acuerdo al “Economics of Switching Fluorescent Lamps IEEE” el mantener encendido un foco fluorescente consume más que el encender y apagar cada vez que son se utilice, con la siguiente formula se determina el consumo de la iluminaria para actividades académicas.

$$\text{valor \$} = \text{foco fluorescente watts} * \text{N}^\circ \text{ de horas de uso} * \text{N}^\circ \text{ de dias al mes} \\ * \text{valor kilovatio hora}$$

Dando como resultado un valor de 0,59\$ por mes al año.

- El beneficio funcional del sistema no tiene comparación con el costo de construcción del mismo, otorgándole un mayor grado de autonomía para su vida, según lo concluido por Mónica Escobar.

Determinando los beneficios otorgados por el sistema con el costo de construcción e implementación, por la tanto una inversión 232,35\$ si tomar en cuenta los costos intangibles los cuales esta implícitos dentro del desarrollo del mismo, se obtiene un beneficio social no comprable al costo, el ACB del sistema electrónico de iluminación (on-off) concluye en que el proyecto fomenta el desarrollo del sistema para diferentes aplicaciones.

5.2.2 Impactos

El desarrollo del sistema tiene una afectación en aspectos social y personal

5.2.2.1 Aspecto social

Dentro del impacto generado del sistema con el grupo social al que esta direccionado que son las personas con discapacidad física, está el fomentar un cambio en las actividades comunes promoviendo un grado mayor de autonomía, en tanto como esta predefinido el control del encendido y apagado de un solo actuador lumínico (lámpara de escritorio), se encajona este aplicativo, pero con la recomendación que el sistema tiene un base más globalizada en el desarrollo de aplicaciones similares para usuarios con características parecidas, consolidando el aspecto social al desarrollo como tecnología de apoyo que la organizaciones mundial de la salud estipula en promover este tipo de investigaciones, convirtiéndose en una tecnología de asistencia.

5.2.2.2 Aspecto personal

Mónica Escobar ha manifestado que el sistema toma un aspecto simple para personas que tiene todas sus capacidades físicas, que la acción que realiza es sencilla no obstante esta acción tiene cierto conjunto de requerimientos para lograrla, todo esto va más allá de la forma en que el sistema resuelve el problema a través de algo tan dogmático como es el encender y apagar un foco con el solo hecho de construir una red neuronal en función de una actividad cognitiva, propinando a que el sistema supla la condición que afecta al usuario desvinculándolo de estas ataduras, el beneficio que Mónica Escobar encuentra puede ser tomado a la ligera dese el punto que se lo tome, pero desde su posición este cambia la perspectiva de como realiza esta acción, beneficiándola en un ámbito personal que le da esa capacidad de sentir que no necesita de algún tipo de ayuda o que no debe realizar un mayor esfuerzo por algo tan normal para otras personas , en este caso ella percibe la asistencia que lo otorga, pero suponiendo que el usuario tenga una mayor discapacidad al punto

de no moverse, conceder el sentir que pueda realizar un acción sin la necesidad de tener que interactuar físicamente no tiene comparación con el costo del sistema.

6 CONCLUSIONES RECOMENDACIONES

Para finalizar el sistema electrónico de iluminación (ON-OFF), se desplegará un proceso de conclusiones en base a los resultados obtenidos y se generará recomendaciones, orientado a futuros desarrollos de investigación dentro de la misma área.

6.1 Conclusiones

- Se construyó el sistema electrónico de iluminación (ON-OFF) mediante el control de señales cerebrales basado en tecnología EEG, convirtiéndose en una tecnología de apoyo para personas con discapacidades físico – motriz, siendo que este sistema constituyen en una herramienta tecnológica que otorga un mayor grado de autonomía para este grupo social, en el margen del sistema este se presenta como un aplicativo que cuenta con una gama de aplicaciones en educación, bienestar y desarrollo.
- Se investigó acerca de la tecnología EEG, que engloba la captación y el tratamiento de las señales cerebrales, con lo cual se fundamentó en el uso de un sensor con las capacidades necesarias para el desarrollo aplicativo del sistema.
- Se determinó que el cerebro es el centro de las facultades mentales y que tiene capacidades de cambio que a simple vista no se puede constatar, sus disposición le permiten formar un aprendizaje y adaptación al entorno interno y externo mediante modificaciones en su estructura neuronal, supliendo necesidades que lo aquejan, siendo este fenómeno definido como neuroplasticidad la construcción de nuevas redes neuronales.

- Se comprobó que unas de las consecuencias de la neuroplasticidad es efecto Priming, siendo la sensibilidad que gozamos ante ciertos eventos que desencadenan reacciones funcionales, en el caso del sistema este tubo una fase de adaptabilidad donde este efecto provocó una mejor adaptación al sistema sienta que el usuario con una ventana de registro de 40 datos captados el 79% de estos son patrones para el evento C, con la construcción de las funciones cognitivas para alcanzar el control consciente del sistema por parte del usuario.
- Se comparó entre las diferentes ofertas del mercado en sensores EEG, constituyendo que esta tecnología está en fases muy adelantadas de desarrollo para este tipo de dispositivos, que disponen de mayores capacidades de captación y procesamiento en el registro EEG, con tamaños reducidos, una portabilidad cómoda, con costos más asequibles y la posibilidad de generar desarrollo aplicativo en entornos Open Source.
- Se exploró entornos de desarrollo Open Source que tenga compatibilidad con el sensor EEG elegido para el sistema, esto permitió la disponibilidad de materiales tanto módulos como elementos electrónicos para el diseño basado en las características del usuario, las limitaciones técnicas y los requerimientos a satisfacer.
- Se generó procedimientos y protocolos para la implementación del sistema en un usuario específico, en base a las capacidades presentes por la neuroplasticidad, componiendo una metodología que permite adecuarse al uso del sistema para cada usuario, consecuentemente este proceso provoca la disponibilidad de ajuste a los patrones por evento, que posibiliten al usuario un desenvolvimiento más fluido con

el sistema, formando un sistema personalizado y moldeable a las necesidades del usuario, tanto físicas como mentales.

- Se incluyó un sistema de desarrollo basado en el estándar IEEE 29148 diseñado para desarrollo en tratamiento unificado de los procesos y productos que intervienen en requisitos de ingeniería, con esto se pudo construir un mejor diseño apoyándose en el mismo.
- Se analizó los datos obtenidos en la captación de los registros EEG, mediante la técnica de Análisis Discriminante Lineal, donde proyectó que los valores dimensionados cambian el usos del sistema con porcentajes de 79 % de eventos C logrados en la cuarta sesión, siendo mayor comparada con la primera sesión que obtuvo tan solo 30% de eventos C alcanzados adecuados al patrón por evento que el usuario debe alcanzar, siendo analizado en 4 sesiones.
- Se comprendió que en el momento de la captación del registro EEG, existen condiciones que afectan al registro para el evento concentración como distracciones, la no predisposición al uso del sistema, estados emocionales, pensamientos erróneos y ansiedad, de la misma manera para el evento meditación, cabe mencionar que este estado no es a nivel físico si no mental ya que en repetidas ocasiones el usuario relajaba su cuerpo pero sin ningún cambio en el registro, en cambio para alcázar el patrón por evento puede ser logrado con solo cerrar los ojos reduciendo los procesos mentales y alcanzado dicho evento.

6.2 Recomendaciones

- El presente proyecto forma una base en el desarrollo de aplicaciones de apoyo basadas en el uso de la tecnología EEG, para personas con discapacidad físico-motriz, albergando un entorno de desarrollo de actividades, para esto se recomienda el desarrollo de futuras investigaciones dentro del marco que la tecnología lo propone, con lo cual este desarrollo de aplicativos tiene un amplio número de ramificaciones a ser realizadas.
- Es necesario el uso de nuevos equipos enmarcados en la tecnología EEG, como la implementación de herramientas de investigación como el NeuroView un software para el análisis, procesamiento y registro de datos o el NeuroSkyLab un formato más avanzado en la investigación EEG con compatibilidad con entorno MATLAB.
- Es recomendable una pre socialización con el usuario debido a que este tipo de tecnología puede ser pensada que realiza otro tipo de funciones o que no es posible la aplicación de la misma en sus actividades, durante el protocolo de preparación y proceso de entrenamiento se fomenta un uso continuo del sistema debido a que este tiene una curva de aprendizaje en función del número de repeticiones de uso, correspondiendo al efecto producido por la neuroplasticidad.
- Durante la realización del proyecto se encontró una infinidad de aplicaciones para esta tecnología de apoyo, como un sistema para Mónica Escobar el cual le permita contestar el teléfono celular mediante una App en el momentos que se encuentre caminando, debido a su condición esta acción se le hace imposible de realizar y forma una problema que le aqueja mayormente, este y muchos aplicativos más puede ser explotados para futuros desarrollos basados en la tecnología EEG.

- Otro aspecto significativo hacia futuras aplicaciones es el de poder generar nuevos formatos para la captación de los registros no encajonados en solo dos, entendiendo que el cerebro controla cada fusión con una región específica, en base a esto y con sensores con mayores canales como es el Emotiv se podría disponer de mayores capacidades de control a cada función, con lo cual los aplicativos aumentan exponencialmente y potenciando el cubrimiento de necesidades más complejas para personas con discapacidad física.
- En lo respecto a la investigación puede ser aumentada y mejorada mediante el trabajo conjunto con profesionales enfocados en el estudio del cerebro como neurólogos, ya que el cerebro se comportan como un universo aparte y el entendimiento está en fases muy tempranas, debido a que como desarrollador este aspecto impone límites en el diseño, el estudio enfatiza un mejor sistema de control ya que se cimenta en funciones mucha más específicas para que el usuario con una interfaz mejor desarrollada pueda facilite su uso.

BIBLIOGRAFÍA

Sandra Aamodt and Sam Wang. (2008). *Welcome to Your Brain*. Barcelona (España). Ediciones B, S. A

La Asociación Británica de Neurociencias. (2012). *Neurociencia La ciencia del cerebro*. Liverpool (BritishNeuroscienceAssociation; BNA

Ahmed M y Ahmed M. (2005). *BRAIN COMPUTER INTERFACE SYSTEM. Graduation project report*. Universita Telematica Internazionale

Braidot N. (2013). *Como funciona tu cerebro para dummies*. Barcelona. Wiley Publishing Inc

Turlough M., Gruener G., Mtui E. (2012) *Neuroanatomía clínica y neurociencia*. Barcelona. Elsevier Limited.

Kandel E., Schwatz J., Jessell T. (2008). *Principios de Neurociencia*. New York United States of America. Center for Neurobiology Behavior Columbia University.

Lawrence E. y Lane K. (2008) *La nueva neurociencia de la psicoterapia, la hipnosis terapéutica y la rehabilitación: un diálogo creativo con nuestros genes* California USA. Instituto Erickson de Madrid.

Carpenter M. (2011). *Neuroanatomía Fundamentos*. Baltimore. Willians & Wilkins.

Stephen G. (2014). *Neuroanatomía clínica*. London, England. McGrawHill.

Webb W. y Adler R. (2010). *Neurología*. Barcelon. Elsevier S.L.

Robbins R. y Stonehill M. (2014) Investigating *the NeuroSky MindWave EEG Headset*.
TRL.

Quintanar J. (2011) *Neurofisiología básica*. México. Universidad Autónoma de
Aguascalientes

Rodríguez M. (2010) *Todo sobre el cerebro y la mente*. Barcelona España. Editorial
Planeta.

Tirapu J. (2010). *¿Para qué sirve el cerebro?* Bilbao. Editorial Desclene de Brouwer.

Organización para la cooperación y el desarrollo económicos (2007) *La comprensión del
cerebro*. Universidad Católica Silva Henríquez

Manes F. y Niro M. (2014). *Usar el cerebro. Conocer nuestra mente para vivir mejor*.
Titivillus.

Ltp dinamic and interactive. (1995) *PROCESSES OF SYNAPTIC PLASTICITY*. R. C.
Malenka, en The Neuroscientist.

Nieto M. (2003) *Plasticidad Neuronal*. Madrid España

Richi A. (2012) *Bluetooth*. Escuela Tecnica Superior de Ingenieria - ICAI. Universidad
Pontficia Comillas

Caminos J. (2011). *Criterios de diseño en iluminación y color*. Editorial de la
Universidad Tecnológica Nacional.

Bengochea, L., & Piedra, N. (2012). ATICA 2012 IV Congreso Internacional sobre Aplicación de Tecnologías de la Información y Comunicaciones Avanzadas. Loja: alfa.

Bassett, DS y Bullmore, E. (2012) Small-world brain networks. *The Neuroscientist: a review journal bringing neurobiology, neurology and psychiatry.*

Beltrachini, L. (2012) Procesamiento de señales e imágenes biomédicas para el estudio de la actividad cerebral. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata.

Bleichner, MG, Vansteensel, MJ, Huiskamp, GM, Hermes, D, Aarnoutse, EJ, Ferrier, CH, y Ramsey, NF. (2011). The effects of blood vessels on electrocorticography. *Journal of neural engineering.*

Londoño J. (2013) *Estudio de redes de sensores y aplicaciones orientadas a la recolección y análisis de señales biomédicas.* Medellin Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana.

Razumiejczyk E., Lopez A., Macbeth G., (2008) *El efecto de priming y sus variantes experimentales.* Buenos Aires Argentina. Facultad de Psicología y Psicopedagogía de la USAL.

NeuroSky. (2009) *Interfacing the MindSet with Arduino.* San Jose USA. NeuroSky, Inc.

ANEXOS

Anexo A

Manual de usuario

En la siguiente sección se detalla un manual de usuario para el uso del sistema donde se explica los elementos informativos, botones, indicadores lumínicos, la posición correcta del sensor tipo diadema auricular y la concentración/meditación para el control.

Introducción

El sistema electrónico de iluminación (ON-OFF) mediante el control de señales cerebrales se ha diseñado como tecnología de apoyo para personas con algún grado de discapacidad física. La cual emplea un sensor que registra las ondas cerebrales (IU) y una plataforma de hardware libre encapsulada en la estructura de una lámpara tipo brazo (CPD), mantiene una comunicación inalámbrica permite al usuario alejarse a una determinada distancia, la función principal del sistema es posibilitar el control del encendido y apagado de una lámpara con la construcción mental (concentración – meditación).

Elementos informativos

El sistema electrónico de iluminación (ON-OFF) está compuesto por dos dispositivos como se puede ver en la figura.

En la siguiente figura se muestra los componentes del sensor Mindwave Mobile (IU).



Figura 78. Componentes del sensor Mindwave Mobile (IU).

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

En la siguiente figura se muestra los componentes de la lámpara (CPD)



Figura 79. Componentes de la lámpara (CPD)

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

Nota: El Centro de Procesamiento de Datos CPD es una adaptación física de los elementos para la comunicación y procesamiento, en una lámpara estándar tipo brazo.

Botones

El único botón del sistema es el encendido y apagado del sensor Mindwave Mobile, de ahí carece de algún tipo interacción física la ubicación se ve en el a figura—en el apartado —, el sistema está configurado por omisión para conectar el IU con el CPD, a partir de ese momento solo debe ser realizadas construcciones mentales de las funciones a determinadas a realizar.



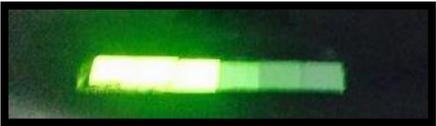
Figura 80. Botón de encendido sensor Mindwave Mobile

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

Indicadores lumínicos

En la figura – en los apartados ---- se muestra los indicadores lumínicos que el sistema cuenta tanto el IU como en el CPD, a continuación en la tabla – se detallan cada uno

Tabla 12. Elementos indicadores del sistema de iluminación

Imagen	Descripción
	<p>El indicador lumínico del sensor Mindwave Mobile, es de color azul, indica tanto el encendido, si está en modo búsqueda del establecimiento de comunicación o si ya se estableció la comunicación con el CPD. Cuando el indicador cambia el color a rojo indica que la batería está agotada.</p>
	<p>La barra de estado muestra en tiempo real, una escalada de los registros obtenidos del sensor, tiene 6 niveles los cuales varían con cada registro según la escala tanto en concentración y meditación</p>
	<p>Indicador de captación del registro, presenta en encendido que el sensor está captando las señales EEG, en pagado indica que el sensor no capta los registros de manera correcta.</p>



Indicador de comunicación, mantiene una intermitencia en color rojo cuando está buscando establecer la conexión entre el IU y el CPD, cuando el sensor establece la conexión este pasa a mantenerse encendido en color verde

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imágenes]

Escalas de la barra de estado

En la figura – se puede ver la escala que está conformada la barra de estado, dividida en 6 segmentos cada uno tiene un valor de alcance, tanto para la concentración como para la meditación.

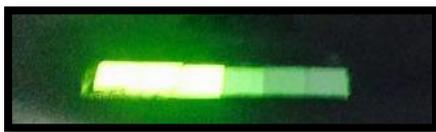


Figura 81. Barra de estado con los niveles en valor 3 encendido y los siguientes niveles apagado

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

Posición sensor Mindwave Mobile

El sensor tiene una luna que se ubica en la parte superior de la cabeza la cual es regulable para diferentes tipos de tamaño de acuerdo al usuario como se observa en la figura 65.



Figura 82. Luna retirable para diferentes tipos de tamaño.

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

Se debe deslizar el brazo hacia adelante como se puede ver la figura 66, este debe colocarse en la parte frontal de la cabeza y estar en contacto directo, ubicándolo en la parte derecha.



Figura 83. Posición del brazo tipo manilla

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

El sensor MindaWave tiene un punto que deben estar en contacto directo con la piel, como se aprecia en la figura 66, y la diadema debe ser colocada en la parte superior de la cabeza.



Figura 84. Ubicación del brazo manilla en la frente con el punto de contacto y la diadema-auricular

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

El clip tipo pinza debe ser colocado en el lóbulo de la oreja izquierda como se ve en la figura 68, la parte que sujeta el clip debe ser ubicada por detrás de la oreja



Figura 85. Vista lateral del correcto posicionamiento del sensor

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

Concentración

El sistema está controlado por el uso de las funciones cognitivas, en el caso del encendido es determinante el uso de un estado de concentración, el cual puede ser alcanzado conscientemente

de algunas maneras, se recomienda el realizar construcciones mentales como la actividad matemática o la percepción de movimiento enfocado.

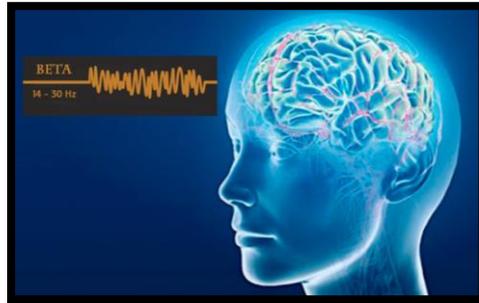


Figura 86. Cerebro generando la onda Beta

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez fuente <https://liannemorgan.co.uk/2015/11/12/interactive-design/brainwave-frequencies/> [Imagen]

Meditación

De igual manera para el apagado, se debe realizar una construcción mental orientada a la relajación mental, se recomienda el cerrar los ojos y mantener un estado donde las actividades mentales se reduzcan, con ejercicios de respiración.

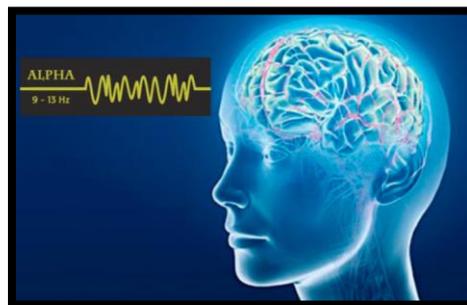


Figura 87. Cerebro generando la onda Alpha

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez fuente <https://liannemorgan.co.uk/2015/11/12/interactive-design/brainwave-frequencies/> [Imagen]

Anexo B

Medición de variables sujetas al usuario

Para la realización de las pruebas de verificación se tomó en cuenta dos puntos la distancia tanto que el usuario en este caso Mónica Escobar lleva presente desde su área de trabajo a su punto de visión como de su área de trabajo al lugar donde está ubicado el interruptor de pared para el encendido de la iluminación del lugar de trabajo con distancias de 79 cm y 185 cm respectivamente.

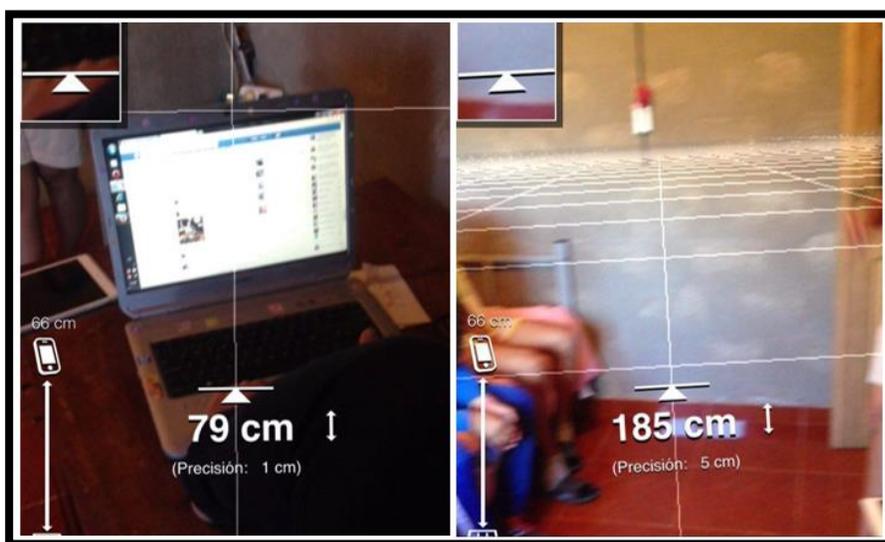


Figura 88. Distancias respectivas que el usuario está expuesto.

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

El segundo punto a medir es el factor lumínico en el área de trabajo que se expone el usuario con el uso de la iluminaria del dormitorio y el uso del sistema electrónico de iluminación (on-off), mediante el uso de un Luxómetro, con la base teórica a la norma Europea UNE-EN

12464-1 de iluminación para áreas de trabajo, donde se comprueba que se acoge a los indicado por la norma con el sistema electrónico de iluminación (on-off) pasado el valor adecuado establecido marcando un valor de 548 lux.



Figura 89. Medición de alucinación con iluminación del dormitorio resultando 60 lux para el área de trabajo.

Medición de alucinación con iluminación del sistema de iluminación EEG resultando 548 lux para el área de trabajo.

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

Anexo C

Dentro del diseño del sistema electrónico de iluminación (on-off) es crucial el establecimiento de la interconexión entre las interfaces IU y de comunicación para lo cual estos dos elementos tiene una pre configuración, debido a que las configuraciones de fábrica no son las adecuadas al sistema, para el establecimiento entre la conexión del IU es usada la dirección MAC del sensor

Mindwave Mobile la cual establecerá la comunicación con el módulo BlueSMiRF SilverRN-42 este permanecerá en modo conexión automática con el sensor Mindwave Mobile lo cual al usuario le permite solo el encendido del sistema sin ningún tipo de configuración anterior, en esta sección se indica las configuraciones de las dos interfaces.

Configuración del sensor Mindwave Mobile

Para la configuración del módulo no es necesario el cambiar algún tipo de configuración como se expuso anteriormente solo es necesario la dirección MAC del dispositivo, con lo cual se realiza la interconexión únicamente entre la interfaz de comunicación con el sensor Mindwave Mobile de manera automática, para este procedimiento solo es necesario el uso de un ordenador con tarjeta inalámbrica que soporte Bluetooth 2.1.

1. Emparejamiento del sensor Mindwave Mobile con la tarjeta Atheros AR3011 Bluetooth ® Adater del ordenador, este proceso se lo realiza con la configuración del bluetooth del ordenador y en la sección de Añadir un dispositivo.
2. El sensor debe estar en modo visible, esto lo indica al encender el dispositivo, este tiene una intermitencia en su indicador lumínico se ve en la figura 54^a, para el modo visible se mantiene por cinco segundos el interruptor en la parte de arriba como se observa en la figura 54b,



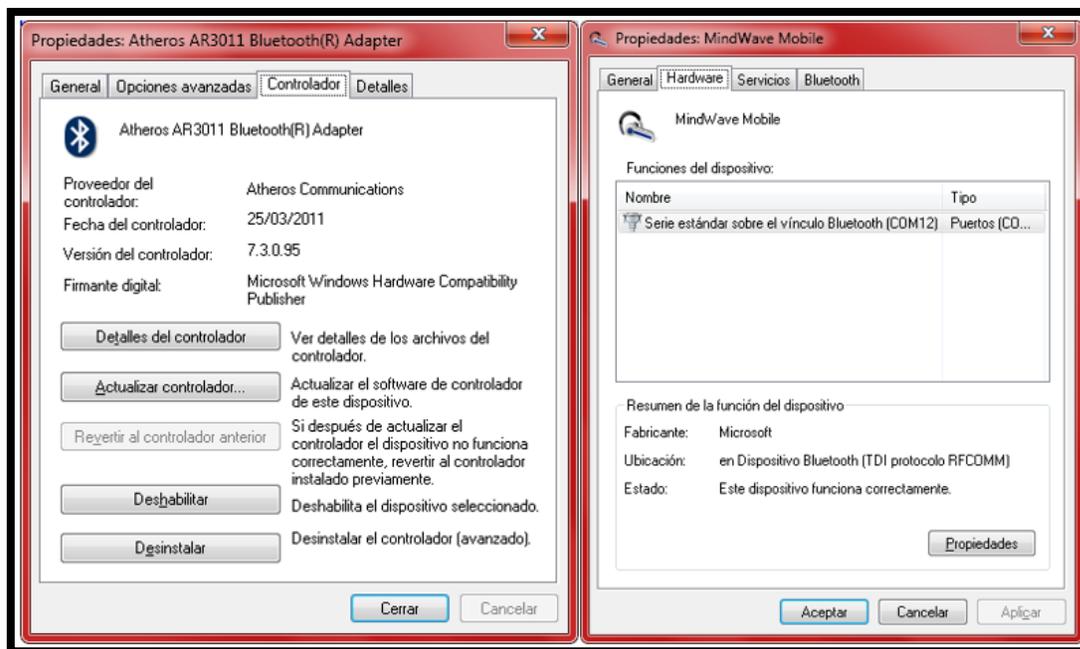
A

b

Figura 90. Modos de estado en establecimiento de conexión del sensor Mindwave Mobile

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

3. con esto el ordenador puede ver al dispositivo y pasa a Añadir el nuevo dispositivo en la figura 55^a se muestra la tarjeta que se está usando y en la figura 55b se observa la conexión establecida con el sensor Mindwave Mobile



a. b.

Figura 91. a. tarjeta Atheros AR3011 Bluetooth[®] Adater del ordenador b. emparejamiento entre el sensor Mindwave Mobile y el ordenador
Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

4. Por último es necesario verificar la dirección MAC del sensor Mindwave Mobile en el mismo apartado de propiedades de la pestaña bluetooth en el ordenador, la dirección MAC del sensor con el que se está trabajado es la siguiente.

Dirección MAC: 20:68:9d:91:de:97

Anexo D

Configuración del módulo BlueSMiRF SilverRN-42

En la configuración del a interfaz de comunicación es necesario el contar con un ordenador, un software para testear y configurar dispositivos de puerto serie, el software elegido para este proceso es ttermpro el cual tiene un interfaz didáctica y rápida de configurar de fácil uso, también

es necesario la alimentación del módulo esto puede ser con una fuente de alimentación de 3.3 o 5 v o con la placa de Arduino Micro los pines de alimentación.

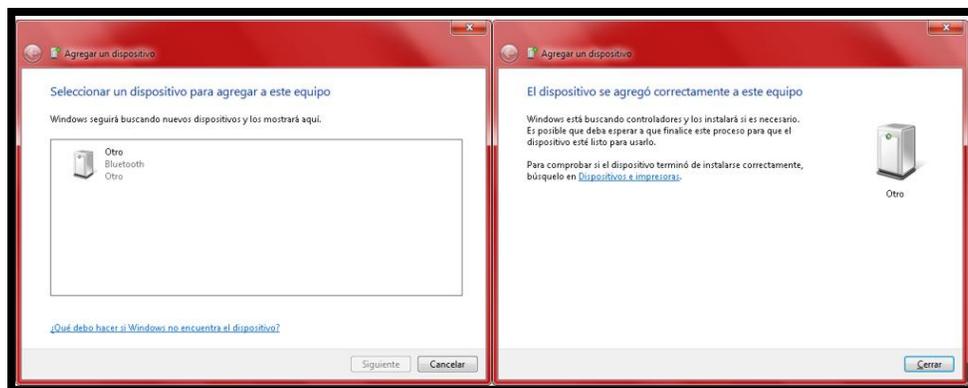
1. Con el módulo BlueSMiRF SilverRN-42 alimentado por cualquier de los dos métodos tomando en consideración que solo soporta los rango de voltaje ya mencionados el modulo se encenderá un indicador lumínico de color rojo intermitente como se observa en la figura 68.



Figura 92. Módulo BlueSMiRF SilverRN-42 en modo visible para establecer la conexión

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

2. Se realizará un emparejamiento del módulo BlueSMiRF SilverRN-42 con el ordenador mediante la configuración del Bluetooth como se ve en la figura 69^a. en la ventana donde realiza la búsqueda del dispositivo y selecciona el módulo BlueSMiRF SilverRN-42, en la figura 69b la ventana de confirmación de vinculación del módulo se agregó correctamente.



a

b

Figura 93. a. Búsqueda y selección del dispositivo para ser agregado al ordenador, b. Ventana de confirmación que el dispositivo módulo BlueSMiRF SilverRN-42 se agregó correctamente.

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

3. Para establecer el enlace entre el módulo BlueSMiRF SilverRN-42 y el ordenador es importante verificar las propiedades y el estado del dispositivo debido a que pueda no verse instalado correctamente los controladores, como se ve en la figura 70.

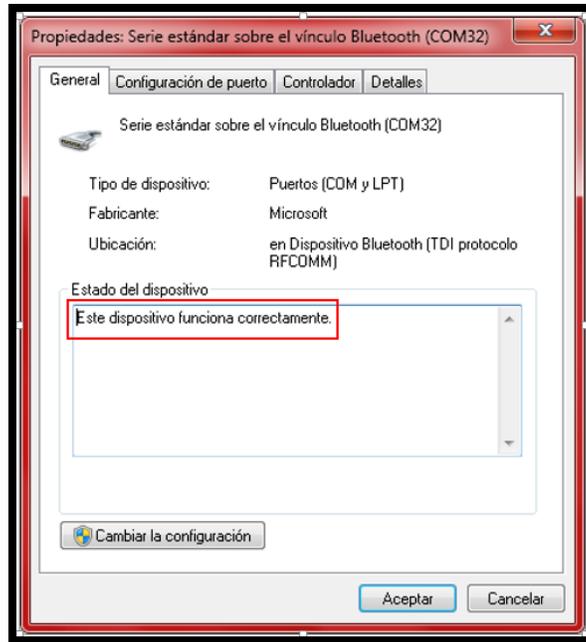


Figura 94. Confirmación que el dispositivo funciona correctamente

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez. [Imagen]

4. Ya establecido el emparejamiento con el ordenador, se pasa al abrir el software ttermpro, se selecciona “Serial” y el “Port” en el cual este asignado el modulo como se pude ver en la figura 71, asignar el Port con el cual esta designado el dispositivo en este caso es el Port 32, este paso se o puede ver en la figura 70

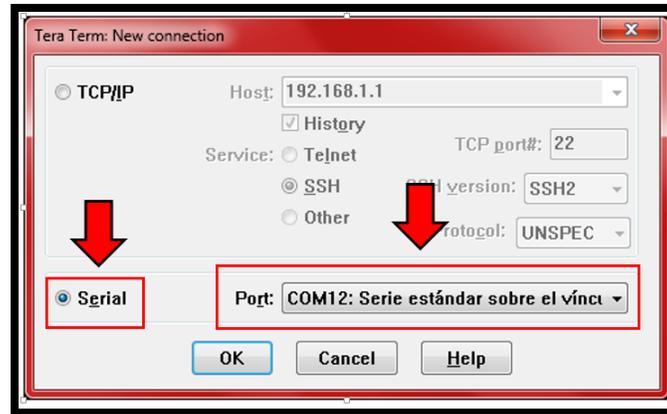


Figura 95. Ventana inicial de configuración del Software ttermpro

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

5. En el módulo BlueSMiRF SilverRN-42 el indicador lumínico pasará a color verde y se mantendrá encendido con esto se puede verificar que se estableció la comunicación.



Figura 96. conexión establecida entre el módulo BlueSMiRF SilverRN-42 y el ordenador

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

6. En este momento se puede ver una pantalla en modo terminal, donde se puede ingresar los comandos de configuración , se ingresa “\$\$\$” da el resultado CMD, con la letra d se pude ver la configuración con la que cuenta el módulo, el comando “SP, 0000” cambia el código pin de 1234 a 0000 el cual usa el sensor Mindwave, el comando “SM, 3” configura al módulo BlueSMiRF SilverRN-42 a conexión en modo automático, el comando “SU, 576000” configura la tasa de trasferencia a la que usa el sensor Mindwave, el comando “PA, 0” no permite la autenticación en el establecimiento de la comunicación, por último el comando “SR, 20689D91DE97” establece que la conexión que realizará el módulo será únicamente con el sensor Mindwave Mobile con esa una dirección, se confirmará la configuración establecida con el comando “D” . Es necesario el reinicio del módulo BlueSMiRF SilverRN-42 con el comando “---” para que inicie con la nueva configuración, en la figura se puede observar la configuración del módulo BlueSMiRF SilverRN-42.

```

COM10 - PuTTY
CMD
***Settings***
BTa=0006666CA778
BTName=RNBt-A778
Baudrt(SM4)=115K
Mode =Slav
Authen=0
PinCod=1234
Bonded=0
Rem=0006666CA777
AOK
?
***Settings***
BTa=0006666CA778
BTName=RNBt-A778
Baudrt(SM4)=115K
Mode =Auto
Authen=0
PinCod=0000
Bonded=0
Rem=0006666CA777
AOK
ERR

COM10 - PuTTY
AOK
***Settings***
BTa=0006666CA778
BTName=RNBt-A778
Baudrt=57.6
Mode =Slav
Authen=0
PinCod=0000
Bonded=0
Rem=0006666CA777
?
?
?
***Settings***
BTa=0006666CA778
BTName=RNBt-A778
Baudrt=57.6
Mode =Slav
Authen=0
PinCod=0000
Bonded=0
Rem=0006666CA777
ERR

COM10 - PuTTY
ERR
?
AOK
***Settings***
BTa=0006666CA778
BTName=RNBt-A778
Baudrt=115K
Mode =Slav
Authen=0
PinCod=0000
Bonded=0
Rem=0006666CA777
AOK
***Settings***
BTa=0006666CA778
BTName=RNBt-A778
Baudrt=57.6
Mode =Slav
Authen=0
PinCod=0000
Bonded=0
Rem=0006666CA777
AOK
***Settings***

COM10 - PuTTY
BTa=0006666CA778
BTName=RNBt-A778
Baudrt=57.6
Mode =Mstr
Authen=0
PinCod=0000
Bonded=0
Rem=0006666CA777
ERR
?
AOK
***Settings***
BTa=0006666CA778
BTName=RNBt-A778
Baudrt=57.6
Mode =Auto
Authen=0
PinCod=0000
Bonded=0
Rem=0006666CA777
?
END

```

Figura 97. Configuración del módulo BlueSMiRF SilverRN-42 mediante el modo comando

Una vez realizado este procedimiento solo es necesario el encender tanto el sensor Mindwave Mobile y el módulo BlueSMiRF SilverRN-42, y automáticamente se establecerá la conexión entre las dos interfaz sin necesidad de ningún tipo de configuración como se aprecia en la figura 72, conservando la configuración hasta que se realice algún tipo de cambio, pero antes deber ser realizado un Reset Factory debido a que en la configuración el módulo está en auto conexión únicamente con la MAC del sensor y la tasa de trasmisión de 576000.

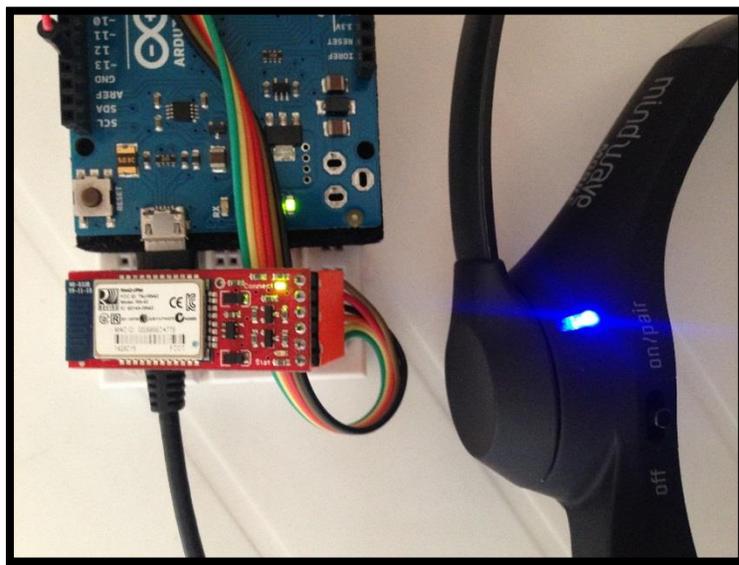


Figura 98. establecimiento de la conexión entre el módulo BlueSMiRF SilverRN-42 y el sensor Mindwave Mobile

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Imagen]

Anexo E

Tabal de registros en proceso de entrenamiento

Los rangos obtenidos por el usuario en la sesión en el proceso de entrenamiento son mostrados en la siguiente tabla.

Datos del usuario

- Nombre: Mónica Escobar
- Fecha:
- Numero de sesión: 1
- Evento: Concentración – Meditación
- Función cognitiva:
- Duración de la sesión: 20 minutos

Tabla 13. Tabla de registros del uso del sistema electrónico de iluminación (on-off)

N°	Actividad mental	Valor	Actividad consciente		Evento alcanzado	Escala de esfuerzo	Estímulo
			Si	no			
1	Pensamiento normal	67	X		No	7	Si
2	Pensamiento normal	68	X		No	7	Si
3	Pensamiento normal	69	X		No	7	Si
4	Pensamiento normal	80	X		Si	7	Si
5	Pensamiento normal	90	X		Si	7	Si
6	Pensamiento normal	56	X		No	7	Si
7	Pensamiento normal	60	X		No	8	Si
8	Pensamiento normal	44	X		No	8	Si
9	Pensamiento normal	56	X		No	8	Si
10	Pensamiento normal	57	X		No	8	No
11	Pensamiento normal	40	X		No	8	No

12	Pensamiento normal	43	X		No	8	No
13	Pensamiento normal	70	X		Si	8	No
14	Pensamiento normal	77	X		Si	8	No
15	Pensamiento normal	80	X		Si	8	
16	Pensamiento normal	87	X		Si	8	No
17	Pensamiento normal	69		X	No	8	No
18	Pensamiento normal	67		X	No	8	No
19	Pensamiento normal	22		X	No	8	No
20	Pensamiento normal	14		X	No	8	No

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

Datos del usuario

- Numero de sesión: 2
- Evento: Concentración – Meditación
- Función cognitiva:
- Duración de la sesión: 20 minutos

Tabla 14. Tabla de registros del uso del sistema electrónico de iluminación (on-off)

N°	Actividad mental	Valor	Actividad consciente		Evento alcanzado	Escala de esfuerzo	Estímulo
			Si	n o			
1	Concentración	20		X	No	8	No
2	Concentración	25		X	No	8	No
3	Concentración	28		X	No	8	No
4	Concentración	60		X	No	8	No

5	Concentración	55		X	No	8	No
6	Concentración	60		X	No	8	No
7	Concentración	66		X	No	8	No
8	Concentración	70		X	No	8	No
9	Concentración	20	X		No	8	No
10	Concentración	0	X		No	8	No
11	Concentración	0	X		No	8	No
12	Concentración	18		X	No	8	No
13	Concentración	35		X	No	8	No
14	Concentración	90	X		Si	8	No
15	Concentración	97	X		Si	8	No
16	Concentración	56	X		No	9	No
17	Concentración	69	X		No	9	No
18	Concentración	20		X	No	9	No
19	Concentración	90		X	Si	9	No
20	Concentración	87		X	Si	9	No

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

Datos del usuario

- Numero de sesión: 3
- Evento: Concentración – Meditación
- Función cognitiva:
- Duración de la sesión: 28 minutos

Tabla 15. Tabla de registros del uso del sistema electrónico de iluminación (on-off)

N°	Actividad mental	Valor	Actividad consciente		Evento alcanzado	Escala de esfuerzo	Estímulo
			Si	No			
1	Concentración	60	X		Si	9	No
2	Concentración	88	X		Si	9	Si
3	Concentración	70	X		No	9	Si
4	Concentración	67	X		No	9	Si
5	Concentración	58	X		No	9	Si
6	Concentración	85	X		Si	9	Si
7	Concentración	93	X		Si	9	Si
8	Concentración	94	X		Si	9	Si

9	Concentración	90	X	Si	9	No
10	Concentración	96	X	Si	9	No
11	Concentración	99	X	Si	9	No
12	Concentración	99	X	Si	9	No
13	Concentración	81	X	Si	9	No
14	Concentración	84	X	Si	9	No
15	Concentración	95	X	Si	9	No
16	Concentración	62	X	No	9	No
17	Concentración	87	X	Si	9	No
18	Concentración	86	X	No	9	No
19	Concentración	90	X	Si	9	No
20	Concentración	87	X	Si	9	No

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

Datos del usuario

- Numero de sesión: 4
- Evento: Concentración – Meditación
- Función cognitiva:
- Duración de la sesión: 28 minutos

Tabla 16. Tabla de registros del uso del sistema electrónico de iluminación (on-off)

N°	Actividad mental	Valor	Actividad consciente		Evento alcanzado	Escala de esfuerzo	Estímulo
			Si	No			
1	Meditación		X		Si	9	No
2	Meditación	20	X		Si	9	Si
3	Meditación	50	X		No	9	Si
4	Meditación	34	X		No	9	Si
5	Meditación	60	X		No	9	Si
6	Meditación	28	X		No	9	Si
7	Meditación	50	X		No	9	Si
8	Meditación	47	X		No	9	Si
9	Meditación	46	X		No	9	Si
10	Meditación	44	X		No	9	Si
11	Meditación	50	X		No	9	Si
12	Meditación	22	X		No	9	Si

13	Meditación	60	X	No	9	Si
14	Meditación	77	X	No	9	Si
15	Meditación	72	X	No	9	Si
16	Meditación	18	X	Si	9	Si
17	Meditación	15	X	Si	9	Si
18	Meditación	55	X	No	9	Si
19	Meditación	69	X	No	9	Si
20	Meditación	87	X	No	9	Si

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez

Anexo F

Aceptación de los modelos gráficos

Basándose en los resultados obtenidos para el usuario Mónica Escobar estos se sujetaron a los modelos anticipados de desarrollo que cubren los distintos tipos de áreas de trabajo, y comprobando que el diseño está de acuerdo a requerimientos establecidos por el usuario.

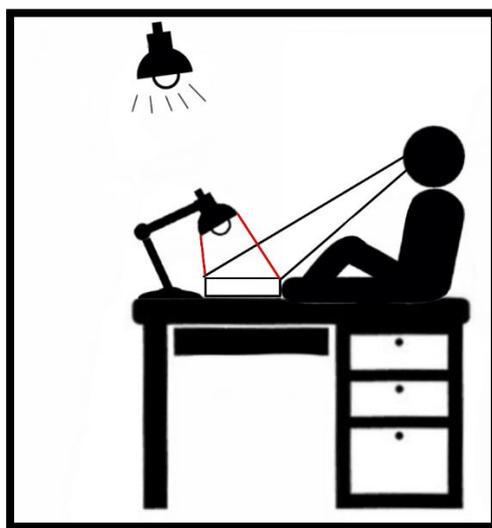


Figura 99. Modelo A

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Figura]

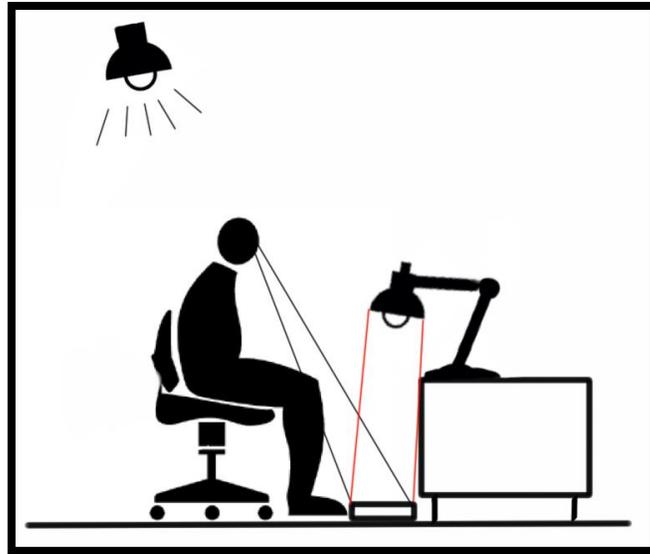


Figura 100. Modelo B

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Figura]

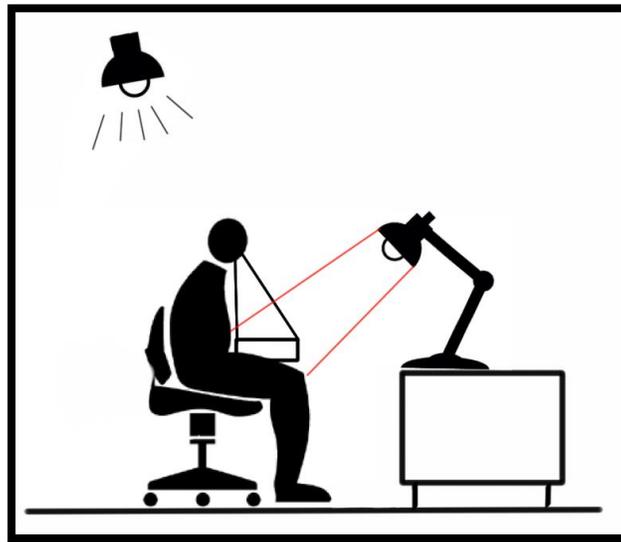


Figura 101. Modelo C

Referencia: Elaborado por Marco Jimenez [Figura]