



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO
CON MENCIÓN EN SISTEMAS
INDUSTRIALES.

“PUNTERO INALÁMBRICO DE COMPUTADORA PARA EL USO DE PERSONAS
CON CUADRIPLÉJÍA UTILIZANDO MOVIMIENTOS DE LA CABEZA.”

AUTOR: HUMBERTO RAÚL TELLO MORALES

DIRECTOR: Ing. EDUARDO PINOS VELEZ. MSc.

CUENCA – ECUADOR

26 de Marzo del 2015

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor. El autor otorga los derechos de divulgación de este documento a la Universidad Politécnica Salesiana únicamente con propósitos académicos o investigativos. Cuenca, Marzo 26 del 2015.



Humberto Tello Morales

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Humberto Raúl Tello Morales bajo mi supervisión. Cuenca, Marzo 26 del 2015.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Eduardo Pinos Vélez', with a stylized flourish at the end.

Ing. Eduardo Pinos Vélez MSc.

DEDICATORIA

Este trabajo es fruto de la paciencia y apoyo de Dios, mi familia y amigos. Son ellos quienes deben ser reconocidos por confiar en mí para sacar adelante esta tesis. ¡GRACIAS!

AGRADECIMIENTOS

De forma infinita debo agradecer a mi Director de tesis, por estar siempre pendiente de la situación de mi proyecto, por otro lado también a la Familia Garzón, debido a que fueron ellos quienes despertaron el sueño de que este sistema un día podría funcionar.

RESUMEN

En este documento se presenta el diseño e implementación de un dispositivo basado en un giroscopio para la adquisición de la posición de la cabeza con respecto a un punto de referencia establecido en la calibración inicial. El tratamiento de los valores captados, la transmisión y recepción de los datos, así como el envío de las señales al computador para mover el puntero, fueron tratados en Hardware “Open Source”.

El objetivo primordial de este sistema es dar una solución a la problemática que sufren muchas personas con cuadriplejía en el Ecuador. Haciendo un análisis y selección de la mejor opción entre los dispositivos de medición de posición disponibles en el medio, de acuerdo a sus ventajas y desventajas.

Finalmente se hará la implementación del dispositivo en varias etapas que fueron establecidas de acuerdo a las correcciones solicitadas por el usuario final.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES DE LA CUADRIPLÉJÍA	1
1.1 Introducción	2
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos:	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos:.....	3
1.4 Definición.....	3
1.5 Causas de la cuadriplejía	3
1.6 Tipos de Cuadriplejía	4
1.7 Niveles de Lesión Cervical	5
1.7.1 Nervios cervicales altos (C1 - C4)	6
1.7.2 Nervios cervicales bajos (C5 - C8)	6
1.8 Cuadriplejía en el cantón Morona, provincia de Morona Santiago	7
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE EN DISPOSITIVOS ORIENTADOS A PERSONAS CON CUADRIPLÉJÍA	10
2.1 Introducción	11
2.1.1 Sistemas guiados por los ojos.....	11
2.1.2 Sistemas guiados por la cabeza	11
2.2 Dispositivos de interacción por visión artificial	12
2.2.1 Camera Mouse	12
2.2.2 Enable Viacam	13
2.2.3 uMouse	13
2.3 Dispositivos de interacción por audio	14
2.3.1 Dragon Naturally Speaking	14
2.3.2 Dspeech	15
2.3.3 J.A.R.V.I.S Mark II	16
2.4 Otros dispositivos de interacción	16
2.4.1 Finger Mouse	16
2.4.2 SmartNav 4	17
2.5 Conclusiones del Capítulo	18
CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL DISPOSITIVO.....	19
3.1 Recopilación de información y requerimientos para el diseño del dispositivo.....	20
3.1.1 Usuario	20
3.1.2 Diseño.....	21

3.2	Tecnologías a utilizar.....	21
3.2.1	Electrodos.....	22
3.2.2	Acelerómetro.....	23
3.2.3	Giroscopio.....	23
3.2.4	MPU6050.....	24
3.2.5	ATMEGA328P-AU.....	25
3.2.6	MAX1555.....	25
3.2.7	MCP1253-33x50.....	26
3.2.8	AMS1117 3.3V.....	26
3.3	Flujograma Propuesto.....	27
3.4	Esquema General del Sistema.....	28
3.4.1	Cargador de Batería.....	28
3.4.2	Convertidor DC-DC.....	28
3.4.3	Pines de Programación.....	29
3.4.4	Pines de conexión con los módulos de lectura y escritura.....	29
3.4.5	Bus de conexión de bajo y alto voltaje.....	30
3.4.6	Control Maestro.....	30
3.4.7	Placa de Circuito Integrado.....	31
3.5	Estética del dispositivo.....	33
3.6	Portabilidad del circuito Emisor y Receptor.....	33
3.6.1	Transmisor.....	34
3.6.2	Receptor.....	34
3.7	Programación.....	36
CAPÍTULO 4.	IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.....	37
4.1	Pruebas a Realizar.....	38
4.1.1	Usuarios.....	38
4.1.2	Pruebas de Funcionalidades.....	38
4.1.3	Pruebas de Transmisión.....	43
4.1.4	Pruebas de Recepción.....	43
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		44
CONCLUSIONES.....		45
ANEXOS.....		47
BIBLIOGRAFÍA.....		49

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Niveles de afectación de las lesiones en las vértebras.	5
Figura 2 Área de reposo del usuario.	20
Figura 3 Ángulos utilizados en el sistema de referencia.	21
Figura 4 Empaquetado del MPU6050.	24
Figura 5 Empaquetado del ATMEGA328P-AU.	25
Figura 6 Empaquetado del MAX1555.	25
Figura 7 Empaquetado del MCP1253-33x50.	26
Figura 8 Empaquetado del AMS1117 3.3V.	26
Figura 9 Flujograma completo del proceso.	27
Figura 10 Esquema del Cargador de Batería.	28
Figura 11 Esquema del Convertidor Elevador DC-DC.	29
Figura 12 Esquema de los puertos de Programación.	29
Figura 13 Esquema de la conexión con el Módulo RF, MPU6050 y el puerto USB	30
Figura 14 Esquema del bus de comunicación de bajo nivel de Voltaje a 3.3V	30
Figura 15 Esquema de conexión con el Microcontrolador ATMEGA328P-AU	31
Figura 16 Resultado del PCB Final visto desde la Capa Superior	31
Figura 17 Resultado del PCB Final visto desde la Capa Inferior	32
Figura 18 Resultado del PCB Final en perspectiva visto desde la Capa Superior	32
Figura 19 Resultado del PCB Final en perspectiva visto desde la Capa Inferior	33
Figura 20 Izq. Módulo Emisor Der. Módulo Receptor.	34
Figura 21 Consumo de Corriente del módulo Transmisor RF.	35
Figura 22 Especificaciones de conexión del Receptor RF.	35
Figura 23 Flujograma de programa Emisor (a), Receptor (b).	36
Figura 24 Prueba de movimiento horizontal.....	41
Figura 25 Prueba de movimiento vertical.	42
Figura 26 Prueba de clic Derecho e Izquierdo.....	42

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estadísticas Nacionales de la población con discapacidad físico-motora.....	7
Tabla 2 Estadísticas de la Zona Seis de la población con discapacidad físico-motora.....	8
Tabla 3 Estadísticas de la Provincia de Morona Santiago de la población con discapacidad físico-motora	8
Tabla 4 Estadísticas del Cantón Morona en la Provincia de Morona Santiago de la población con cuadriplejia.....	8
Tabla 5 Estadísticas Nacionales de la población con cuadriplejia.....	8
Tabla 6 Estadísticas de la Zona Seis de la población con cuadriplejia	8
Tabla 7 Estadísticas de la Provincia de Morona Santiago de la población con cuadriplejia	8
Tabla 8 Estadísticas del Cantón Morona en la Provincia de Morona Santiago de la población con cuadriplejia.....	9
Tabla 9 Prueba del dispositivo al hacer clic izquierdo.	38
Tabla 10 Prueba del dispositivo al hacer clic derecho.....	39
Tabla 11 Prueba del dispositivo al intentar desplazar el cursor horizontalmente en el eje Yaw positivo.....	39
Tabla 12 Prueba del dispositivo al intentar desplazar el cursor horizontalmente en el eje Yaw negativo.....	39
Tabla 13 Prueba del dispositivo al intentar desplazar el cursor verticalmente en el eje Pitch positivo.....	40
Tabla 14 Prueba del dispositivo al intentar desplazar el cursor verticalmente en el eje Pitch negativo.....	40
Tabla 15 Intento de alcanzar un punto y hacer clic derecho.....	41
Tabla 16 Pruebas de Transmisión sin obstáculo.....	43
Tabla 17 Pruebas de Transmisión con obstáculo.....	43

CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES DE LA CUADRIPLJEJÍA

1.1 Introducción

Una de las principales lesiones que aún no se han podido curar es la de la columna vertebral, la misma que en ciertas ocasiones puede ser letal, pero en otros casos el paciente logra sobrevivir pero perdiendo algunas funciones básicas como puede ser el movimiento de los miembros inferiores, superiores, torso, o incluso quedar postrado completamente en una cama siendo ayudado por aparatos médicos para mantener su vida a salvo. Cada uno de los casos mencionados anteriormente se debe a la parte afectada por una lesión vertebral.

El objetivo principal de este capítulo es reconocer las partes principales de la columna vertebral, sus posibles lesiones, después, enfocarnos en la lesión de la columna a nivel de las vértebras C4 y C5, las posibles causas y tipos de cuadriplejía para luego de esto centrarnos en un lugar específico del país que tiene personas con este tipo de afectación.

1.2 Justificación

Es claro que las personas que tienen cuadriplejía experimentan un aislamiento tecnológico involuntario en cualquier parte del mundo, pues la mayoría de los dispositivos han sido diseñados para individuos que poseen todas sus capacidades motrices como en el caso de los celulares. En la actualidad se han hecho avances en el desarrollo de dispositivos para las personas que tienen esta condición de vida, fomentando el uso de alternativas como la utilización de dispositivos por comandos de voz, sin embargo este tipo de sistemas demanda un gran tiempo de procesamiento a los terminales de interfaz, lo cual les vuelve lentos en la mayoría de los casos. Además de que debido a su procesamiento se ocupan sistemas de alta gama, por lo general muy caros para la mayoría de personas, motivo por el cual se hace necesaria la implementación de un prototipo de bajo costo, con el que los usuarios puedan interactuar con una computadora al menos en sus funciones más básicas.

El propósito principal de este proyecto está orientado a generar un dispositivo que permita la interacción entre una persona con cuadriplejía y un ordenador, facilitando de esta forma su inclusión en una sociedad acostumbrada a utilizar sus manos como herramienta principal. La aplicación estará enfocada en la provincia de Morona Santiago, cantón Morona, en la ciudad de Macas, para una persona que carece de movimiento voluntario de su cuerpo a excepción de sus hombros, cuello y cabeza.

1.3 Objetivos:

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar e implementar un sistema portátil inalámbrico utilizando hardware libre que permita la interacción entre una persona con cuadriplejía y el computador a través de movimientos de su cabeza.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Diseñar el sistema utilizando Hardware Libre.
- Implementar del sistema portátil inalámbrico para personas cuadripléjicas.
- Revisar el estado del arte en cuanto a aparatos de interacción entre personas con cuadriplejía y el computador.

1.4 Definición

La American Spinal Injury Association (ASIA) [1] define el término Paraplejía si se establece un “déficit o pérdida de la función motora y/o sensitiva en los segmentos torácicos, lumbares o sacros de la médula espinal (pero no cervicales), por daño de los elementos neurales dentro del canal raquídeo. La función de los brazos está preservada, pero dependiendo del nivel de lesión se originará trastorno del tronco, piernas y órganos pélvicos. El término también se refiere a las lesiones de cola de caballo y cono medular, pero no a lesiones de plexo lumbosacro o de nervios periféricos fuera del canal neural”. De la misma manera, define Cuadriplejía, en reemplazo de cuadriplejia, como “la pérdida de función motora y/o sensitiva en los segmentos cervicales de la médula espinal, que ocasiona un déficit funcional en los brazos, tronco, piernas y órganos pélvicos. No incluye lesiones de plexo braquial ni de los nervios periféricos fuera del canal medular.”

1.5 Causas de la cuadriplejía

Las posibles causas de la cuadriplejia se pueden establecer según la etiología de la lesión medular presente en el individuo afectado, estas se aprecian a continuación [2]:

1. Causas médicas:

- 1) Enfermedades congénitas: Espina bífida o mielomeningocele.
- 2) Secundaria a enfermedades médicas:
 - a) Infecciosas: Mielitis víricas o bacterianas, poliomielitis.
 - b) Enfermedades inflamatorias o degenerativas: Esclerosis en placas.

- c) Lesiones vasculares: Hemorragia o trombosis de la arteria vertebral que generan isquemia.
- d) Tumores: Metástasis vertebro-medulares, glioblastoma, ependimoma, etc.
- e) Lesiones osteoarticulares: Estenosis de canal.

2. Causas traumáticas: Contusión, sección total o parcial de la médula espinal.

Siendo de todas estas la lesión medular la causa más frecuente en los pacientes con esta afectación

1.6 Tipos de Cuadriplejía

Se conocen, al menos [2], dos tipos de lesiones medulares que pueden provocar la cuadriplejía, que son:

1. La lesión medular completa.- Se define como la detrimento de todas las funciones por debajo del nivel de vertebra afectada, es decir que está abolida la función motora, la sensibilidad superficial, que incluye la termoanalgesia y el tacto epicrítico, la sensibilidad profunda, con las modalidades de vibración, propiocepción o sentido de la posición y la discriminación de dos puntos y funciones vegetativas.
2. La lesión medular incompleta.- Se define como la pérdida de ciertas funciones por debajo de la zona vertebral afectada, mantiene cierta función medular, por pequeña que ésta sea. Dentro de este grupo se encuentran distintos síndromes:
 - a. Síndrome de Hemisección Medular o Brown Séquard: Caracterizado por la pérdida de las funciones motora y sensitiva profunda del mismo lado de la lesión y la pérdida de la sensibilidad superficial contralateral.
 - b. Síndrome Medular Central o de Schneider: Presenta mayor alteración motora en miembros superiores (MMSS) que en miembros inferiores (MMII), con afectación variable de ambas sensibilidades y esfínteres. Se produce en lesiones cervicales y con mayor frecuencia en personas de edad avanzada que sufren un mecanismo de hiperextensión.
 - c. Síndrome Cordonal Anterior o de la Arteria Espinal Anterior: Déficit motor bilateral, afectación variable de la sensibilidad superficial, con indemnidad de la sensibilidad profunda por preservación de los cordones anteriores.
 - d. Síndrome Cordonal Posterior: Afecta principalmente a la sensibilidad profunda, sin afectación de la sensibilidad superficial ni función motora.
 - e. Síndrome del cono medular: La lesión asienta en la médula sacra y en las raíces nerviosas lumbares, produciendo arreflexia vesical, intestinal y de MMII.

- f. Síndrome de cola de caballo: Se afectan las raíces lumbosacras. Clínicamente apenas difiere de las lesiones del cono.

1.7 Niveles de Lesión Cervical

Las vértebras se agrupan en secciones. Cuanto mayor sea la lesión en la médula espinal, pueden ocurrir más disfunciones [2], en la Figura 1 se aprecia un pequeño resumen gráfico de las posibles afectaciones de acuerdo a la lesión sufrida por el individuo.

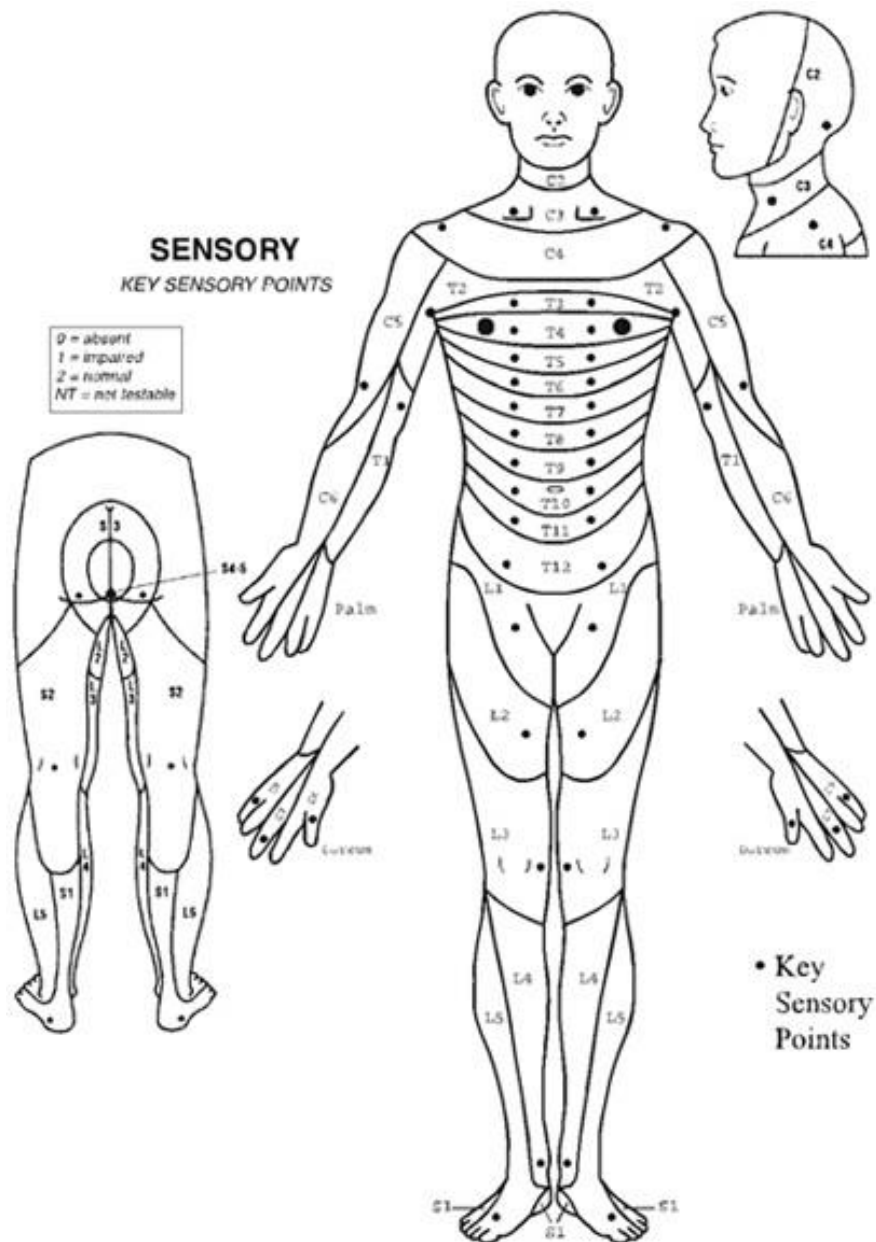


Figura 1 Niveles de afectación de las lesiones en las vértebras. [3]

1.7.1 Nervios cervicales altos (C1 - C4) [4]

- a. Es la más severa de los niveles de lesiones de médula espinal, la persona sufre de:
- b. Parálisis en los brazos, manos, tronco y piernas
- c. No ser capaz de respirar por sí solo, tos continua, o controlar los movimientos del intestino o de la vejiga.
- d. La capacidad de hablar a veces se deteriora o se reduce.
- e. Cuando las cuatro extremidades se ven afectadas, esto es llamado cuadriplejia.
- f. Requiere asistencia completa con actividades de la vida diaria, como comer, vestirse, bañarse, y al entrar o salir de la cama
- g. Puede ser capaz de utilizar sillas de ruedas eléctricas con controles especiales para moverse por su cuenta
- h. Requiere 24 horas al día para el cuidado personal.

1.7.2 Nervios cervicales bajos (C5 - C8) [4]

Nervios correspondientes de control de brazos y manos. Una persona con este nivel de la lesión puede ser capaz de respirar por sí mismo y hablar normalmente.

1.7.2.1 Lesión medular a la altura de C5

- a. La Persona puede levantar sus brazos y doblar los codos.
- b. Probable que tenga una parálisis parcial o la total de las muñecas, las manos, el tronco y las piernas
- c. Puede hablar y usar el diafragma, pero la respiración es débil
- d. Necesita ayuda con la mayoría de las actividades cotidianas, pero una vez en una silla de ruedas eléctrica, se puede mover de un lugar a otro de forma independiente.

1.7.2.2 Lesión medular a la altura de C6

- a. Los nervios afectados sirven para la extensión de la muñeca.
- b. La parálisis por lo general recae sobre las manos, el tronco y las piernas.
- c. Es capaz de doblar las muñecas hacia atrás.
- d. Puede hablar y usar el diafragma, pero la respiración es débil.
- e. Puede entrar y salir de la silla de ruedas y la cama con equipos de asistencia.
- f. También puede ser capaz de conducir un vehículo adaptado.
- g. Poco o nada de control voluntario de la vejiga o el intestino, pero puede ser capaz de gestionar por su cuenta con un equipo especial.

1.7.2.3 Lesión medular a la altura de C7

- a. Los nervios que controlan la extensión del codo y algunos dedos son afectados.
- b. La mayoría puede enderezar su brazo y tener el movimiento normal de sus hombros.
- c. Se puede hacer la mayoría de las actividades de la vida diaria por sí mismos, pero pueden necesitar ayuda con las tareas más difíciles.
- d. También puede ser capaz de conducir un vehículo adaptado.
- e. Poco o nada de control voluntario de la vejiga o el intestino, pero puede ser capaz de hacer sus necesidades por su cuenta con un equipo especial.

1.7.2.4 Lesión medular a la altura de C8

- a. Los nervios controlan algún movimiento de la mano.
- b. Puede ser capaz de agarrar y soltar objetos.
- c. Puede hacer la mayoría de las actividades cotidianas por sí mismos, pero pueden necesitar ayuda con las tareas más difíciles.
- d. También puede ser capaz de conducir un vehículo especialmente adaptado.
- e. Poco o nada de control voluntario de la vejiga o el intestino, pero puede ser capaz de hacer sus necesidades por su cuenta con un equipo especial.

En base a todo lo expuesto se puede decir que el cuadro clínico que presente el paciente va a depender del tipo de lesión y la altura que está presente en la medula, siendo que sus funciones se vean parcial o completamente suspendidas. Se debe entender que cuanto más alta sea la lesión mayor será la pérdida de las funciones corporales. [5].

1.8 Cuadriplejía en el cantón Morona, provincia de Morona Santiago

Según estadísticas del Sistema Nacional de Información de las 14483499 personas registradas en el censo del año 2010 existen alrededor de 343714 personas entre hombre y mujeres que poseen discapacidad físico motora a nivel nacional [6], entre las cuales se integran personas con algún tipo de amputación o parálisis en su cuerpo.

Tabla 1 Estadísticas Nacionales de la población con discapacidad físico-motora.

Año del Censo	Total	Urbano	Rural
2001	106572	68839	37733
2010	343714	213523	130191

El Ecuador está dividido en zonas administrativas, la zona seis que comprende Azuay, Cañar y Morona Santiago es el centro de este estudio y sobre la cual se enfocará el documento al contener a la provincia de Morona Santiago.

Tabla 2 Estadísticas de la Zona Seis de la población con discapacidad físico-motora

Año del Censo	Total	Urbano	Rural
2001	No Existen datos		
2010	22956	10384	12572

Tabla 3 Estadísticas de la Provincia de Morona Santiago de la población con discapacidad físico-motora

Año del Censo	Total	Urbano	Rural
2001	No Existen datos		
2010	2957	1137	1820

Tabla 4 Estadísticas del Cantón Morona en la Provincia de Morona Santiago de la población con cuadriplejía

Año del Censo	Total	Urbano	Rural
2001	No Existen datos		
2010	6	4	2

Según funcionarios del Ministerio de Salud Pública del Ecuador, a nivel nacional existe un aproximado del 1% de la población con discapacidad físico-motora que posee parálisis completa o cuadriplejía, por ende la Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4 quedarían redimensionadas en la Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8.

Tabla 5 Estadísticas Nacionales de la población con cuadriplejía

Año del Censo	Total	Urbano	Rural
2001	1065	688	377
2010	3437	2135	1301

Tabla 6 Estadísticas de la Zona Seis de la población con cuadriplejía

Año del Censo	Total	Urbano	Rural
2001	No Existen datos		
2010	229	103	125

Tabla 7 Estadísticas de la Provincia de Morona Santiago de la población con cuadriplejía

Año del Censo	Total	Urbano	Rural
2001	No Existen datos		
2010	29	11	18

Tabla 8 Estadísticas del Cantón Morona en la Provincia de Morona Santiago de la población con cuadriplejia

Año del Censo	Total	Urbano	Rural
2001	No Existen datos		
2010	6	4	2

Los datos de la tabla 8 datos fueron corroborados por el personal del Hospital General Macas en el Cantón Morona, Provincia de Morona Santiago, las demás tablas fueron obtenidas por estadística del Ministerio de Salud Pública [6].

Aunque se pueda pensar que las cifras son bajas a primera vista, representan una gran cantidad de personas a nivel nacional que están incomunicadas por el simple hecho de tener una dependencia total de otra persona para el uso de la tecnología. Es por eso que el desarrollo de un dispositivo que ayude a facilitar su reintegro parcial a la sociedad se vuelve una necesidad apremiante en este momento, pues con el pasar del tiempo quizás lleguemos a triplicar la cifra como ha sucedido en 10 años según la Tabla 5.

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE EN DISPOSITIVOS ORIENTADOS A PERSONAS CON CUADRIPLÉJÍA

2.1 Introducción

Las interfaces disponibles para los usuarios de un computador que sufren de cuadriplejía actualmente son muy limitadas, se restringen al uso de un computador utilizando la voz y el reconocimiento de imágenes, este tipo de sistemas permiten hasta cierto grado la independencia de una persona pues luego de su correcta calibración el individuo queda listo para utilizar un computador; sin embargo algunas opciones aquí descritas poseen calibraciones tediosas en cada uso, lo cual no ayuda en absoluto, sino más bien causa cierto desagrado por el uso del dispositivo.

2.1.1 Sistemas guiados por los ojos

Tomando en cuenta que el ojo no es un instrumento de alta precisión como se creería en materia de señalización, debido a que posee una tolerancia en cuanto a la posición [7].

Un primer punto que se puede destacar es que el grado de visión clara del ojo está en alrededor de un grado desde la retina, con lo cual con que el ojo se mueva a un grado ya podrá ver el objetivo, sin embargo generaría inexactitud en el dispositivo de medida.

Como segundo punto se debe tener en cuenta es que la posición del ojo tiende a ser controlada por nuestro subconsciente [8], lo cual podría ocasionar problemas debido a que los movimientos involuntarios generarían errores con el sistema de rastreo de posición.

Y por último es la capacidad de mantener el ojo apuntando en una sola dirección, pues cuando se ha perdido el interés en la información, el ojo cambia su posición hacia otro lugar.

Por otro lado la más grande ventaja es que los músculos de los ojos exhiben poca fatiga al utilizar un dispositivo señalador. [9]

2.1.2 Sistemas guiados por la cabeza

Si bien es cierto los sistemas basados en movimientos de la cabeza pueden ser lentos en reacción [7], permiten alcanzar mayor exactitud, pues el movimiento de la cabeza siempre es voluntario ya que demanda una orden consciente del usuario, el mismo que establece cuanto necesita desplazarse en la pantalla del computador.

El único inconveniente es el costo de los sistemas guiados por la cabeza, que como veremos más adelante es bastante elevado en comparación con el sistema de guía por el ojo.

Con lo dicho anteriormente se puede apreciar que cada dispositivo tiene sus ventajas y desventajas, con lo cual la única forma de decidir qué sistema es el más conveniente sería de acuerdo a las especificaciones del usuario.

2.2 Dispositivos de interacción por visión artificial

2.2.1 Camera Mouse [10]

"Camera Mouse" fue desarrollado en el "Boston College" para ayudar a las personas con discapacidad a utilizar el ordenador. Ahora está disponible para su descarga gratuita.

La audiencia principal de este programa es la gente que no tienen un control fiable de una mano, pero que puede mover su cabeza.

- Ventajas
 - Software Gratuito.
 - Posee soporte técnico.
 - Soporte de hardware estándar.

- Desventajas
 - No tolera movimientos o vibraciones de la cámara web.
 - No soporta sistemas operativos nativos de Mac como OSX o superiores.
 - Es susceptible a un mal funcionamiento frente a deficiencias de calidad de imagen por la cámara web.

- Requisitos mínimos
 - Una computadora con Windows XP o posterior.
 - Una Tablet con Windows 8 o 8.1 (No trabaja sobre Windows RT)
 - Una cámara web integrada en un monitor o externa funciona bien, aunque en la página de descarga recomendando las siguientes cámaras por sus resultados: Logitech HD Pro Webcam C920 y Microsoft LifeCam Studio HD.
 - Microsoft's .NET Framework 4.
 - Cámaras de las marcas Logitech, Creative Labs, Microsoft han sido probadas, al igual que las cámaras estándar bajo el software "Elgato Video Capture" el mismo que se encarga de eliminar el ruido de la imagen en la adquisición, demandando más recursos pero cumpliendo con el trabajo de forma satisfactoria.

2.2.2 Enable Viacam [11]

Enable Viacam (eViacam) es un software de reemplazo del ratón del computador que mueve el puntero al hacer movimientos de la cabeza. Funciona en computadores estándar equipados con una cámara web. No se requiere ningún hardware adicional. Es completamente gratuito, de código abierto y fácil de usar.

- Ventajas
 - Software de código abierto.
 - Sistema Gratuito.
 - Puede operar en los sistemas operativos Windows y Linux.
 - Posee versiones del programa traducidas a otros idiomas.
- Desventajas
 - Los movimientos de la cámara no están permitidos.
 - El usuario debe localizarse frente a la cámara y los movimientos de más de 45° no están permitidos.
 - No se recalibra el sistema si el usuario cambia repentinamente de localización.
- Requisitos mínimos
 - Sistema operativo Windows 2000 en adelante.
 - Sistema operativo Linux Ubuntu.
 - DirectX SDK 9.0

2.2.3 uMouse [12]

uMouse es una interfaz de usuario desarrollada por Larry Lart en Irlanda, cuenta con un soporte de corrección de imagen y algunas opciones interesantes para los usuarios, sin embargo la última versión se implementó en el 2010.

- Ventajas
 - Posee un manual de usuario.
 - Permite corrección de sombras en la imagen.
- Desventajas
 - Solo existe una versión disponible para Windows.
 - No tiene soporte técnico y posee una interfaz completamente en inglés.
 - Requiere de un fondo oscuro para su correcta utilización
 - Dependencia de otra persona para su configuración previa al uso

- Requisitos mínimos
 - Windows XP, ninguna de las versiones posteriores es soportada.
 - Cámara Web integrada o USB

2.3 Dispositivos de interacción por audio

2.3.1 Dragon Naturally Speaking [13]

Es un software de reconocimiento de voz por computadora, evita el uso de las manos como herramienta de acceso al medio digital, ya que puede recibir órdenes verbales para realizar múltiples acciones como escribir en un procesador de texto, abrir ventanas o navegar en el escritorio, además de realizar acciones del puntero de un computador.

- Ventajas
 - Dictado de textos
 - Edición de Texto
 - Apertura de programas y herramientas del computador
 - Manejo de Navegadores de internet
 - Revisión del correo electrónico y calendario
 - Administración de redes sociales
- Desventajas [14]
 - Un aprendizaje lento para entender el tono y la pronunciación del usuario.
 - Una dependencia total de un bajo ruido ambiental.
 - Un excelente micrófono.
 - Confusión de texto en letras por números o viceversa.
- Requerimientos Mínimos.
 - Un computador con una memoria RAM mínima de 2 GB en caso de tener un sistema operativo de 32 bits y 4 GB para sistemas de 64 bits.
 - Un espacio mínimo en el disco duro de 4 GB si se instala desde una descarga, inicialmente se necesita el triple de espacio (una vez que la descarga se haya descomprimido y la instalación haya finalizado, los archivos temporales se pueden eliminar del sistema).
 - Un procesador Intel® Dual Core de 2,2 GHz o procesador AMD equivalente. Cuanto más rápidos sean los procesadores más rápido será el rendimiento.
 - Un sistema operativo Windows 7 en adelante.

- Conexión a Internet para activar automáticamente el producto.
- Tarjeta de sonido compatible con grabación en 16 bits.
- El proceso de instalación verifica que el computador en el que se desea instalar la aplicación cumple con los requisitos mínimos; de lo contrario, Dragon Naturally Speaking no se instala.

2.3.2 Dspeech [15]

Es un TAV (texto a voz) programa con funcionalidad de ASR (Automatic Speech Recognition) integrado. Es capaz de leer en voz alta el texto escrito y elegir las frases para ser pronunciadas en base a las respuestas vocales del usuario. Está diseñado específicamente para proporcionar de forma rápida y directa las funciones y mejorar la utilidad práctica que se solicitan por este tipo de programa. Mientras tanto, el consumo de invasión y de recursos es mínimo.

- Ventajas
 - Permite guardar la salida como .WAV, .MP3, AAC, WMA u OGG.
 - Permite seleccionar rápidamente diferentes voces, incluso combinarlos o juxtaponerlos con el fin de crear diálogos entre diferentes voces.
 - DSpeech integra un sistema de reconocimiento vocal que, a través de un lenguaje de script sencillo, permite crear diálogos interactivos con el usuario.
 - Permite configurar las voces de una manera independiente.
 - Permite capturar y reproducir el contenido del portapapeles.
 - Es compatible con todos los motores vocales (SAPI 5.4 compatible).
- Desventajas [16]
 - No existe soporte técnico.
 - Depende de otras aplicaciones para realizar algunas tareas.
 - Procesamiento de la voz de baja calidad, comete demasiados errores en la transcripción.
 - Poco intuitivo en lo que se refiere a transcripción de archivos de audio pregrabados.
- Requerimientos Mínimos.
 - Sistema Operativo Windows XP o posterior.
 - Acepta 12 Idiomas en su interfaz de usuario, pero solo Inglés para su interacción

- Sólo posee funciones básicas, no dispone de una interfaz de configuración avanzada.
- Precisa que en el equipo se encuentre instalada la tecnología SAPI y también las síntesis de voz que se desean utilizar.

2.3.3 J.A.R.V.I.S Mark II [17]

Éste es uno de los programas gratuitos con mayor avance en el mercado, pues queque es una versión muy limitada realiza algunas funciones sin mayor problema, como la navegación en una computadora.

- Ventajas
 - Gratuito.
 - Interfaz intuitiva y amigable con el usuario
 - Soporte técnico continuo.
- Desventajas
 - Falta de interacción con otros idiomas fuera del inglés.
 - Muy sensible al ruido externo, no se puede tener una fuente de ruido como un reproductor de música cerca del micrófono.
 - Requiere desactivación continua pues confunde palabras del usuario en una conversación con órdenes de programa.
- Requerimientos Mínimos.
 - Windows Vista o posterior.
 - Idioma de interacción Inglés.
 - Tener instalado Microsoft .NET Framework 4.5.1
 - Tener instalado SQL Local DB en 32 o 64 Bits.

2.4 Otros dispositivos de interacción

2.4.1 Finger Mouse [18]

Finger Mouse es un dispositivo que mueve el cursor de un computador utilizando la detección de imágenes pero de los dedos de una mano, para ello la mano necesita estar completamente funcional junto con el brazo y la muñeca.

- Ventajas
 - Posee funciones de clic, izquierdo, derecho, scroll y zoom.
 - Es una interfaz de código abierto.
- Desventajas
 - No posee soporte técnico.
 - Se requiere que un montaje especial de la cámara web.
 - Se requiere un fondo de imagen uniforme para la correcta adquisición de los datos, se prefiere el color azul.
 - Depende de los movimientos de la mano, situación que es imposible para las personas con cuadriplejia.
- Requisitos mínimos
 - Una computadora con un procesador Intel Core i3 o Superior.
 - Una cámara web.

2.4.2 SmartNav 4 [19]

SmartNav es una opción especializada del mercado para ayuda a personas con cuadriplejia, utiliza una cámara web modificada para el uso del sistema, actualmente es quizás la versión más comercial del mercado.

- Ventajas
 - Ofrece funciones de teclado.
 - El movimiento del cursor del computador es muy parecido al que se tendría si se utilizara la mano.
 - Posee una opción de clic con el pie en caso de que el usuario pudiera hacerlo.
 - Ofrece soporte técnico virtual.
- Desventajas
 - Posee un costo de 499 USD¹.
 - Depende de la posición de la cámara frente al usuario para obtener una buena experiencia.
 - No soporta vibraciones al momento de su uso.

¹ Precio obtenido al momento de escribir este documento, 26 de Marzo del 2015, en la página de Natural Point, se puede consultar en: <http://www.naturalpoint.com/smarnav/products/4-at/>

- Requerimientos mínimos
 - Un computador con un procesador de 500 MHz.
 - Puerto USB 1.1 o 2.0.
 - Unidad de CD-ROM.

2.5 Conclusiones del Capítulo

Una de las cosas que más se ha podido evidenciar en todos los productos vistos es la poca tolerancia a cambios que se tiene de los dispositivos de visión artificial, en su gran mayoría no soportan vibraciones o cambios de posición en los módulos o usuarios, haciendo necesaria una recalibración inmediata y por ende la intervención de otra persona para tomar el control del sistema mientras esto sucede, otra de las dificultades principales, es de los sistemas por reconocimiento de voz es la baja tolerancia a ruidos externos haciendo necesario para su correcto uso un lugar alejado de fuentes de ruido o habitaciones equipadas para alcanzar ese fin.

Por otro lado, la falta de soporte técnico en un sistema que no se acopla de forma correcta con el computador es importante, pero se puede superar con un manual de usuario detallado para su instalación.

Finalmente, las capacidades de algunos dispositivos o programas se ven limitados al uso sobre un único sistema operativo, siendo contadas las excepciones que funcionan sobre dos, esto a su vez dificulta la expansión del producto, si el usuario posee un sistema diferente se ve obligado a hacer cambios en su computador o a comprarse uno nuevo con los requerimientos necesarios, que siendo el caso no es muy apreciado por un usuario de escasos recursos económicos.

CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL DISPOSITIVO

3.1 Recopilación de información y requerimientos para el diseño del dispositivo.

3.1.1 Requerimientos del Usuario

Existen algunas consideraciones que se le ha preguntado al usuario final acerca del dispositivo, antes de empezar a diseñarlo, estas están en función de las necesidades actuales y que se conocen debido a que posee software de otras marcas que le ayudan a desenvolverse con un computador por el momento, estas especificaciones se listan a continuación:

- Sistema debe ser capaz de alcanzar las esquinas del monitor.
- Sistema debe tener un área de descanso.
 - El rango de ángulos sin interacción no debe superar los 10 grados horizontales.
 - El rango de ángulos sin interacción no debe superar los 10 grados verticales. (Figura 2, Figura 1)
 - La inclinación para hacer clic no debe superar los 20 grados.
- Debe ser portable y ubicado en la cabeza de preferencia.
- Debe utilizar una batería recargable.
- Debe poder controlar más dispositivos finales sin cambiar de dispositivo.
- Debe ser intuitivo y no consumir mucho tiempo del usuario en aprendizaje.
- Debe tener las funciones básicas de un Mouse (Clic izquierdo, derecho, doble clic)
- La velocidad de desplazamiento debe ser gradual y proporcional al movimiento de la cabeza.

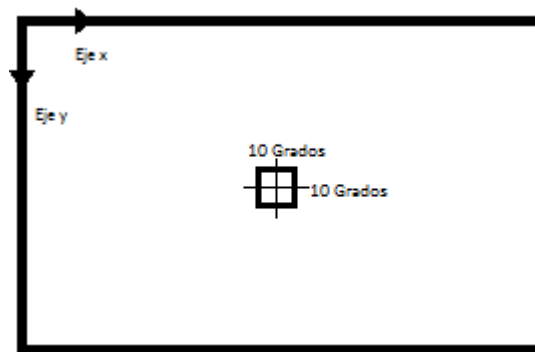


Figura 2 Área de reposo del usuario. [20]

3.1.2 Requerimientos necesarios por parte del Diseñador

Otras consideraciones básicas han sido agregadas en función del valor que pudieran tener para el usuario final, sea que las necesite o no, estarán disponibles como un soporte y se detallan a continuación:

- Debe tener disponible la autocalibración en cada uso, para que cualquier usuario pueda utilizarlo, no debería acoplarse a una sola persona.
- Debe ser eficiente energéticamente al mismo tiempo que rentable económicamente.
- Debe ser inalámbrico para comodidad del usuario.
- Debe ser hecho en hardware libre, sin dependencia de sistemas alternos para su control.
- Debe poder funcionar en tres sistemas operativos como Windows, Linux y IOS.
- No debe depender de una instalación tediosa.
- El acceso a los datos se procesa convirtiendo los valores que entrega el giróscopo en un sistema de ángulos referidos al centro de gravedad (Yaw, Pitch y Roll). Cada ángulo, tendrá su propia variable asignada y será utilizada según la **Figura 3**. Los valores positivos serán medidos dirección de las flechas.

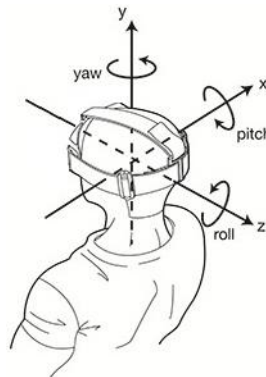


Figura 3 Ángulos utilizados en el sistema de referencia. [20]

3.2 Tecnologías a utilizar.

Luego de haber establecido las necesidades básicas para el dispositivo tanto de parte de usuario como del diseño general se procedió a investigar las posibilidades en cuanto a tecnología disponible para el desarrollo del sistema, cada una de las opciones con sus respectivas ventajas y desventajas se propone a continuación:

3.2.1 Electrodo

- Ventajas Generales:
 - Sistema de recepción de señales más sencillo de implementar.
 - Método más utilizado por otras tecnologías médicas de ayuda, se dispone de mucha bibliografía.
- Desventajas Generales:
 - No se puede extrapolar el sistema a la utilización por varias personas ya que requiere una recalibración que demanda mucho tiempo cada vez que se requiere un cambio de usuario.
 - Costo de los electrodos se vuelve un gasto grande con el uso que se le puede dar al sistema a largo plazo.
 - Sólo se pueden utilizar una sola vez en óptimas condiciones, luego de eso podría derivar en errores para el sistema.
 - Son señales analógicas que requieren un tratamiento especial para poder ser consideradas como válidas antes de un proceso.
- Señales Electromiográficas.
 - Ventajas
 - Los pulsos provenientes del usuario pueden ser leídos con facilidad si el sistema es calibrado de la manera correcta.
 - Desventajas:
 - Personas con Cuadriplejía no podrían utilizar este sistema debido a su condición física.
 - El pulso inicial es el más fácil de leer, cuando se requiere una señal de mantenimiento se vuelve complicado porque la amplitud del pulso decae con el tiempo.
 - Depende de las condiciones de la piel, si es grasosa el electrodo puede tener problemas de lectura, si existe sudoración las señales pueden ser más fuertes, confundiendo al sistema calibrado con anterioridad.

- Señales Electroencefalográficas.
 - Ventajas
 - Las señales electroencefalográficas Alfa, Beta y Gamma están siempre presentes.
 - Desventajas:
 - Excesivo número de electrodos por cada uso, desde 5 en adelante.
 - Señales más difíciles de obtener y de asimilar, pueden variar con cada persona.
 - Funciones limitadas al correcto posicionamiento de los electrodos.

3.2.2 Acelerómetro.

- Ventajas:
 - Capacidad de devolver la posición en función de integraciones matemáticas.
 - Capacidad de entregar los datos en forma analógica y digital.
- Desventajas:
 - Acarrea errores acumulados con el tiempo que se hacen más grandes conforme transcurre la lectura, esto afecta en una forma cuadrática a la obtención de la posición.
 - Solo lee pulsos y cambios de aceleración en un instante de tiempo, esto conlleva a que sea imposible mantener una señal continua, como un desplazamiento continuo del puntero.

3.2.3 Giroscopio.

- Ventajas
 - Envía datos de la variación de la velocidad angular actual a cada instante con respecto a la referencia.
 - Capacidad de entregar los datos en forma analógica y digital.

- Desventajas:
 - Calibración inicial para condiciones de referencia.
 - Recalibración cada cierto tiempo para evitar diferencias grandes en los resultados leídos.

En base a todas estas consideraciones se optó por realizar el dispositivo con un giroscopio, debido a que presentaba mejores características y facilidad de obtener la posición en contra de lo que se podía obtener con el acelerómetro.

El giróscopo a utilizar fue el MPU6050 debido a sus prestaciones, las mismas que veremos más adelante.

3.2.4 MPU6050

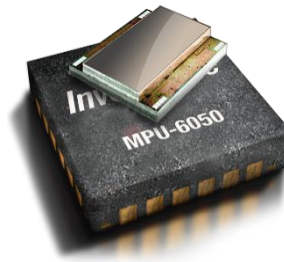


Figura 4 Empaquetado del MPU6050. [21]

El MPU6050 es un dispositivo que combina un giroscopio de 3 ejes y un acelerómetro de 3 ejes en el mismo encapsulado de silicio junto con un procesador a bordo de Movimiento Digital™ (DMP™) que procesa algoritmos MotionFusion de 6 ejes complejos. El dispositivo puede acceder a magnetómetros externos u otros sensores a través de un bus I²C maestro auxiliar que tiene incorporado, permitiendo que los dispositivos reúnan un conjunto completo de datos de los sensores sin la intervención del procesador del sistema. Los dispositivos se ofrecen en el encapsulado QFN 4x4x0.9mm. Para más información consulte el Anexo 1.

3.2.5 ATMEGA328P-AU

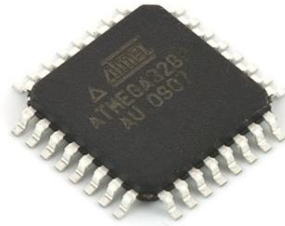


Figura 5 Empaquetado del ATMEGA328P-AU. [22]

El Atmega328p AVR 8-bit es un microcontrolador de alto rendimiento que está basado en instrucciones RISC, combinando 32 KB ISP flash con una memoria que tiene la capacidad de leer-mientras-escribe, 1 KB de memoria EEPROM, 2 KB de SRAM, 23 puertos de E/S de propósito general, 32 registros de proceso general, tres temporizadores flexibles/contadores con modo de comparación, interrupciones internas y externas, programador de modo USART, una interfaz serial orientada a byte de 2 cables, SPI puerto serial, 6-canales 10-bit Conversor A/D (8-canales en TQFP y QFN/MLF). El dispositivo opera entre 1.8 y 5.5 voltios.

La idea de utilizar este microcontrolador radica en su memoria de programa, y sus buses de comunicación disponibles, pues para utilizar el giroscopio se harán necesarias estas características para que el proyecto sea viable en los aspectos más básicos. Para más detalles consulte el Anexo 2.

3.2.6 MAX1555



Figura 6 Empaquetado del MAX1555. [23]

El MAX1555 carga una sola célula de litio-ion (Li +) tanto por el puerto USB como por una fuente adaptada de corriente alterna a continua. Este circuito integrado opera sin FET o diodos externos, y acepta la entrada de operación de tensiones de hasta 7V. Simplifica limitantes de diseño de la placa y permite que la tasa de carga óptima sin los límites térmicos impuestos por la batería del peor caso

y el voltaje de entrada sea un impedimento. Cuando se alcanzan los límites térmicos del MAX1551, los cargadores no se detienen, pero reduce progresivamente la corriente de carga. Una de las más grandes ventajas de este circuito integrado es su empaquetado SOT 23 de cinco pines (Figura 6), que brinda una gran flexibilidad al momento de reducir el tamaño del prototipo final.

3.2.7 MCP1253-33x50

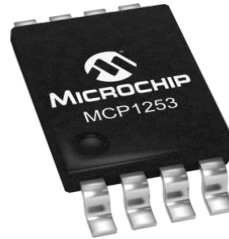


Figura 7 Empaquetado del MCP1253-33x50. [24]

El MCP1253-33X50 es un convertidor DC-DC sin inductor de regulación positiva y bajo ruido. El MCP1253-33X50 tiene una salida de 5,0 V. Puede entregar 120 mA de corriente de carga en la tensión de salida. Dado que el dispositivo incorpora una función automática buck / boost, mantendrá la tensión de salida regulada si el voltaje de entrada está por encima o por debajo de la tensión de salida. Estas bombas de carga opera a una frecuencia de conmutación de 1 MHz (debido al sistema de reducción del tamaño del condensador incorporado), y cuentan con pines de alimentación, apagado-ahorro, protección contra cortocircuitos, apagado térmico, y pines de potencia para entregar la energía que demanden las condiciones fuera de la regulación. [24]

El MCP1253-33x50 viene en un empaquetado MSOP de 8 pines (Figura 7).

3.2.8 AMS1117 3.3V

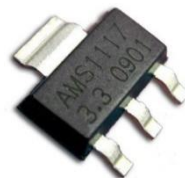


Figura 8 Empaquetado del AMS1117 3.3V. [25]

El Circuito Integrado AMS1117 es un regulador de voltaje fijo y está diseñado para proporcionar una corriente de salida de un amperio y para operar hasta 1V diferencial de entrada con respecto a la

salida. En el chip ajusta la tensión de referencia a 1,5% máxima configurada de fábrica. Los dispositivos AMS1117 son compatibles con otros reguladores SCSI de tres terminales y se ofrecen en perfil de montaje superficial con empaquetado SOT-223 (Figura 8), SOIC 8L y A-252 (DPAK). [25]

3.3 Flujograma Propuesto

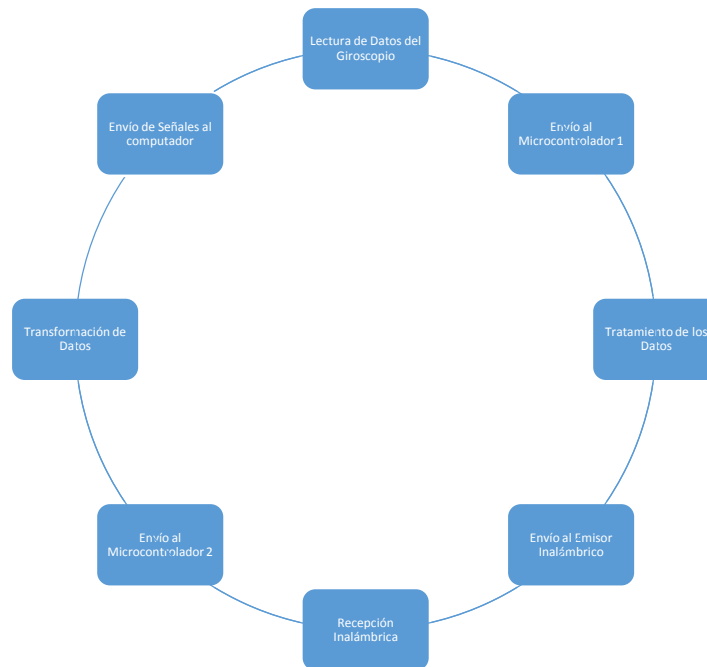


Figura 9 Flujograma completo del proceso. [20]

El proceso como tal se lo puede ver en la Figura 9, en este se detalla cómo debe actuar todo el sistema desde la recolección de datos hasta el envío de las órdenes al computador.

La interfaz de desarrollo fue una plataforma de software libre, el dispositivo programado sobre un ATMEGA328P y un ATMEGA32U4, cada uno cargado precargado con un sistema de inicio y reprogramación respectivamente. La interfaz de programación es un software que a través de un compilador de lenguaje C, permite el paso de comandos simples a lenguaje ensamblador para los integrados AVR antes mencionados.

El sistema completo está basado en un giróscopo que envía detalles de las velocidades angulares a través del protocolo I2C a un ATMEGA328P, este último dispositivo funcionará como maestro del bus. El acceso a los datos se procesa en el microcontrolador del sistema emisor, convirtiendo los datos que entrega el giróscopo en un sistema de ángulos referidos al centro de gravedad (Pitch, Yaw y Roll).

Cuando todos estos han sido leídos, procesados y transformados a datos de formato de ocho bits, entonces son enviados al ATMEGA32U4, en donde se requiere establecer las restricciones mencionadas al inicio, como es crear un área de reposo para el usuario. Esta área ha sido tomada en función de un cuadrado de veinte grados de lado, repartidos en dos partes, diez grados en el cuadrante izquierdo y diez grados en el derecho, de la misma forma para la parte superior e inferior del sistema coordinado. Esto facilita que el usuario pueda tener ligeros movimientos de la cabeza sin afectar la posición del cursor en la pantalla del ordenador

3.4 Esquema General del Sistema

3.4.1 Cargador de Batería.

Uno de los más grandes retos que se cumplieron con éxito era el cargador de batería, pues exigía que sea un sistema compacto y al mismo tiempo eficiente, así que luego de corroborar varias opciones se optó por el MAX1555 como la mejor opción del mercado en cuanto a especificaciones técnicas. El esquema propuesto en la Figura 10 es el más pequeño de implementar en el PCB, ahorrando espacio y brindando una óptima solución.

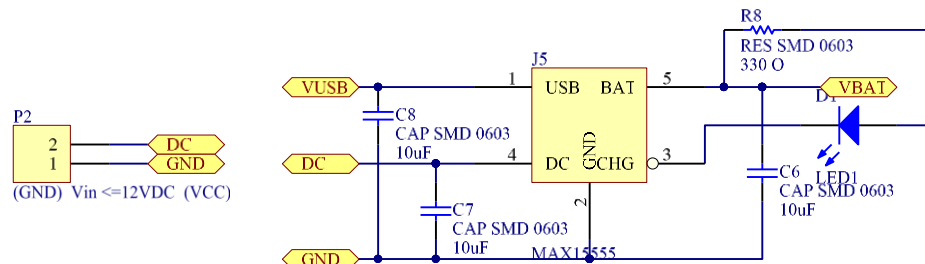


Figura 10 Esquema del Cargador de Batería. [20]

3.4.2 Convertidor DC-DC

Cuando se tiene una batería como fuente de alimentación es necesario tener un convertidor de tensión, debido a que los circuitos integrados funcionan a 5 voltios y la batería almacena 3.7 voltios. En este caso el sistema no depende de un inductor como la mayoría de los convertidores convencionales, sin embargo, el MCP1253 posee algunas características que se pueden utilizar a futuro como medios de control, como un pin de apagado/encendido, un pin de alta impedancia para aviso a un sistema externo, y un pin de selección, para este caso, se decidió no utilizar ninguna de las

opciones disponibles debido a que no son necesarias por el momento, sin embargo se tienen previstas modificaciones a futuro. El esquema completo se aprecia en la Figura 11.

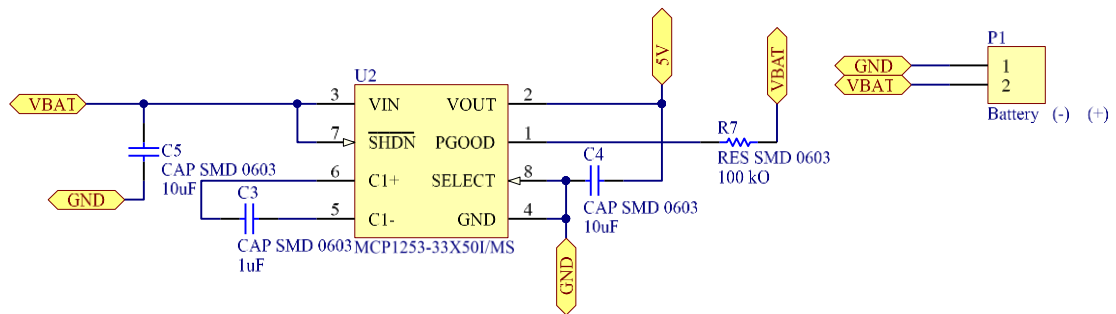


Figura 11 Esquema del Convertidor Elevador DC-DC. [20]

3.4.3 Pines de Programación

Debido a que se piensa tener un solo ensamble del sistema completo, se han previsto pines para la reprogramación del microcontrolador en caso de ser necesario, con los pines que se observan en la Figura 12 se puede lograr ese propósito, dando la ventaja de hacer modificaciones en caso de ser necesarias, como por ejemplo una adaptación a los ángulos de desplazamiento en caso de lesiones en el cuello de un usuario.



Figura 12 Esquema de los puertos de Programación. [20]

3.4.4 Pines de conexión con los módulos de lectura y escritura

La Figura 13 nos muestra cómo está la disposición de pines para los módulos de transmisión, giróscopo y el puerto USB por el cual se carga a la batería.

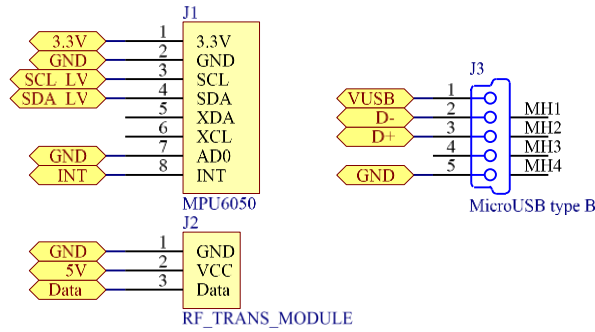


Figura 13 Esquema de la conexión con el Módulo RF, MPU6050 y el puerto USB [20]

3.4.5 Bus de conexión de bajo y alto voltaje

Una de las características del MPU6050 es que trabaja a 3.3 voltios, es por eso que se necesita un sistema que haga las veces de mediador entre los 5 voltios que maneja el microcontrolador y los 3.3 voltios del giróscopo, para esto se requiere una fuente de tensión reductora de 5 voltios a la tensión requerida y un comando a través de integrados Mosfet para regular la tensión de ingreso y salida en el bus I²C. El esquema de todo lo mencionado anteriormente se encuentra en la Figura 14.

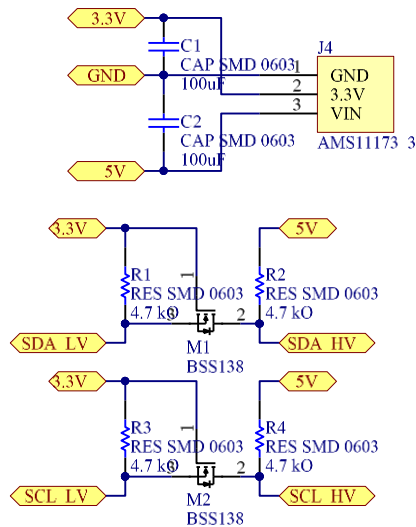


Figura 14 Esquema del bus de comunicación de bajo nivel de Voltaje a 3.3V [20]

3.4.6 Control Maestro

Para el control maestro del sistema se utilizó un ATMEGA328P-AU debido a sus prestaciones, al poseer un sistema de interrupción externa, un bus I²C, memoria Flash de 32Kb y capacidad de reprogramación por 6 pines se vuelve el indicado para la aplicación, pues la cantidad de datos a procesar será extensa.

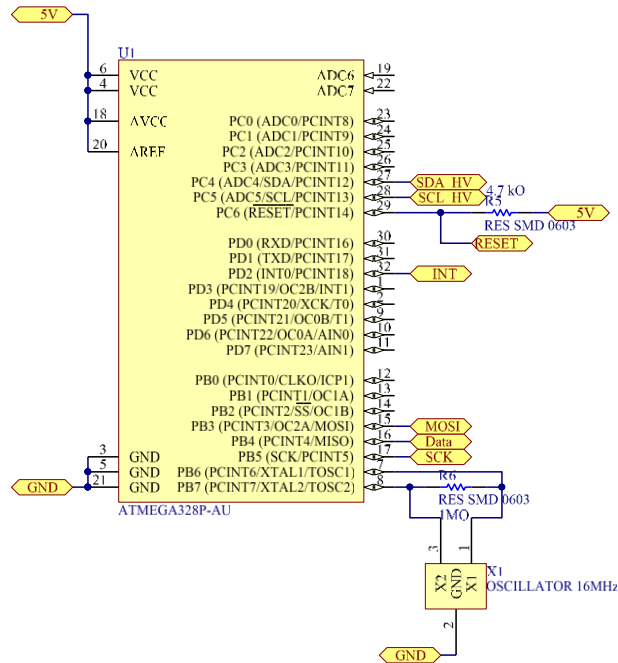


Figura 15 Esquema de conexión con el Microcontrolador ATMEGA328P-AU [20]

3.4.7 Placa de Circuito Integrado

La Figura 16, Figura 17, Figura 18 e Figura 19 muestran el resultado final del sistema, visto desde sus diferentes capas.

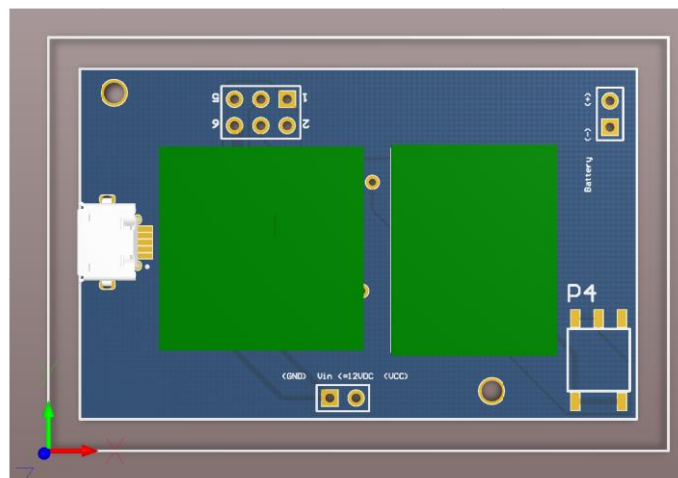


Figura 16 Resultado del PCB Final visto desde la Capa Superior [20]

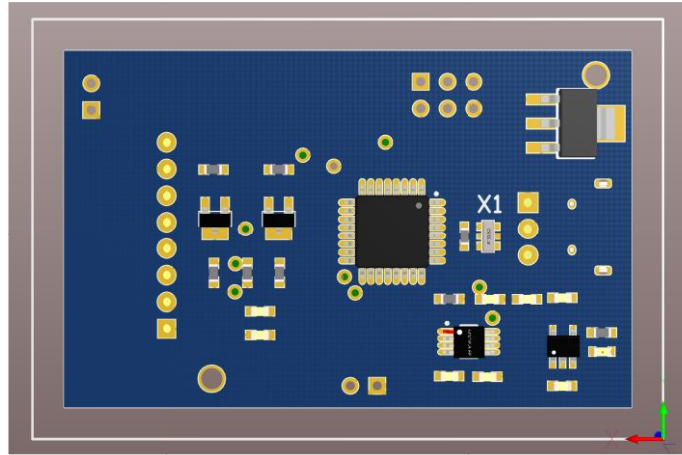


Figura 17 Resultado del PCB Final visto desde la Capa Inferior [20]

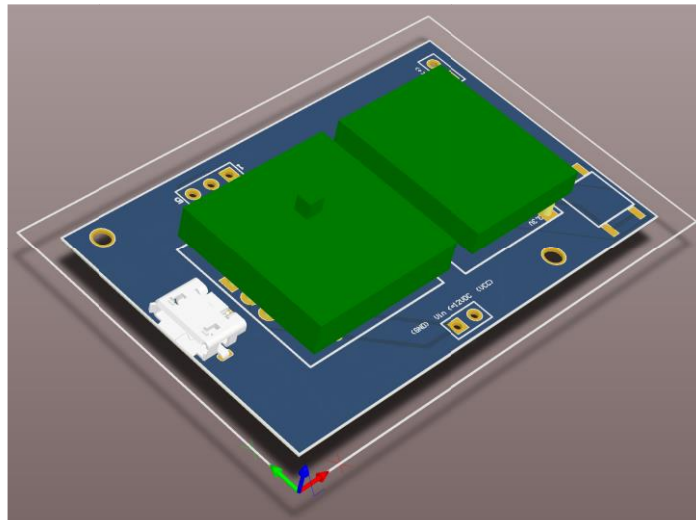


Figura 18 Resultado del PCB Final en perspectiva visto desde la Capa Superior [20]

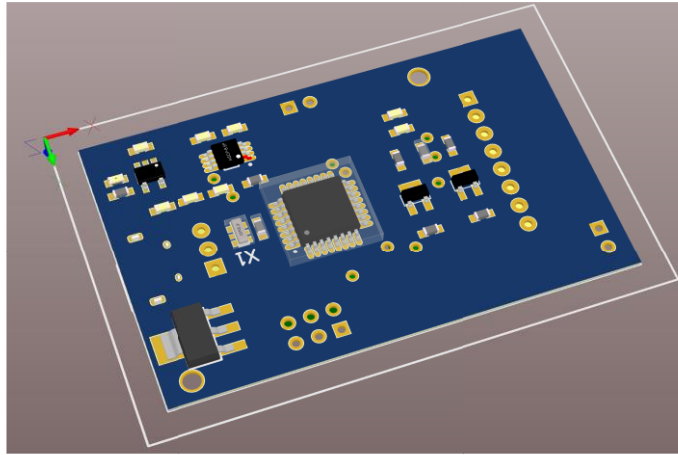


Figura 19 Resultado del PCB Final en perspectiva visto desde la Capa Inferior [20]

3.5 Estética del dispositivo

La idea primordial de esta sección es apuntar a que el sistema se oriente a lucir de forma adecuada, es por eso que desde un inicio se planteó un dispositivo portátil, que pueda ser montado y desmontado con facilidad sobre el usuario. Bajo este principio se diseñó un módulo que puede caber en el espacio físico ocupado por una batería de celular BL-5C, la Figura 16 brinda más detalles de cómo quedaría la placa de circuito integrado con los materiales soldados.

3.6 Portabilidad del circuito Emisor y Receptor

La portabilidad del sistema fue uno de los enfoques trascendentales de esta tesis, pues como vimos **Cfr. Supra** existen sistemas que aunque son pequeños, no son portables en realidad, debido a su dependencia total de un montaje fijo frente al usuario.

Esta necesidad fue cubierta utilizando módulos de Radio Frecuencia que se muestran en la Figura 20, los mismos que ocupan una frecuencia de comunicación de 433 MHz. Estos módulos facilitan que el usuario no se vea atado a cables con el computador, haciendo el sistema inalámbrico y portable al mismo tiempo. En la Figura 20 se aprecia una imagen de los módulos prefabricados.



Figura 20 Izq. Módulo Emisor Der. Módulo Receptor. [26]

3.6.1 Transmisor [26]

- Corriente de trabajo: Máximo $\leq 40\text{mA}$ (12V), mínimo $\leq 9\text{ mA}$ (3V)
- Modo resonante: SAW
- Modo de la modulación: ASK / OOK
- Frecuencia de trabajo: 315MHz ~ 433.92 (la frecuencia se puede personalizar)
- Potencia de transmisión: 25 mW (433 MHz, 12V)
- Error de frecuencia: 150KHz (máximo)
- Velocidad: $\leq 10\text{ Kbps}$
- Tamaño: 30 x 14 x 7 mm
- Antena externa: 32cm de un solo núcleo, bobina helicoidal

3.6.2 Receptor [26]

- Frecuencia de trabajo 315MHz ~ 433.92 (la frecuencia se puede personalizar)
- Ancho de banda: 2 MHz (433 MHz, resultado de la prueba de baja sensibilidad -3dBm)
- Tamaño: 19 x 19 mm
- Sensitividad del Receptor (dBm): -105 dB
- Antena externa: multinúcleo 25cm o alambre de un solo núcleo
- Velocidad de recepción: 4 KB/s
- Potencia de transmisión: 10 mW
- Frecuencia de recepción: 433 MHz

La Figura 21 muestra el consumo de corriente proporcional al voltaje de alimentación del módulo transmisor, este es un factor muy importante a tener en cuenta en el sistema emisor, ya que este se alimenta de una batería de 800 mA/h, y debido a esto a menos consumo obtendremos más vida útil del sistema por carga efectiva, en este caso hacemos un consumo de 16.67 mA/h por el sistema de transmisión.

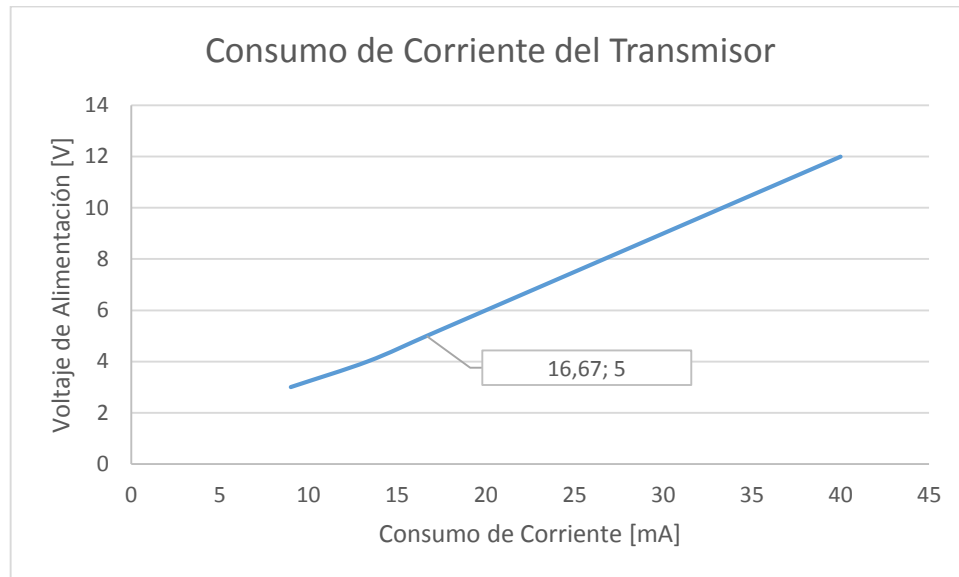


Figura 21 Consumo de Corriente del módulo Transmisor RF.

El esquema de conexión de pines del receptor se aprecia en la Figura 22, si bien es cierto posee un puerto para una antena, en este caso no se lo utiliza porque incrementa el espacio necesario, aunque con eso se sacrifica alcance efectivo.

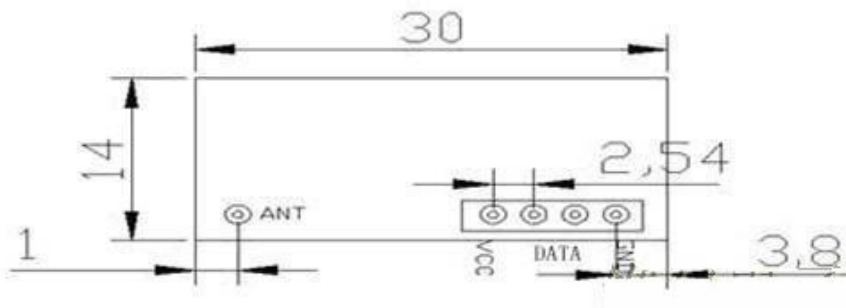


Figura 22 Especificaciones de conexión del Receptor RF. [26]

3.7 Programación

El flujograma de proceso se puede observar en la Figura 23.

La orientación de la cabeza se midió utilizando el giróscopo de 3 grados de libertad (MPU6050) unido a la cabeza del sujeto acoplado mediante un sombrero, este sistema es similar a otros estudios [27], [28]. El sensor es lo suficientemente pequeño (40mmx37mmx22mm) para no causar inconvenientes. Se decodifica en tres ángulos de orientación, Yaw, Pitch y Roll controla los movimientos horizontales, verticales, y de inclinación.

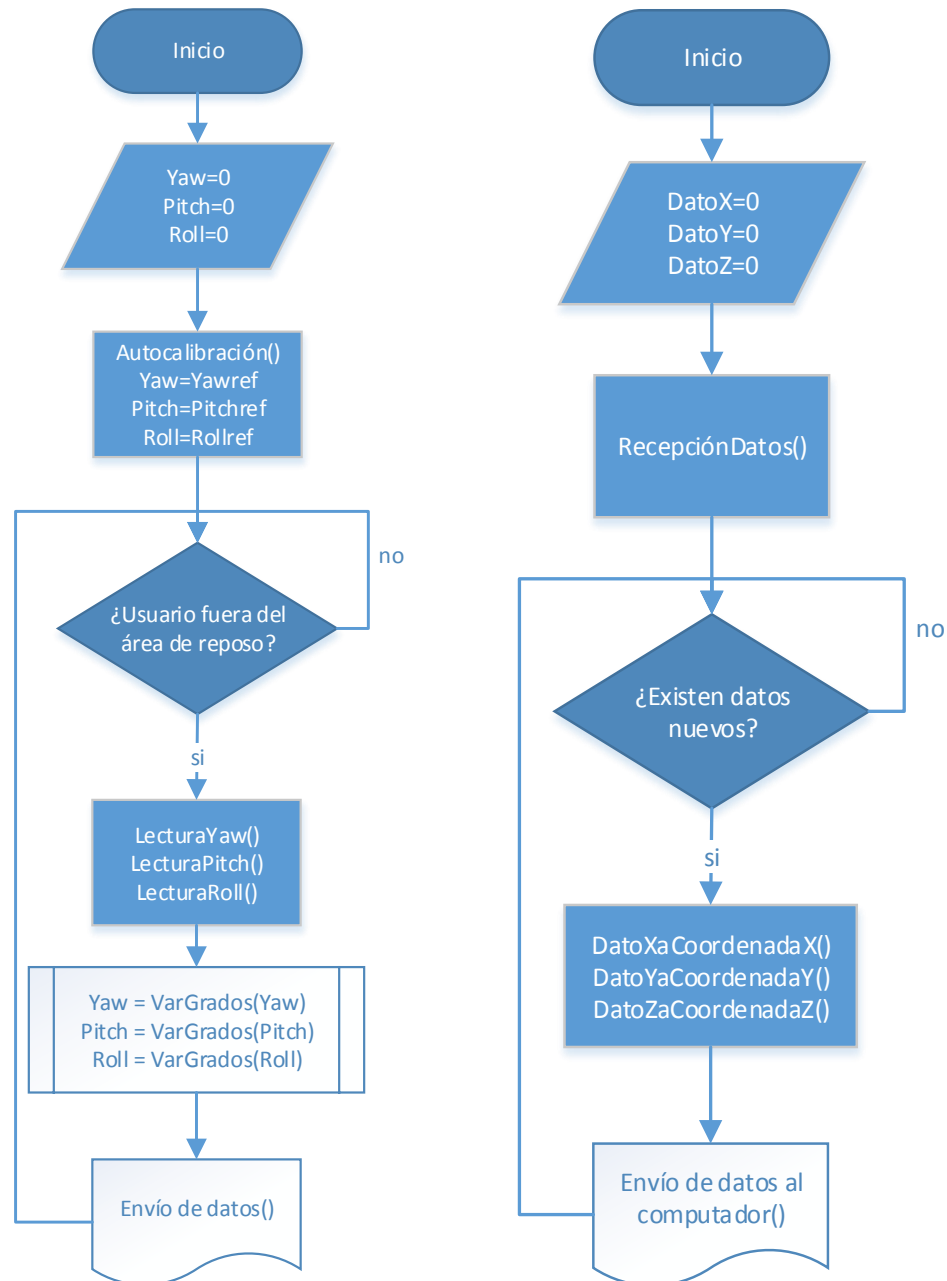


Figura 23 Flujograma de programa Emisor (a), Receptor (b). [26]

CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

4.1 Pruebas a Realizar

4.1.1 Usuarios

La capacidad de prueba de este sistema se ve limitado por el inconveniente de que el Ministerio de Salud Pública no entrega información de los posibles usuarios con cuadriplejía, y debido a que la Secretaría Nacional de Discapacidades no administra esa información se hizo necesaria una búsqueda de potenciales beneficiarios que cumplan con los requerimientos para utilizar el sistema.

El dispositivo fue probado de forma exitosa en un joven de 25 años oriundo de la ciudad de Macas, provincia de Morona Santiago, de nombre Luis Garzón, el mismo que posee una cuadriplejía C4-C5, es decir puede mover su cabeza y hombros.

Los demás usuarios fueron personas voluntarias allegadas a Luis que nos dieron su perspectiva de utilización fomentando la corrección del código y funcionalidades específicas.

4.1.2 Pruebas de Funcionalidades

4.1.2.1 Primera Fase

La primera parte de pruebas que se hizo del sistema completo fue a nivel interno, sin intervención de un usuario externo, para poder evaluar las condiciones básicas que el dispositivo debía cumplir, como la velocidad de procesamiento, las órdenes dadas vs las realizadas, entre otras que veremos a continuación.

Tabla 9 Prueba del dispositivo al hacer clic izquierdo.

Número de Intento	Acertadas	Erradas	Porcentaje de Aciertos [%]
1	3	2	60
2	3	2	60
3	4	1	80
4	3	2	60
5	4	1	80
6	4	1	80
7	5	0	100
8	5	0	100

La primera prueba tenía por objetivo el verificar que el sistema haga clic izquierdo al inclinar el dispositivo en el eje con variable Roll negativo, se hicieron 5 ensayos por intento.

Tabla 10 Prueba del dispositivo al hacer clic derecho.

Número de Intento	Acertadas	Erradas	Porcentaje de Aciertos [%]
1	2	3	40
2	2	3	40
3	3	2	60
4	3	2	60
5	4	1	80
6	3	2	60
7	5	0	100
8	5	0	100

La segunda prueba tenía por objetivo el verificar que el sistema haga clic derecho al inclinar el dispositivo en el eje con variable Roll positivo, se hicieron 5 ensayos por intento.

Tabla 11 Prueba del dispositivo al intentar desplazar el cursor horizontalmente en el eje Yaw positivo.

Número de Intento	Acertadas	Erradas	Porcentaje de Aciertos [%]
1	4	1	80
2	4	1	80
3	5	0	100
4	5	0	100
5	5	0	100
6	5	0	100
7	5	0	100
8	5	0	100

La tercera prueba tenía por objetivo el verificar que el sistema desplace a la izquierda el puntero del computador al inclinar el dispositivo en el eje con variable Yaw positivo, se hicieron 5 ensayos por intento.

Tabla 12 Prueba del dispositivo al intentar desplazar el cursor horizontalmente en el eje Yaw negativo.

Número de Intento	Acertadas	Erradas	Porcentaje de Aciertos [%]
1	3	2	60
2	4	1	80
3	4	1	80
4	5	0	100
5	5	0	100
6	5	0	100
7	5	0	100
8	5	0	100

La cuarta prueba tenía por objetivo el verificar que el sistema desplace a la derecha el puntero del computador al inclinar el dispositivo en el eje con variable Yaw negativo, se hicieron 5 ensayos por intento.

Tabla 13 Prueba del dispositivo al intentar desplazar el cursor verticalmente en el eje Pitch positivo.

Número de Intento	Acertadas	Erradas	Porcentaje de Aciertos [%]
1	3	2	60
2	3	2	60
3	4	1	80
4	5	0	100
5	5	0	100
6	5	0	100
7	5	0	100
8	5	0	100

La quinta prueba tenía por objetivo el verificar que el sistema desplace hacia arriba el puntero del computador al inclinar el dispositivo en el eje con variable Pitch positivo, se hicieron 5 ensayos por intento.

Tabla 14 Prueba del dispositivo al intentar desplazar el cursor verticalmente en el eje Pitch negativo.

Número de Intento	Acertadas	Erradas	Porcentaje de Aciertos [%]
1	3	2	60
2	3	2	60
3	4	1	80
4	4	1	80
5	4	1	80
6	5	0	100
7	5	0	100
8	5	0	100

La sexta prueba tenía por objetivo el verificar que el sistema desplace hacia abajo el puntero del computador al inclinar el dispositivo en el eje con variable pitch negativo, se hicieron 5 ensayos por intento.

4.1.2.2 Segunda Fase

En el segunda parte de pruebas se hizo con voluntarios, en este caso ellos debían intentar alcanzar un punto en el centro de la pantalla del ordenador y hacer clic derecho. Cuatro fue el número de intentos permitidos para esta prueba.

Tabla 15 Intento de alcanzar un punto y hacer clic derecho.

Número de Usuario	Acertadas	Erradas	Porcentaje de Aciertos [%]
1	2	2	50
2	4	0	100
3	4	0	100
4	3	1	75
5	4	0	100
6	4	0	100

4.1.2.3 Tercera Fase

La última fase de pruebas se hizo con el usuario final, al cual lo único que se le pidió es que intentara utilizar el sistema sin una capacitación completa del funcionamiento, esto se hizo para ver si podía entender el esquema de funcionamiento del dispositivo e intente adaptarse lo mejor posible.

No se registraron datos en tablas, lo único que se hizo fue corregir los valores de la zona muerta y cambiar el método de desplazamiento, pues el dispositivo pasó de tener dos posibilidades de desplazamiento, una rápida y una lenta, a tener un cambio gradual según la inclinación y modificación de los ángulos Yaw y Pitch. Una apreciación de estas pruebas se puede observar en la Figura 24, Figura 25 e Figura 26.

En el tema de la zona de reposo se cambiaron los valores debido a que el usuario no podía iniciar el desplazamiento del puntero del computador de forma cómoda y se le obligaba a inclinar demasiado su cabeza.



Figura 24 Prueba de movimiento horizontal.



Figura 25 Prueba de movimiento vertical.



Figura 26 Prueba de clic Derecho e Izquierdo.

4.1.3 Pruebas de Transmisión

Las pruebas de transmisión se realizaron variando la distancia entre el usuario y el computador, además de poner obstáculos en línea de vista directa, para establecer si existía o no comunicación.

Se realizaron cuatro intentos en cada ensayo a una distancia respectiva.

Tabla 16 Pruebas de Transmisión sin obstáculo

Distancia[metros]	Acertadas	Erradas	Porcentaje de Aciertos [%]
0.5	4	0	100
0.8	4	0	100
1	4	0	100
3	4	0	100
5	4	0	100
8	4	0	100
10	3	1	75
11	2	2	50
12	0	4	0

Como obstáculo se utilizó una plancha de MDF de 80x80cm, el obstáculo se localizó siempre a una distancia de 50cm del usuario con respecto al ordenador.

Tabla 17 Pruebas de Transmisión con obstáculo

Distancia[metros]	Acertadas	Erradas	Porcentaje de Aciertos [%]
0.5	4	0	100
0.8	4	0	100
1	4	0	100
3	4	0	100
5	4	0	100
8	3	1	100
10	2	2	75
11	2	2	50
12	0	4	0

4.1.4 Pruebas de Recepción

Las pruebas de recepción se realizaron simultáneamente con las pruebas de transmisión, por ende los resultados se ven reflejados en la Tabla 16 y Tabla 17.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tomando en cuenta los datos desde la Tabla 9 hasta la Tabla 17, podemos sacar algunos datos análisis del avance del proyecto, desde sus primeras pruebas hasta cuando el sistema se hubo perfeccionado.

La primera característica que vale la pena destacar está fundamentada en la Tabla 9, pues en un inicio el sistema tenía problemas para reconocer el clic izquierdo y esto se debía a que el área de reposo en el eje del ángulo Roll era muy grande, y se requería una inclinación de la cabeza hacia la izquierda que no era conveniente, así que se le fue reduciendo hasta encontrar el mejor valor de medición y cambio, el sistema quedó con un rango de 12 grados, lo cual asegura que no existan falsos clics y al mismo tiempo no causa fatiga alcanzar esos valores desde el punto de referencia.

La siguiente característica está fundamentada en la Tabla 9 y Tabla 10, es referente al clic derecho, que de la misma forma que se estableció un valor para el clic izquierdo, se le asignó la misma cantidad para el clic derecho. Por ende el sistema quedó con un rango de -12 grados, lo cual asegura que no existan falsos clics y al mismo tiempo no causa fatiga alcanzar esos valores desde el punto de referencia.

Los valores del desplazamiento del puntero de forma horizontal tanto positivos como negativos se establecieron en base al literal 4.1.2.3 debido a que como usuario final debía sentirse cómodo con el sistema en cualquier situación, así que el rango de valores se estableció en ± 8 grados con respecto a la referencia, corrigiendo lo planteado en el literal 3.1.2 que establecía como ± 10 grados en el ángulo Yaw.

Los valores del desplazamiento del puntero de forma vertical tanto positivos como negativos se establecieron en base al literal 4.1.2.3 debido a que como usuario final debía sentirse cómodo con el sistema en cualquier situación, así que el rango de valores se estableció en +8 y -6 grados con respecto a la referencia, corrigiendo lo planteado en el literal 3.1.2 que establecía como ± 10 grados en el ángulo Pitch.

Los resultados mostrados bajo los parámetros modificados en base al usuario final mostraron un desempeño mejor en comparación con las pruebas realizadas con los voluntarios, y esto se debe a que la posición inicial cambiaba con los voluntarios para beneficio propio, alterando así las medidas, sin embargo cuando se repitió las pruebas y se les pidió que supriman los movimientos del cuerpo por completo la situación ya no fue favorable con los valores de la prueba anterior. Sin embargo con los valores obtenidos en base al usuario final estas pruebas resultaron satisfactorias.

CONCLUSIONES Y FUTURAS APLICACIONES

Luego de dar por finalizada la investigación e implementación del presente proyecto se han logrado obtener las siguientes conclusiones:

- A pesar de que el mundo apunta cada vez más a utilizar las manos como medio de comunicación con los dispositivos que se desarrollan día a día, las personas con cuadriplejía han empezado a ser tomadas también en cuenta en estos adelantos, haciendo de este mundo cada vez más inclusivo en esta área del desarrollo. En este proyecto se investigó el desarrollo de un sistema que sea accesible y adaptable al usuario, tomando en cuenta sus limitaciones y brindando una solución acorde a las mismas.
- El sistema demostró que su autocalibración fue una implementación muy necesaria y favorable para el usuario, pues evita un tedioso aprendizaje continuo que tienen otros módulos y en lugar de ello lo único que se necesita es un tiempo inicial para que el sistema aprenda la posición de reposo del usuario, ayudando incluso que el dispositivo no se acomode a la realidad de una sola persona y en lugar de ellos pueda ser utilizado por otro usuario con la única condición de que reinicie su autocalibración.
- El establecimiento del área de reposo es otra de las ventajas implementadas en el sistema, debido a que facilita la concentración del usuario en la lectura al no tener el puntero del computador moviéndose de forma innecesaria con movimientos pequeños o indeseados.
- El módulo inalámbrico montado sobre la cabeza del usuario tiene mayores ventajas en contra de los sistemas comerciales, pues su funcionamiento no se ve alterado por ruidos externos o la presencia de una persona junto al usuario, pues en esos casos los sistemas se veían perturbados en gran manera causando errores en el desempeño final.
- Para el sistema resultó más conveniente hacer un módulo inalámbrico y de fácil remoción, para facilitar a los familiares del usuario la conexión y puesta en marcha del dispositivo, con una simple capacitación de duración mínima acerca de los cuidados del mismo.
- En contraparte a los sistemas comerciales, el dispositivo desarrollado hace más fácil la interacción con el computador, pues permite alcanzar puntos de difícil acceso con las otras alternativas, como las esquinas de la pantalla, esto se puede ver convertido en beneficio para los usuarios, pues permite minimizar, maximizar y cerrar una ventana sin inconvenientes.
- Luego de un análisis del sistema se puede determinar que los beneficiarios no son únicamente las personas con cuadriplejía, sino también personas con otro tipo de enfermedades del tipo degenerativas como Parkinson y ELA (Esclerosis Lateral Amiotrófica), ya que en cada una de estas, el paciente pierde gradualmente el movimiento voluntario de

sus miembros inferiores hasta los superiores, haciendo que el dispositivo diseñado pueda ser utilizado en la mayoría de los casos.

- Como un punto aparte de la investigación y desarrollo de este proyecto se hizo un análisis de la condición social del individuo favorecido, (material disponible gratuitamente bajo pedido al autor), en el que se pudo demostrar que la persona a más de obtener un sistema de ayuda, puede ganar en otros aspectos, como la confianza en sí mismo, causando una mejoría a nivel psicológico, debido a que al tener un medio de interacción con el ambiente, pasa de ser una persona discapacitada a formar parte de una sociedad con capacidades diferentes.
- El usuario gracias al dispositivo podría ingresar al mundo laboral de una forma menos limitada, pues existen empresas en internet que entregan dinero a cambio de ciertos servicios como llenar encuestas, dado este caso el usuario al poder acceder a un computador a través del sistema diseñado, pasaría a generar una fuente de ingresos para la familia en lugar de ser una carga como hasta ahora es la realidad de muchas personas.
- Como punto final, el proyecto de tesis aquí expuesto participó en un concurso a nivel nacional, siendo objeto de evaluaciones por parte de personal calificado por la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, y luego de avanzar por las diversas fases, calificó para obtener fondos estatales quedando entre las 12 investigaciones ganadoras de entre 3153 proyectos concursantes. Con esto se pretende dar una pauta para futuros desarrollos basados en la misma línea de investigación, sabiendo que tiene el potencial de crecer si otros estudiantes deciden incursionar en el campo.
- La base fundamental de este proyecto puede ser utilizada para futuras aplicaciones de movilidad y control de otros dispositivos ajenos a un computador, como una silla de ruedas o un sistema de rehabilitación, para lo cual sólo se requiere cambiar el receptor de las órdenes.

ANEXOS

1. Anexo 1

Especificaciones del MPU6050

- Salida digital de datos MotionFusion 6 ejes.
- Sensor de tres ejes de velocidad angular (giroscopio), con una sensibilidad de hasta 131 LSB/dps y una serie a gran escala de ± 250 , ± 500 , ± 1.000 , y ± 2000 dps
- Acelerómetro con un rango de escala programable de $\pm 2g$ Tri-Axis, $\pm 4g$, $\pm 8g$ y $\pm 16g$
- Reducción de los efectos de sedimentación y derivación del sensor de eliminación de errores de alineación transversal del eje a nivel de placa entre los acelerómetros y giroscopios
- Movimiento Digital Processing [™] (DMP [™]) motor de descarga a MotionFusion complejo, sincronización de tiempo del sensor y la detección gesto
- Apoyo MotionApps Platform [™] para Android, Linux y Windows
- Sensor de temperatura de salida digital
- Entrada digital en el pin FSYNC para apoyar vídeo estabilización de imagen electrónica y GPS.
- Interrupción programable para apoyo de reconocimiento de gestos, paneo, zoom, desplazamiento, y detección de agitación.
- Rango de voltaje de VDD 2.375V-3.46V; VLOGIC (MPU-6050) a 1,8 V $\pm 5\%$ o VDD
- Corriente de trabajo de Giróscopo: 3.6mA (plena potencia, giroscopio en todas las frecuencias)
- corriente de trabajo Giróscopo + Acelerómetro: 3.8mA (plena potencia, giroscopio en todas las velocidades, aceleración a 1 kHz de frecuencia de muestreo)
- Corrientes de funcionamiento del modo de bajo consumo del Acelerómetro: 10 μ A a 1 Hz, 20 μ A a 5 Hz, 70 μ A a 20 Hz, 140 μ A a 40Hz
- Corriente de suministro en modo inactivo: 5 μ A
- 400kHz I²C en Modo rápido.
- Autotest incorporado
- Tolerante a un choque de 10.000 g
- Empaquetado pequeño y delgado para dispositivos portátiles (QFN 4x4x0.9mm) (Figura 4Figura 2Figura 1)
- Cumple con la normativa RoHS.

2. Anexo 2

Especificaciones del ATMEGA32U4

- Fabricante Atmel
- Microcontroladores de 8 bits - MCU
- Núcleo AVR
- Ancho de bus de datos de 8 bit
- Frecuencia de reloj máxima 20 MHz
- Tamaño de memoria del programa 32 kB
- Tamaño de RAM de datos 2 kB
- Canales A/D disponibles 6
- Tamaño de bits A/D 10 bit
- Voltaje de alimentación operativo entre 1.8 V y 5.5 V
- Temperatura de trabajo máxima + 85°C
- Empaquetado / Cubierta TQFP-32 (Figura 5)
- Estilo de montaje SMD
- Tipo de RAM de datos SRAM
- Tamaño de ROM de datos 1 kB
- Tipo de ROM de datos EEPROM
- Tipo de interfaces I2C, SPI, USART
- Temperatura de trabajo mínima - 40 C
- 23 entradas y salidas en total
- 3 temporizadores
- Serie de procesadores de la gama megaAVR
- Memoria de programa tipo Flash
- En conformidad con la RoHS

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. S. I. A. ASIA, International standards for neurological and functional classification of spinal cord injury,, Chicago, 1992..
- [2] Á. F. Cordero, «Tetraplejia traumática tras fractura vertebral cervical: Estudio Comparativo de Tratamiento Conservador Y Quirúrgico.,» UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, Madrid, 2011.
- [3] A. S. I. A. ASIA, «<http://www.scia.org.au/>,» ISCOS, 2006. [En línea]. Available: http://scia.org.au/images/2006_Classif_worksheet.pdf. [Último acceso: 03 Enero 2015].
- [4] S. Center, «“Understanding spinal cord injury, what you should know about about spinal cord injury and recovery”,» Shepherd Center, 2011.
- [5] L. Guttman, «Clinical symptomatology of spinal cord lesions.,» Vinken PJ & Bruyn, Amsterdam: North-Holland Publ., 1969.
- [6] SENPLADES, «Sistema Nacional de Información,» Secretaría Nacional de Planificación y desarrollo del Ecuador, 28 Noviembre 2010. [En línea]. Available: <http://indestadistica.sni.gob.ec/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=SNl.qvw&host=QVS@kukuri&anonymous=truehttp://indestadistica.sni.gob.ec/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=SNl.qvw&host=QVS@kukuri&anonymous=true&bookmark=Document/BM38>. [Último acceso: 15 Noviembre 2014].
- [7] R. Carpenter, «Eye movements,» MacMillan, 1991.
- [8] A. Yarbus, « Eye Movements and Vision,» Plenum, New York, 1967.
- [9] S. Saito, «Does fatigue exist in a quantitative measurement of eye movements?,» *Ergonomics*, nº 5/6, 607-615, p. 35 , 1992.
- [10] J. Gips, «www.cameramouse.org,» Trustees of Boston College, 1 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://www.cameramouse.org/index.html>. [Último acceso: 02 Febrero 2015].
- [11] C. M. Loba, «www.sourceforge.net,» CREA Software), 1 Enero 2008. [En línea]. Available: <http://eviacam.sourceforge.net/> . [Último acceso: 5 Enero 2015].
- [12] L. Lart, «<http://www.larryo.org/>,» 30 Noviembre 2010. [En línea]. Available: <http://larryo.org/work/information/umouse/> . [Último acceso: 12 Enero 2015].
- [13] I. Nuance Communications, «Drago Naturally Speaking,» Nuance, 1 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://www.nuance.es/particulares/producto/dragon-paramc/home/index.htm#!other>. [Último acceso: 5 Enero 2015].
- [14] L. Serrahima, «<http://www.lalinternadeltraductor.org/>,» La Linterna del Traductor, Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.lalinternadeltraductor.org/n5/dragon-naturally-speaking.html>. [Último acceso: 6 Enero 2015].

- [15] D. Coutsoumbas, «<http://dimio.altervista.org/eng/>,» Dimio, 5 Febrero 2010. [En línea]. Available: <http://dimio.altervista.org/eng/>. [Último acceso: 27 Diciembre 2014].
- [16] D. Coutsoumbas, «www.educacion.once.es,» 5 Febrero 2010. [En línea]. Available: <http://educacion.once.es/appdocumentos/educa/prod/DSpeech%20-%20Conversor%20de%20textos%20a%20audio.pdf>. [Último acceso: 28 Diciembre 2015].
- [17] M. Wilson, «<http://jarvis.ai-dot.net/>,» Mega Voice Command , 1 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://jarvis.ai-dot.net/>. [Último acceso: 12 Enero 2015].
- [18] Yahya_Younes, «www.codeplex.com,» Microsoft, 11 Diciembre 2010. [En línea]. Available: <http://fingermouse.codeplex.com/> . [Último acceso: 12 Enero 2015].
- [19] N. Point, «www.naturalpoint.com/,» NaturalPoint, Inc, 1 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://www.naturalpoint.com/smarnav/products/4-at/> . [Último acceso: 12 Enero 2015].
- [20] H. Tello, *Gráficas Demostrativas*, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [21] I. InvenSense, «InvenSense, Inc.,» [En línea]. Available: <http://www.invensense.com/images/mpu-6050.png>. [Último acceso: 24 Enero 2015].
- [22] N. C. Limited, «Nevis Computers Limited,» [En línea]. Available: http://ava.upuaut.net/store/image/cache/data/ATmega328TQFP_big-500x500.jpg. [Último acceso: 25 Enero 2015].
- [23] M. Electronics, «Mouser Electronics, Inc,» Mouser Electronics, Inc, [En línea]. Available: http://www.mouser.ec/search/refine.aspx?Ntk=P_MarCom&Ntt=178339308. [Último acceso: 2015 Enero 26].
- [24] M. Technology, «Microchip Technology Inc,» Microchip Technology Inc, [En línea]. Available: <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=MCP1253>. [Último acceso: 2015 Enero 26].
- [25] A. M. Systems, «Advanced Monolithic Systems Inc.,» Advanced Monolithic Systems Inc., [En línea]. Available: <http://www.advanced-monolithic.com/products/voltreg.html#1117>. [Último acceso: 2015 Enero 27].
- [26] S. M. B. Supply, «<http://www.high-altitude-balloon.com>,» Icube, 06 Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://www.high-altitude-balloon.com/image/data/ARDUINO/433mhz-rf-transmitter%20web.jpg>.
- [27] T.-S. K. W. C. a. J.-S. L. Y.-L. Chen, «A novel position sensors-controlled computer mouse for the disabled,» de *22nd Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, Chicago, IL, 2000..
- [28] D. M. B. a. B. J. A. E. F. LoPresti, «Neck movement patterns and functional performance for computer head controls,» de *Annu. Fall Meeting Biomed. Eng. Soc.*, Atlanta, GA, 1999.