



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

“DISEÑO DE PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA LA
INTERACCIÓN EMOCIONAL DE PERSONAS NO VIDENTES”

TRABAJO DE TITULACIÓN: DISPOSITIVO TECNOLÓGICO.
Para optar al Grado Académico de:
INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: OCAÑA GUEVARA ANGEL OSWALDO

TUTOR: ING. JORGE LUIS PAUCAR SAMANIEGO

Riobamba-Ecuador

2017

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: “DISEÑO DE PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA LA INTERACCIÓN EMOCIONAL DE PERSONAS NO VIDENTES”, de responsabilidad del señor Angel Oswaldo Ocaña Guevara, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna E. DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Freddy Chávez V. DIRECTOR EIE CONTROL Y REDES INDUSTRIALES	_____	_____
Ing. Jorge Luis Paucar DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Edwin Altamirano MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____

Yo, **ANGEL OSWALDO OCAÑA GUEVARA** soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**.

Angel Oswaldo Ocaña Guevara.

ESTUDIANTE

Ing. Jorge Luis Paucar

**DIRECTOR DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

Ing. Edwin Altamirano

**MIEMBRO DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

DEDICATORIA

Las metas y los objetivos con Dios no han sido fáciles pero se han vuelto posibles, dedico este Trabajo de Titulación primero a Dios por darme la fuerza y mostrarme el camino para llegar a buen recaudo; dedico a mis padres Mariela y Héctor por ser ellos en realidad los artífices de cada objetivo alcanzado y ser mi inspiración; a mis hermanas Jéssica y Mónica por brindarme su apoyo incondicional y ser mi ejemplo a seguir; a mi novia y amiga Genoveva por su amor y comprensión; a toda mi familia en general que siempre han tenido una mano extendida para ayudarme.

Angel.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primero a Dios porque nada me sería posible sin su amor, bendición y fidelidad. Agradecer a la ESPOCH, por tantos buenos y malos momentos que han contribuido a mi formación tanto profesional como personal.

Dar las gracias a la carrera de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales porque con cada mala noche que he pasado he aprendido algo nuevo cada día y a mis maestros que han colocado un granito de arena cada uno para contribuir a mi formación.

Agradecer a mi tutor del Trabajo de Titulación por su paciencia, perseverancia y predisposición para ayudarme a conseguir un trabajo bien realizado.

Agradecer a todos mis compañeros y amigos de la carrera por formar parte de mi segunda familia.

Angel.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi

CAPÍTULO I

1	MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1	Planteamiento del problema.....	1
1.1.1	<i>Antecedentes.....</i>	<i>1</i>
1.1.2	<i>Formulación del problema.....</i>	<i>2</i>
1.1.3	<i>Sistematización del problema.....</i>	<i>3</i>
1.2	Justificación del trabajo de titulación.....	3
1.2.1	<i>Justificación Teórica.....</i>	<i>3</i>
1.2.2	<i>Justificación aplicativa.....</i>	<i>4</i>
1.3	Objetivos.....	5
1.3.1	<i>Objetivo general.....</i>	<i>5</i>
1.3.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>5</i>

CAPÍTULO II

2	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1	Ceguera, interacción social y lenguaje en las personas.....	6
2.1.1	<i>Definiciones de ceguera.....</i>	<i>6</i>
2.1.2	<i>Clasificación de la ceguera.....</i>	<i>6</i>
2.1.3	<i>Tipos de deficiencia visual.....</i>	<i>6</i>
2.1.4	<i>Interacción social.....</i>	<i>7</i>
2.2	Visión por computador.....	7
2.2.1	<i>Definiciones.....</i>	<i>7</i>
2.2.2	<i>Consideraciones sobre la visión artificial.....</i>	<i>8</i>
2.2.2.1	<i>Aspectos de la visión artificial.....</i>	<i>8</i>
2.2.2.2	<i>Inconvenientes con la visión artificial.....</i>	<i>8</i>
2.3	Beneficios de la visión artificial en personas no videntes.....	10
2.4	Dispositivos de procesamiento de imagen y visión artificial.....	11

2.4.1	<i>Minicomputadores</i>	11
2.4.2	<i>Cámara Raspberry Pi</i>	12
2.5	Software libre.	13
2.5.1	<i>Python</i>	13
2.6	Software de diseño mecánico y electrónico.	14
2.6.1	<i>SolidWorks</i>	14
2.6.2	<i>Proteus</i>	14
2.6.3	<i>Fritzing</i>	15
2.7	Actuadores de vibración.	15
2.7.1	<i>Micro-motor de vibración CE-C6070</i>	15
2.7.2	<i>Micro-motor Pinzhi bi00149-es</i>	16
2.8	Diodo emisor de luz.	17
2.9	Fuente de Alimentación	18
2.10	Cable de conexiones.	19
2.11	Sensores de luz	20
2.11.1	<i>Sensor Fotoeléctrico</i>	20
2.11.2	<i>Sensor Fotoresistivo</i>	21

CAPÍTULO III

3	DISEÑO DE SOFTWARE Y HARDWARE	22
3.1	Diseño del software.	22
3.1.1	<i>Instalación de Programas en la Raspberry Pi 3</i>	23
3.1.1.1	<i>Instalación del sistema operativo en la Raspberry PI 3</i>	23
3.1.1.2	<i>Descarga e instalación de Python 2.7 y librerías para uso de imágenes y video</i>	24
3.1.1.3	<i>Creación de un entorno virtual para trabajar con Python 2.7 y OpenCV 3.1.0</i>	26
3.1.1.4	<i>Instalación de Numpy y OpenCV 3.1.0</i>	27
3.1.2	Clasificador Haar-cascade y TrainCascade con Python y OpenCV.	28
3.1.3	Diagrama de flujo del programa de detección de expresiones.	34
3.2	Diseño del hardware.	36
3.2.1	<i>Diseño Electrónico</i>	36
3.2.1.1	<i>Control del micro-motor de vibración</i>	38
3.2.1.2	<i>Control de luz ambiental mediante fotoceldas</i>	39
3.2.1.3	<i>Sistema de captura de video en tiempo real</i>	41
3.2.1.4	<i>Diseño del circuito para impresión en PCB</i>	41
3.2.2	<i>Diseño Mecánico</i>	44
3.2.2.1	<i>Base sobre la que se colocarán los dispositivos del prototipo</i>	44
3.2.2.2	<i>Diseño y construcción de la carcasa para Raspberry Pi 3</i>	45

3.2.2.3	<i>Diseño y construcción de la carcasa para la Raspberry Pi camera.</i>	46
3.2.2.4	<i>Diseño mecánico para iluminación del dispositivo electrónico.</i>	48
3.2.2.5	<i>Carcasa para la placa del circuito principal.</i>	50
3.2.2.6	<i>Carcasa de protección de los sensores de iluminación.</i>	51
3.2.2.7	<i>Encapsulado para el micro-motor de vibración.</i>	51
3.2.2.8	<i>Diseño final de la gorra de visión artificial.</i>	52
3.2.3	<i>Diseño Eléctrico.</i>	54
3.2.3.1	<i>Fuente de alimentación utilizada para los dispositivos electrónicos.</i>	55
3.2.3.2	<i>Cableado del prototipo electrónico.</i>	55

CAPÍTULO IV

4	PRUEBAS Y RESULTADOS.	59
4.1	Pruebas de eficiencia del prototipo electrónico	59
4.1.1	Eficiencia del dispositivo de acuerdo al tipo de iluminación	59
4.1.2	Eficiencia del dispositivo de acuerdo a la altura entre personas en una plástica.	63
4.1.3	Eficiencia del dispositivo de acuerdo al nivel de batería.	65
4.1.4	<i>Aceptación del prototipo electrónico.</i>	67
4.1.4.1	<i>Aspecto que atrae del producto</i>	68
4.1.4.2	<i>Opinión que le merece al prototipo.</i>	69
4.1.4.3	<i>Razones por las que no usaría el producto.</i>	70
4.1.4.4	<i>Emociones que deberían añadirse.</i>	71
4.2	Potencia consumida por el prototipo electrónico.	71
4.3	Estudio de costos.	72
4.3.1	<i>Costos directos de fabricación.</i>	72
4.3.2	<i>Costos indirectos de fabricación.</i>	74
4.3.3	<i>Costos totales.</i>	74

	CONCLUSIONES.	75
--	----------------------	-----------

	RECOMENDACIONES.	77
--	-------------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Esquema de funcionamiento del prototipo.....	4
Figura 2-1: Diagrama de funcionamiento del prototipo.....	5
Figura 1-2: Imágenes, subexpuesta, sobreexpuesta y adecuadamente expuesta respectivamente.	9
Figura 2-2: Cambios de escala.....	9
Figura 3-2: Deformación de cuerpos.....	9
Figura 4-2: Oclusión en una imagen.....	10
Figura 5-2: Problema por movimiento en cuerpo.....	10
Figura 6-2: Raspberry Pi 3, modelo B.....	12
Figura 7-2: Cámara Raspberry Pi.....	12
Figura 8-2: Logotipo de Python.....	13
Figura 9-2: Inicio de SolidWorks.2015.....	14
Figura 10-2: Inicio de Proteus v8.6.....	14
Figura 11-2: Inicio de Fritzing v0.9.3 Beta.....	15
Figura 12-2: Motor CE-C6070.....	15
Figura 13-2: Motor Pinzhi.....	16
Figura 14-2: Partes de un diodo LED.....	17
Figura 15-2: Diodo LED lineal de 3W.....	18
Figura 16-2: Cables de conexión para Arduino.....	20
Figura 17-2: Fotorresistencia LDR.....	21
Figura 1-3: Imagen a descargar del SO Raspbian.....	23
Figura 2-3: Programa Win32 Disk Imager.....	24
Figura 3-3: Escritorio de la Raspberry Pi 3.....	24
Figura 4-3: Ventana de comandos de Raspbian dentro del entorno virtual cv.....	27
Figura 5-3: Rectángulos usados para.....	28
Figura 6-3: Fotografías de rostros con.....	29
Figura 7-3: Ejemplos de imágenes negativas.....	31
Figura 8-3: Archivos con información de imágenes negativas.....	31
Figura 9-3: Detección de rostro con.....	32
Figura 10-3: Detección de sonrisa.....	33
Figura 11-3: Detección de expresión neutral y sorpresa respectivamente.....	33
Figura 12-3: Descripción de conexión física del circuito electrónico.....	37
Figura 13-3: Descripción de conexión lógica del circuito electrónico.....	37
Figura 14-3: Números físicos de los pines GPIO de la Raspberry Pi 3.....	38
Figura 15-3: Diagrama del CI L293D.....	38

Figura 16-3: Conexión para el control del motor.....	39
Figura 17-3: Circuito de control del brillo de LED.....	40
Figura 18-3: Conexión de la.....	41
Figura 19-3: Circuito final previo a la impresión en PCB	42
Figura 20-3: Diseño de la placa en capa PCB.....	42
Figura 21-3: Placa impresa, tratada bajo percloruro férrico.....	43
Figura 22-3: Placa lista para soldadura de elementos.	43
Figura 23-3: Placa final utilizada en el prototipo electrónico.	43
Figura 24-3: Gorra utilizada para el.....	44
Figura 25-3: Carcasa para Raspberry Pi 3.....	45
Figura 26-3: Parte inferior de la carcasa para Raspberry Pi 3.....	45
Figura 27-3: Parte inferior de la carcasa para Raspberry Pi 3.....	46
Figura 28-3: Carcasa Impresa para la Raspberry Pi 3.....	46
Figura 29-3: Diseño en SolidWorks para.....	47
Figura 30-3: Carcasa inferior de la cámara Raspberry Pi.	47
Figura 31-3: Carcasa superior de la cámara Raspberry Pi.	47
Figura 32-3: Carcasa de Raspberry	48
Figura 33-3: Parte frontal y trasera de la Pi camera con su carcasa.....	48
Figura 34-3: Luz LED para Gorras.	49
Figura 35-3: Conexión de la luz LED al	49
Figura 36-3: Posición de luz LED.....	50
Figura 37-3: Carcasa de protección para el circuito.....	50
Figura 38-3: Diseño de carcasa para fotorresistencias.	51
Figura 39-3: Carcasa para fotoceldas LDR.	51
Figura 40-3: Encapsulado para micro-motor.	52
Figura 41-3: Micro-motor en cápsula para vibración.....	52
Figura 42-3: Dispositivos a colocar en la gorra.	52
Figura 43-3: Distribución de piezas en la gorra.	53
Figura 44-3: Costura de los dispositivos a la gorra.....	53
Figura 45-3: Parte inferior de la visera	54
Figura 46-3: Parte frontal de la visera.....	54
Figura 47-3: Banco de poder.....	55
Figura 48-3: Cable número 20 AWG.....	56
Figura 49-3: Conexiones entre dispositivos.....	56
Figura 50-3: Prueba de la parte	57
Figura 51-3: Conexiones distribuidas	57
Figura 52-3: Gorra de visión artificial.	58

Figura 1-4: Unidad Educativa Dr. Luis Benavides 59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Comparación entre características de miniordenadores del mercado.....	11
Tabla 2-2: Características del Motor CE-C6070.....	16
Tabla 3-2: Dimensiones y características del motor bi00149-es.....	17
Tabla 4-2: Características de funcionamiento del diodo LED lineal de 3W.....	18
Tabla 5-2: Tabla comparativa entre tipos de baterías.	19
Tabla 1-4: Resultados de detección con luz natural.....	60
Tabla 2-4: Resultados de detección con luz artificial.	61
Tabla 3-4: Resumen de porcentajes de detección con respecto a la iluminación.....	62
Tabla 4-4: Resultados de detecciones de acuerdo a diferencias de estaturas (prueba 1).	63
Tabla 5-4: Porcentaje de eficiencia del dispositivo con diferencia de estaturas (prueba 1).....	63
Tabla 6-4: Resultados de detecciones de acuerdo a diferencias de estaturas (prueba 2).	64
Tabla 7-4: Porcentaje de eficiencia del dispositivo con diferencia de estaturas (prueba 2).....	65
Tabla 8-4: Resultados de detecciones con respecto al nivel de batería.....	66
Tabla 9-4: Resultado en porcentajes de acuerdo al nivel de batería.	66
Tabla 10-4: Resultados de frecuencias del aspecto que les atrae del producto.	68
Tabla 11-4: Resultado de la opinión sobre el producto.....	69
Tabla 12-4: Resultado razones por las que no usaría el producto.	70
Tabla 13-4: Costos directos de fabricación del prototipo electrónico.....	73
Tabla 14-4: Costos indirectos de fabricación del prototipo electrónico.....	74
Tabla 15-4: Costos totales del prototipo electrónico.....	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Diagrama de bloques del sistema.	22
Gráfico 2-3: Diagrama de flujo de programa de visión artificial.	36
Gráfico 1-4: Resultados en porcentaje de detecciones con iluminación natural.	60
Gráfico 2-4: Resultados en porcentaje de detección con iluminación artificial.	61
Gráfico 3-4: Porcentajes de detección de expresiones con iluminación natural y artificial.	62
Gráfico 4-4: Porcentaje de detección de acuerdo a diferencias de estatura (prueba 1).	64
Gráfico 5-4: Porcentaje de detección de acuerdo a diferencias de estatura (prueba 2).	65
Gráfico 6-4: Porcentaje de detección de acuerdo al nivel de batería.	66
Gráfico 7-4: Porcentaje de selección sobre el aspecto del producto.	68
Gráfico 8-4: Porcentaje de selección sobre la opinión del producto.	69
Gráfico 9-4: Porcentaje selección sobre la razones de no uso del producto.	70
Gráfico 10-4: Expresión de enojo a incluir.	71

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Dimensiones de la Raspberry Pi 3

Anexo B: Dimensiones de la cámara Raspberry Pi versión 1.

Anexo C: Encuesta realizada.

Anexo D: Datos de las encuestas realizadas.

Anexo E: Fotografías a estudiantes y maestro no videntes de la Unidad Educativa Dr. Luis Benavides utilizando el dispositivo electrónico

RESUMEN

El trabajo realizado consistió en la implementación de un prototipo electrónico de visión artificial que permite reconocer ciertos rasgos emocionales del rostro para personas con discapacidad visual y transmitirlos por señales de vibración, para que puedan interactuar en una conversación en tiempo real facilitando expresiones emocionales no verbales. Para la etapa del diseño del hardware se implementó un dispositivo compacto que no interfiera con los movimientos corporales, dentro de los componentes se optó por una minicomputadora y cámara Raspberry Pi 3, un controlador para un actuador de vibración y un controlador para luz ambiental. Todos estos dispositivos fueron acoplados a una gorra con visera. La gorra de visión artificial puede detectar el rostro de una persona, su estado neutral, su expresión de sonrisa y su expresión de sorpresa, para esto se hizo una recolección de aproximadamente 2600 imágenes de 105 personas para entrenamiento de sus varias expresiones. Los resultados obtenidos de acuerdo a 17 encuestas y 170 pruebas realizadas a personas con discapacidad visual fueron encaminados a medir la eficiencia de reconocimiento del dispositivo de acuerdo a variables como iluminación, diferencia de estaturas entre personas conversando y el nivel de batería. La iluminación artificial en interiores proporcionó un mejor porcentaje de detección de expresiones del 72,5%; la diferencia de estaturas en un rango de 0-5 cm arrojó un mejor porcentaje de detección de 76,39%; para el nivel medio de batería fue mejor la detección con el 73,94%. De acuerdo a preguntas del grado de aceptación del producto el 88.23% de personas dijo que el prototipo electrónico les parece interesante. El dispositivo mejoró la percepción de expresiones faciales emocionales en las personas no videntes transmitidas por lenguaje no verbal. Se recomienda implementar dispositivos tecnológicos de inclusión social para mejorar la calidad de vida de personas no videntes.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA>, <VISIÓN ARTIFICIAL>, <RECONOCIMIENTO DE EMOCIONES>, <SOFTWARE DE ENTRENAMIENTO DE IMÁGENES>, <PYTHON (SOFTWARE)>, <RASPBERRY PI (SOFTWARE-HARDWARE)>, <MICROMOTOR DE VIBRACIÓN>.

SUMMARY

The work consisted in the implementation of an electronic prototype of artificial vision that allows recognizing certain emotional features of the face for visually impaired people and transmitting them by vibration signals, so that they can interact in a real time conversation facilitating nonverbal emotional expressions. For the stage of the hardware design was implemented a compact device that does not interfere with the body movements, within the components was chosen by a minicomputer and camera Raspberry Pi3, a controller for a vibration actuator and a controller for ambient light. All these devices were attached to a cap with visor. The artificial vision cap can detect a person's face, his neutral state his expression of smile and his expression of surprise, for this was made a collection of approximately 2600 images of 105 people for training various expressions. The results obtained according to 17 surveys 170 tests performed to visually impaired people were aimed at measuring the efficiency of device recognition according to variables such as illumination, difference in height between people talking and battery level. Indoor artificial lighting provided a better detection percentage of 72.5%, the difference of heights in a range of 0-5cm showed a better percentage of detection of 76.39%, for the average level of battery was better detection with 73.94%. According to questions of the degree of acceptance of the product, 88.23% of people said that the electronic prototype seems interesting. The device improved the perception of emotional facial expressions in blind people transmitted by nonverbal language. It is recommended to implement technological devices of social inclusion to improve the quality of life of blind people.

Keywords: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCE>, <ENGINEERING AND ELECTRONIC TECHNOLOGY>, <ARTIFICIAL VISION>, <EMOTION RECOGNITION>, <IMAGE TRAINING SOFTWARE>, <PYTHON SOFTWARE>, <RASPBERRY PI (SOFTWARE-HARDWARE)>, <VIBRATION MICROMOTOR>.

CAPÍTULO I

1 MARCO REFERENCIAL.

1.1 Planteamiento del problema.

1.1.1 Antecedentes.

Según la Organización Mundial de la Salud, “*discapacidad es cualquier restricción o impedimento de la capacidad de realizar una actividad en la forma o dentro de los márgenes que se considera normal para la sociedad o el ser humano. Se caracteriza por excesos o insuficiencias en el desempeño de una actividad rutinaria normal, los cuales pueden ser temporales o permanentes, sobre todo la psicología, deficiencias físicas, sensoriales o anatómicas*”. (OMS, 1999)

Dentro de este grupo de personas están aquellas que no poseen parcial o completamente su función visual. De acuerdo a la OMS se estima que a nivel mundial 285 millones de personas tienen deficiencias visuales, de las cuales 39 millones tienen ceguera y 246 millones son débiles visuales. De éstas, el 90 % viven en países en desarrollo donde la malnutrición, los inadecuados servicios de salud y educación, además de la mala calidad del agua y la falta de higiene, conducen a una alta incidencia de enfermedad en los ojos”. (Sepúlveda, y otros, 2014)

En Ecuador, según los datos recogidos por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), del censo de población y vivienda realizado en el 2010, existen 186.117 personas con ceguera; 2.964 en la provincia de Chimborazo, de las cuales 1.972 están en Riobamba, por otro lado. El Consejo Nacional para las Discapacidades (CONADIS), en el presente año expuso información estadística, de las personas que poseen algún tipo de discapacidad inscritas en el Registro Nacional de Discapacidades, indicando un total de 415.500, en cuanto a personas con discapacidad visual, en el país hay registradas 51.600 de las cuales 1.382 se encuentran en Chimborazo y 724 en el cantón Riobamba.

Los problemas generales que buscan ser solucionados para personas con discapacidad visual grave y ceguera son mencionados por Terven, Salas y Raducanu, siendo estos: la movilidad, la orientación, acceso a la información impresa, reconocimiento de objetos y la interacción social.

El problema de la comunicación e interacción con el computador para la navegación en internet también ha crecido como una desventaja para personas con una función visual escasa o nula.

Dentro de la interacción social, las personas no videntes poseen ciertas limitaciones a la hora de comunicarse y percibir ciertos rasgos emocionales producidos en discusiones o conversaciones con otros individuos con similares capacidades. “La interacción social son los actos, acciones, o prácticas de 2 o más personas orientadas mutuamente”. (Krishna, 2005) .

iCARE Social Interaction es un dispositivo que permite a las personas no videntes detectar la posición de otra persona y ciertos rasgos emocionales básicos (felicidad, tristeza, sorpresa, enojo, miedo, disgusto y neutral).

El sistema cuenta con una cámara para visión artificial conectada a un computador portable o teléfono inteligente, un cinturón y un guante los cuales le permiten detectar la posición de otra persona por medio de motores vibradores. (Krishna, 2005). iCARE es una herramienta no comercial y que por sus características es muy costoso.

Los avances tecnológicos en el campo de reconocimiento de rasgos emocionales en una conversación entre dos o más personas con problemas de visión no han crecido de acuerdo a diferentes publicaciones como Javier Barbuzano para OpenMind o Camila Ortega en YoungMarketing.

“iCARE es el único prototipo encontrado en la literatura y no se encontró ningún dispositivo comercial, basado o no en visión artificial, que apoye en esta área. El desarrollo de dispositivos de apoyo para interacción social representa un área de oportunidad escasamente explorada, con grandes retos e interesantes aplicaciones”. (Terven, y otros, 2013)

Existen algunas aplicaciones y tesis, que permiten realizar detección de emociones generalmente básicas, pero ninguno enfocado a mejorar las condiciones de vida en personas no videntes.

1.1.2 Formulación del problema.

¿Existe algún dispositivo en el mercado que permita detectar expresiones físicas emocionales para personas no videntes?

1.1.3 Sistematización del problema.

¿Cómo mejorar la influencia emocional en una conversación entre personas no videntes?

¿Qué tecnologías permite realizar una interacción en tiempo real entre personas no videntes?

¿Qué características de diseño debe cumplir el prototipo para la aceptación y adaptabilidad de las personas no videntes?

1.2 Justificación del trabajo de titulación.

1.2.1 Justificación Teórica.

Los distintos avances tecnológicos que han existido para mejorar la calidad de vida de las personas con escasa o nula visión, se han centrado en varios campos, así tenemos, la orientación, la lectura de textos, reconocimiento de objetos, la movilidad y la interacción de las personas con el computador para la navegación; en este sentido, existe un campo poco explorado y necesario para estas personas, el cual se encarga del comportamiento, los estímulos, rasgos emocionales, sensaciones que una persona obtiene cuando conversa con otra de distintas o iguales condiciones físicas.

La interacción social, abarca distintas situaciones en las que una persona es influenciada por otras en ámbitos sociales. Para las personas no videntes, obtener otros tipos de estímulos en una conversación que no sean sólo audibles no les permite captar un mensaje entero y por tanto la comunicación no es completa.

“La comunicación, como fundamento de la interacción social, es el mecanismo que ha hecho posible la existencia de lo que llamamos sociedad. Es el principio básico de la organización social, y como tal, es requisito indispensable para las relaciones sociales.” (Rizo García, 2006)

A nivel teórico, con el dispositivo propuesto se busca exponer los conocimientos obtenidos en campos como, la electrónica, sistemas de visión por computador, el diseño de productos, tanto mecánico, eléctrico y electrónico, etc. De esta forma, obtener una comunicación en tiempo real entre la captura de la imagen y el micro-motor de vibración implementados en un dispositivo, utilizados por personas no videntes que les permita percibir señales vibratorias con información visual captadas por una cámara, siendo procesadas, e identificadas por un algoritmo de visión artificial en un procesador, y transmitidas por un controlador hacia un actuador en el sentido del

tacto. Con esto intentar reconocer qué está sintiendo una persona no vidente o vidente en una conversación frente a frente, a fin de mejorar la interacción y la comunicación en individuos con escasa o nula función visual.

1.2.2 *Justificación aplicativa.*

El presente proyecto busca plantear una solución a un problema de la sociedad, en específico de las personas con deficiencia de visión o ceguera, para lo cual se requiere diseñar un dispositivo electrónico que ofrezca un sistema de comunicación en tiempo real para que dos personas puedan recibir rasgos emocionales visuales y ser captados por estímulos a través de vibración.

De acuerdo a una publicación en una página web de ciencia se menciona que: “Una forma que tiene el cerebro de adaptarse a la falta de visión es acelerar el sentido del tacto. La capacidad para procesar rápidamente información no visual puede mejorar la calidad de vida de los individuos ciegos que dependen de los sentidos no visuales”. (Goldreich; citado en SINC, 2010)

El sistema hará uso de visión artificial mediante una cámara instalada en un pequeño dispositivo, el cual puede ser ubicado sobre una gorra, gafas o brazo captando ciertos rasgos físicos emocionales básico (puede ser tristeza, enojo, felicidad), del rostro de una persona, estas emociones serán procesadas por un controlador y transmitidas a una banda de manera alámbrica con actuadores de vibración instalada en el brazo.

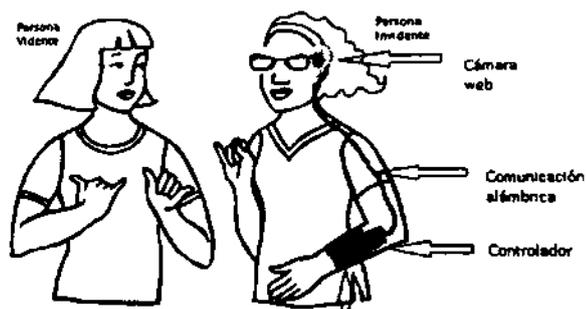


Figura 1-1: Esquema de funcionamiento del prototipo.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Para esto se tiene una cámara que me permita captar video en tiempo real, ser procesado por un algoritmo de visión artificial y transmitir señales por un micro-motor de vibración, la información se recepta a través del sentido del tacto al producir diferentes señales vibratorias con cada emoción básica. Permitiendo expresar y captar emociones con otras personas en una conversación.

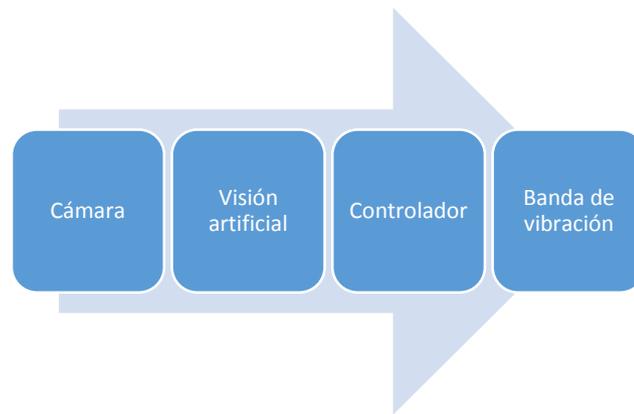


Figura 2-1: Diagrama de funcionamiento del prototipo

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Con esto se desea aportar una mejora en la calidad de la comunicación entre dos personas invidentes conversando, de esta manera, obtener mejores relaciones sociales que les permita interactuar con otras de sus mismas o diferentes condiciones.

Con el fin de ver si existe mejora en una conversación entre personas no videntes se realizará encuestas y entrevistas en centros de ayuda para personas no videntes en la ciudad de Riobamba; como también la prueba técnica del dispositivo en cuestiones eléctricas, electrónicas y mecánicas, tanto en centros para personas no videntes, como en laboratorios de la ESPOCH.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.*

- Diseñar un prototipo electrónico para la interacción emocional de personas no videntes.

1.3.2 *Objetivos específicos.*

- Contribuir con un mecanismo eléctrico, electrónico y mecánico a personas no videntes.
- Investigar la existencia de tecnologías disponibles en el mercado para manipular dispositivos que interactúen emocionalmente con personas no videntes.
- Diseñar el prototipo que permita una comunicación en tiempo real y percibir ciertas emociones.
- Someter el dispositivo a pruebas experimentales de su funcionamiento y el beneficio hacia la persona no vidente.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO.

2.1 Ceguera, interacción social y lenguaje en las personas.

Para entender las funciones que desempeña el prototipo implementado en este trabajo, cabe mencionar algunas definiciones sobre discapacidad visual en las personas.

2.1.1 *Definiciones de ceguera.*

La ceguera en las personas representa una discapacidad que puede presentarse de acuerdo a la siguiente definición donde “se dice que una persona es ciega cuando sólo tiene percepción de la luz, sin proyección, o aquella que carece totalmente de visión independientemente de si esta carencia es debida a lesiones del ojo o del sistema nervioso que une el ojo con el cerebro o problemas de cerebro”. (Gonzalez Garcia, 1990; citado en Vaquero, NA)

También “ceguera es de aquellas personas que carecen de percepción luminosa o que, percibiendo la luz, no pueden discriminar a las personas de los objetos”. (Gómez Alba, 2000)

2.1.2 *Clasificación de la ceguera.*

De acuerdo a Marisa Gómez, la ceguera tiene por clasificación los siguientes enunciados:

- Ceguera total: ausencia de percepción luminosa. Ceguera parcial: existe la presencia de percepción luminosa, pero es imposible discriminar personas de objetos.
- Ceguera congénita: es la adquirida durante el periodo de gestación
- Ceguera adquirida: es la que aparece después del nacimiento. Puede ser adquisición lenta (por enfermedad) o repentina (por traumatismo). (Gómez Alba, 2000)

2.1.3 *Tipos de deficiencia visual.*

Los tipos de deficiencia visual son descritos por González como:

- Baja visión: es la limitación de la visión a distancia con el mantenimiento de la visión de los objetos a corta distancia.
- Limitación visual: impedimento que obliga al uso de una iluminación especial, debiéndose utilizar en algunos casos lupas especiales.
- Impedimento visual: es cualquier desviación clínica en la estructura o el funcionamiento de los tejidos o las partes del ojo. (Gonzalez Garcia, 1990)

Luego de ampliar el tema de discapacidad visual, se intenta proporcionar una idea sobre las limitaciones en transmitir y recibir información de manera no verbal, por parte de personas no videntes.

2.1.4 Interacción social.

Para comprender la interacción social, cabe mencionar algunas definiciones como: “La interacción tiene lugar cuando una unidad de acción producida por un sujeto A actúa como estímulo de una unidad de respuesta en otro sujeto, B, y viceversa”. (Maisonneuve, 1968; citado en Edmond & Picard, 1992)

La interacción social es cómo una persona envía y recibe mensajes de forma oral y no oral para relacionarse, conocer y aprender de otras personas. La interacción emocional es la transmisión de ideas y sentimientos por diversas vías para influenciar emocionalmente a otra persona. Así mismo, comunicación verbal será toda aquella que se base en el intercambio de palabras ideas, pensamientos, humor, de forma oral y la no verbal, aquella en la que intervengan, gestos, enfocado en las expresiones faciales especialmente dentro de una conversación. El dispositivo implementado busca mejorar la interacción en una conversación entre personas no videntes, a través de la comunicación no verbal.

2.2 Visión por computador.

2.2.1 Definiciones.

La visión humana es un mecanismo por el cual se obtiene información del entorno y es procesada por el cerebro, de acuerdo a Aristóteles “visión es saber qué hay y dónde, mediante la vista”. La vista representa para el ser humano, uno de los principales sentidos para obtener información del mundo exterior.

Según Platero “la Visión Artificial o también llamada Visión por Computador, pretende capturar la información visual del entorno físico para extraer características relevantes visuales, utilizando procedimientos automáticos”. (Platero Dueñas, 2009)

Definiremos entonces que, la visión por computador es una rama de la inteligencia artificial, posee un conjunto de mecanismos que permiten procesar, detectar, reconocer, percibir, señalar u observar características de imágenes para tomar decisiones en procesos automatizados, por medio de una cámara una unidad central de proceso.

2.2.2 Consideraciones sobre la visión artificial.

2.2.2.1 Aspectos de la visión artificial.

La visión artificial posee ciertas características a tomar en cuenta según Marr, entre estas están:

- La visión es un proceso computacional.
- La descripción a obtener depende del observador.
- Reducción de información: es necesario eliminar la información que no sea útil. (Marr, 1982; citado en Fernández García, 2012)

2.2.2.2 Inconvenientes con la visión artificial.

Dentro de la identificación de características en la imagen, existen varios inconvenientes, entre estos tenemos:

- Cambios de iluminación.
- Cambios de escala.
- Deformación.
- Oclusión.
- Movimiento.
- Pérdida de información. (Fernández García, 2012)

Los cambios de iluminación producen imágenes sobrepuestas, subexpuestas y correctamente expuestas. Cuando al sensor llega menos luz de la adecuada se produce una imagen subexpuesta; cuando la cantidad de luz que alcanza el sensor es excesiva, se obtiene

una fotografía sobreexpuesta y si la cantidad de luz que impacta en el sensor es exactamente la adecuada se obtiene una fotografía correctamente expuesta. (Barros, 2014)



Figura 1-2: Imágenes, subexpuesta, sobreexpuesta y adecuadamente expuesta respectivamente.

Fuente: Barros, 2014

Dentro del cambio de escalas, influye tanto la distancia de la cámara al cuerpo como las dimensiones o tamaño del objeto.



Figura 2-2: Cambios de escala.

Fuente: Fernández García, 2012

En cuanto al problema de deformación se produce por las diferentes posiciones que un individuo puede tomar, además por cambios en el ángulo de enfoque o en la orientación de la persona.



Figura 3-2: Deformación de cuerpos.

Fuente: Radioactive Design, 2009

El problema de la oclusión en las imágenes se genera cuando un cuerpo interfiere con el objeto que deseamos detectar, generando obstrucción o sombras.



Figura 4-2: Oclusión en una imagen.

Fuente: Fernández García, 2012

Por problemas de movimiento, se genera cuando el cuerpo o la cámara tienden a moverse constantemente; por tanto, no es posible enfocar y detectar el objeto o sus características en la imagen.



Figura 5-2: Problema por movimiento en cuerpo.

Fuente: Segura, 2007

Los problemas por pérdida de datos se generan, porque la cámara toma imágenes en 2 dimensiones, mientras que la visión del ser humano capta una imagen en 3 dimensiones.

2.3 Beneficios de la visión artificial en personas no videntes.

Dentro de los beneficios de la visión artificial para este tipo de discapacidad tenemos la interacción emocional, las personas no videntes carecen de una comunicación completa entre individuos, porque ésta va más allá del lenguaje verbal. De acuerdo al artículo *Estado del Arte en Sistemas de Visión Artificial para Personas no Videntes*, se menciona que:

Las interacciones se basan en el uso de la comunicación no verbal, tanto del dominio visual, como del dominio auditivo. Todas estas señales implícitas refuerzan el mensaje verbal. Por lo tanto, las personas invidentes se encuentran en una clara situación de desventaja social, al no tener acceso a un conjunto importante de este tipo de señales. (Terven, y otros, 2013)

El uso de visión artificial posibilita a las personas no videntes identificar ciertos rasgos emocionales, con el fin de mantener una comunicación tanto verbal y no verbal, lo que produce una mejora en las relaciones emocionales con otras personas en conversaciones. Por lo general una persona invidente intenta percibir ciertas expresiones por el tono de la voz en una conversación, pero poder identificar estos rasgos a través de dispositivos o aplicaciones móviles involucra e incentiva a mantener una interacción entre individuos al expresar sus ideas, pensamientos o sus emociones.

2.4 Dispositivos de procesamiento de imagen y visión artificial.

2.4.1 Minicomputadores

Existen algunos computadores para la ejecución de algoritmos de visión artificial, en la Tabla 1-2 se muestra características importantes de los minicomputadores con aceptación en el mercado:

Tabla 1-2: Comparación entre características de miniordenadores del mercado.

Dispositivo	Procesador	RAM	Memoria Interna	Conectividad	SO	Precio
Jaguar One	Intel Atom Z3735G	1 GB DDR3	16 GB	3 USB, HDMI y Ethernet	Windows 8, 10	\$ 79,00
pcDuino4	ARM A7 4 núcleos	1 GB DDR3	8 GB	2 USB , HDMI y Ethernet	Android	\$ 49,00
Cubiboard5	ARM A7 8 núcleos	2 GB DDR3	8 GB + SATA	HDMI, USB, Displayport, Wifi, BT 4.2	Android	\$ 99,00
Beaglebone Black	ARM A8 1 Ghz	512 MB DDR3	4 GB	1 USB, HDMI y Ethernet	Linux	€ 45,00
Hummingboard	ARM A9 Dual Core	Hasta 2 GB	Tarjeta de memoria	2 USB , HDMI y Ethernet	Android	\$ 70,00
ODroid-C2	ARM A53 4x2 Ghz	2 GB DDR3	Tarjeta de memoria o interna	4 USB, HDMI y Ethernet	Android	\$ 40,00
Orange Pi	ARM A7 4x1.2 Ghz	512 MB	Tarjeta de memoria	1 USB, HDMI y Ethernet	Linux	\$ 10,00
Raspberry Pi 3	1,2 GHz de cuatro núcleos ARM Cortex-A53	1 GB LPDDR2	Tarjeta de memoria	Ethernet LAN inalámbrica y Bluetooth 4.1	Linux	\$ 50,00

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Fuente: Penalva, 2016

De acuerdo a las características anteriores, se procedió a elegir la Raspberry Pi 3, ya que proporciona un puerto exclusivo para la cámara Pi, 1 GB de RAM y un procesador ARM Cortex de 4 núcleos permitiendo trabajar con procesamiento de video en tiempo real. Además, existe documentación y ejemplos para implementar algoritmos de visión artificial.



Figura 6-2: Raspberry Pi 3, modelo B.

Fuente: Kiwi Electronics, 2017.

2.4.2 *Cámara Raspberry Pi.*

Se decidió optar por el propio módulo de cámara para la Raspberry Pi 3, ya que existen pocas cámaras web (USB), compatibles con la Raspberry y el sistema operativo Raspbian. “La cámara Pi posee una resolución de 5 megapíxeles, permitiendo grabar a 1080p30 fotogramas, 720p60 y 640x480p60/90” (Electronilab, 2016). Posee dimensiones relativamente pequeñas (2,5cm x 2,4cm), que posibilitan la movilidad del prototipo.



Figura 7-2: Cámara Raspberry Pi.

Fuente: Raspberry PI Foudation, 2017

La última versión de la cámara Pi es la 2 y posee mejoras en el sensor para resolución y captación de colores reales en la imagen, el sensor “Sony IMX219 de 8 megapíxeles, en

comparación con el sensor OmniVision OV5647 de 5 megapíxeles de la cámara original”. (Raspberry Pi Foundation, 2017). La cámara utilizada en el prototipo fue Pi versión 1.

2.5 Software libre.

De acuerdo a la siguiente definición “hablamos de software libre cuando queremos referirnos a la libertad que tiene un usuario para modificar, copiar, distribuir y modificar un software sin que ninguna compañía o individual pueda emprender acciones legales contra él”. (González, 2004)

El uso de una placa Raspberry Pi, permitió realizar el algoritmo de procesamiento, detección y reconocimiento de emociones, mediante software libre como lo es Python y su librería especializada en visión por computador OpenCV. Se utilizó la distribución de Linux Raspbian Jessie por ser el sistema operativo favorito y con mayor documentación para Raspberry Pi.

2.5.1 Python.

Python es un lenguaje de programación simple, en el que se puede realizar cualquier tipo de algoritmo orientado a objetos, posee una serie de librerías que permiten acoplar varios conjuntos de operaciones para el desarrollo de aplicaciones en diversas áreas.



Figura 8-2: Logotipo de Python

Fuente: Python Software Foundation, 2017

De acuerdo a la siguiente definición, “Python es un lenguaje de programación poderoso y fácil de aprender. Cuenta con estructuras de datos eficientes y de alto nivel y un enfoque simple pero efectivo a la programación orientada a objetos” (Python Software Foundation, 2017)

Para el dispositivo se utilizó Python 2.7, por su alta cantidad de documentación ya que varían algunas instrucciones y librerías con respecto a otras versiones.

OpenCV es una librería de Python, que me permite procesar videos a fin de aplicar cualquier algoritmo de visión artificial, de acuerdo a la siguiente definición “OpenCV (Open Source Computer Vision Library) se publica bajo una licencia BSD y por lo tanto es gratuito para uso académico y comercial. OpenCV fue diseñado para la eficiencia computacional y con un fuerte enfoque en aplicaciones en tiempo real.” (Equipo de OpenCV, 2017)

2.6 Software de diseño mecánico y electrónico.

2.6.1 SolidWorks

SolidWorks es un programa de diseño mecánico e ingeniería del producto que me permite construir piezas en tres dimensiones para su posterior impresión.

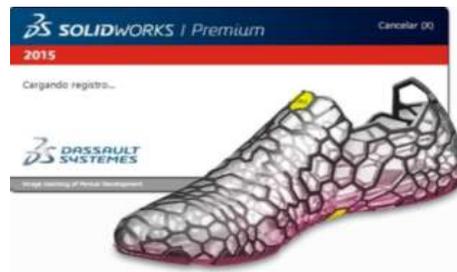


Figura 9-2: Inicio de SolidWorks.2015

Fuente: SolidWorks, 2015

De la empresa Dassault Systemes, “SolidWorks ofrece un conjunto de herramientas de diseño de ingeniería, documentación, simulación y diseño sostenible en un único paquete de software”. (Dassault Systemes, 2017)

2.6.2 Proteus

Proteus es un programa para el diseño y prueba de circuitos electrónicos para su posterior impresión de pistas en PCB (Printed Circuit Board).

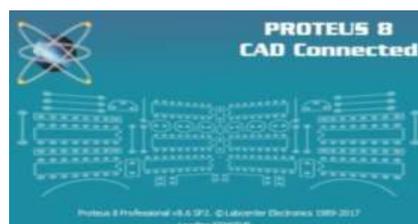


Figura 10-2: Inicio de Proteus v8.6.

Fuente: Proteus, 2017

Proteus fue creado por la empresa Labcenter Electronics Ltd. y mencionan que Proteus “combina facilidad de uso con funciones para ayudarlo a diseñar, probar y diseñar PCBs profesionales”. (Labcenter Electronics, 2017).

2.6.3 *Fritzing.*

Fritzing es un programa que me permite incorporar ciertos controladores como Arduino, Raspberry Pi, Intel Galileo, etc. e implementarlos sobre una protoboard o esquemáticamente con fines descriptivos.



Figura 11-2: Inicio de Fritzing v0.9.3 Beta.

Fuente: Fritzing, 2016.

Fritzing fue desarrollado por la empresa Interaction Design Lab. Y es un “software libre para apoyar a diseñadores, artistas, investigadores y aficionados para trabajar de manera creativa con electrónica. Esencialmente es un software de automatización de diseño electrónico con una interfaz dinámica”. (EcuRed, 2016)

2.7 **Actuadores de vibración.**

Existen algunos tipos de actuadores de vibración, en este capítulo se verán dos tipos.

2.7.1 *Micro-motor de vibración CE-C6070*



Figura 12-2: Motor CE-C6070

Fuente: Catálogo Cepek, 2016.

Este pequeño motor de aproximadamente 2 gramos de peso, se encarga de dar aviso por vibración gracias a su forma particular en la parte saliente del eje. Según el catálogo de componentes y accesorios:

“El micromotor lleva acoplado a su eje una rueda excéntrica, que tiene una masa considerable respecto a la del motor propiamente dicho. Al ser alimentado a su tensión de funcionamiento, el motor gira a alta velocidad (8000 rpm), y debido a la masa excéntrica del volante, genera una oscilación de esta misma frecuencia” (Cebek). Dentro de las características técnicas del pequeño motor tenemos las siguientes, de acuerdo al Datasheet de Cebek, en la Tabla 2-2:

Tabla 2-2: Características del Motor CE-C6070

DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS	
Tensión	1,3 Vdc
Velocidad media	8000 rpm +-1500
Corriente media	75 mA max.
Stall current	125 mA max.
Tensión de arranque	0,75 Vdc max.
Resistencia	11,7 ohm +-10%
Peso Aprox.	1,8g
Juego del eje	0.1-0.3 mm
Radio de la rueda excéntrica	R 2,8 mm

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Fuente: Cebek datasheet CE-C6070, 2016

2.7.2 *Micro-motor Pinzhi bi00149-es.*



Figura 13-2: Motor Pinzhi

Fuente: Catálogo Celtronic, 2016.

Este motor ha sido utilizado en los últimos años para celulares de nueva generación que poseen espacios más reducidos. Los datos técnicos se muestran en la Tabla 3-2:

Tabla 3-2: Dimensiones y características del motor bi00149-es.

DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS	
Material	Metal
Voltaje	3V - 4,5V
Tamaño	10*3mm / 0.39*0.12"
Corriente	0,06 A
Peso	0,9g

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Fuente: Catálogo Celtronic, 2016

De acuerdo a los dos tipos de motores antes mencionados se eligió el micro-motor CE-C6070 por su bajo voltaje de funcionamiento, ya que el motor está alimentado por los pines GPIO de la Raspberry Pi 3.

2.8 Diodo emisor de luz.

El diodo LED fue el encargado de producir luz para el control de sombras en el rostro de una persona e intentar mantener una cantidad de iluminación constante, dependiendo del ambiente en el que se utilice el dispositivo. En la Figura 14-2 se muestra las partes constitutivas de un diodo LED.

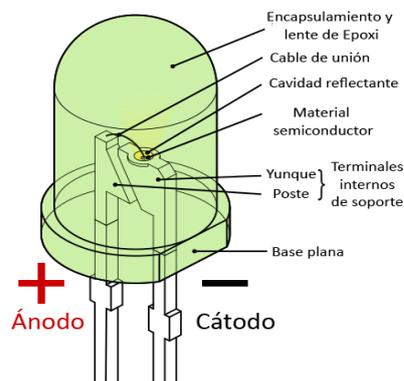


Figura 14-2: Partes de un diodo LED.

Fuente: Wikipedia, 2017

El funcionamiento de un LED se produce mediante “*un bajo voltaje de corriente continua (CC) que circula a través de dos capas de material semiconductor. Esto resulta en la generación de fotones de luz de un reducido rango de frecuencias. El color de la luz depende del material semiconductor utilizado y del tipo de dopante (impurezas) que se le agregue*”. (GreenPeace Argentina, 2008).

El diodo LED utilizado fue de potencia de 3W lineal similar al de la Figura 15-2.



Figura 15-2: Diodo LED lineal de 3W.

Fuente: Super Bright LEDs Inc., 2017.

La Tabla 4-2, muestra las características más relevantes del diodo LED lineal de 3W según su datasheet.

Tabla 4-2: Características de funcionamiento del diodo LED lineal de 3W.

CARACTERÍSTICAS	
Potencia de disipación	3 W
Corriente máxima	300mA
Voltaje en reversa	5 V
Flujo lumínico máximo	190 Lm

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Fuente: 3W COB Linear LED Datasheet, www.superbrightleds.com.

2.9 Fuente de Alimentación.

Existen varias formas de alimentar a un circuito electrónico ya sea por baterías o a través de un enchufe de corriente alterna a 120 V. Para este prototipo se utilizó una batería por su movilidad. “Las baterías o acumuladores son dispositivos capaces de acumular energía eléctrica a través de procesos de carácter electroquímicos”. (Enciclopedia de Clasificaciones, 2017).

Existen una gran variedad de baterías en el mercado, entre estas tenemos baterías del tipo:

- Plomo-acido (Pb-ácido)
- Nickel-cadmio (NiCd)
- Nickel-hidruro metálico (NiMH)
- Ion-Litio (Li-ion)
- Polímero-Litio (Li-poly)

- Aire-zinc
- Celdas de combustible, etc.

En la Tabla 5-2 se muestra una comparación entre las características de funcionamiento de estas baterías.

Tabla 5-2: Tabla comparativa entre tipos de baterías.

Tipo	Energía/ peso	Tensión por elemento (V)	Duración (número de recargas)	Tiempo de carga	Auto-descarga por mes (% del total)
Li-ion	110-160 Wh/kg	3,7 V	4000	2h-4h	25 %
Li-Po	100-130 Wh/kg	3,7 V	5000	1h-1,5h	10 %
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25 V	500	10-14h *	30 %
Ni-Fe	30-55 Wh/kg	1,2 V	+ de 10 000	4-8h	10 %
Ni-Mh	60-120 Wh/kg	1,25 V	1000	2h-4h *	20 %
Plomo	30-40 Wh/kg	2 V	1000	8-16h	5 %

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Fuente: Departamento de Electrónica UTFSM, www2.elo.utfsm.cl.

La batería utilizada para el prototipo fue un power bank de iones de litio, ya que permite fácil recarga de energía a través de un cable USB, y genera directamente 5 voltios en la salida.

2.10 Cable de conexiones.

Para las diversas conexiones realizadas en la gorra de visión artificial se utilizó cable de 7 hilos por su alta flexibilidad en comparación con alambre que es más rígido. El cable número 20 AWG (American Wire Gauge Standard), posee un diámetro de 0,81 mm² con una resistencia de 32,69 Ohm/km y una capacidad de corriente de 1,6 A, según la tabla de valores normalizados AWG.

Para las conexiones de la Raspberry con los circuitos de control se utilizó cable de Arduino con terminales macho-hembra y macho-macho por su flexibilidad y robustez en sus extremos. En la Figura 16-2 se muestra el cable de Arduino con terminal macho.



Figura 16-2: Cables de conexión para Arduino.

Fuente: Cable Arduino, www.dx.com

2.11 Sensores de luz.

Un sensor es un dispositivo que convierte una variable física o química en una variable eléctrica, generalmente se denominan dispositivos de instrumentación y son pieza clave para la automatización de un sistema. Dentro de este capítulo veremos el sensor fotoresistivo y el sensor fotoeléctrico con sus respectivas características de funcionamiento y aplicaciones.

2.11.1 *Sensor Fotoeléctrico.*

El sensor fotoeléctrico se compone de dos partes, una emite luz y la otra recibe producto del reflejo al chocar con un objeto al frente del sensor. La definición de este dispositivo nos dice que “Un sensor fotoeléctrico es un dispositivo que detecta la presencia o alguna característica en particular de un objeto mediante luz (visible o no visible). Se pueden aplicar para detectar presencia, tamaño, color, brillo de objetos.” (Autonics)

Existen varios tipos de sensores fotoeléctricos, entre estos tenemos:

- Modelo reflectivo. la luz del emisor regresa producto del rebote con un objeto al frente hacia el receptor.
- Modelo de barrera: se compone de un emisor y receptor separados por una distancia y su objetivo es localizar el cambio de luz producto del paso de un objeto por adelante.
- Modelo retroreflectivo: similar al modelo reflectivo en el diseño, pero su funcionamiento se basa en que la luz no regresa o no rebota cuando hay un objeto al frente.

2.11.2 *Sensor Fotoresistivo.*

El sensor fotoresistivo también conocido como LDR (Light Dependent Resistors), es una cápsula que varía analógicamente su resistencia mientras más luz o menos luz existan. Este tipo de sensor es muy común para aplicaciones de control de luz ambiental automático. En la Figura 17-2 se muestra una fotocelda o fotorresistencia LDR.

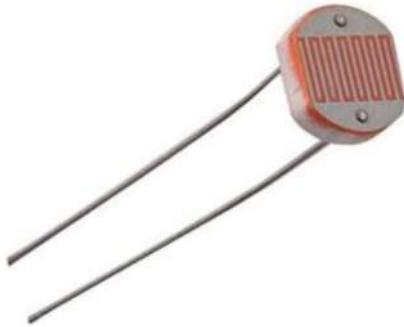


Figura 17-2: Fotorresistencia LDR

Fuente Lionchip catálogo, 2017

El sensor LDR se utilizó en el prototipo electrónico, ya que capta ondas electromagnéticas y permite obtenerte una resistencia variando la cantidad de radiación de luz del led, para el control de sombras que se produce en el ambiente, de forma autónoma.

CAPÍTULO III

3 DISEÑO DE SOFTWARE Y HARDWARE.

3.1 Diseño del software.

La parte principal del dispositivo electrónico fue la encargada del reconocimiento de rostros, así como de las distintas expresiones faciales. Esto se pudo realizar mediante un ordenador, que ejecutó a la vez la activación de pulsos mediante programación para el control de un micro-motor de vibración externo, que funcionó cada vez que el sistema reconoció cierta expresión facial.

En la Gráfico 1-3 se presenta el diagrama de bloques general del funcionamiento del sistema, constituido por el proceso de reconocimiento de expresiones faciales, además del control del micro-motor de vibración y el proceso de control de luz, respectivamente.

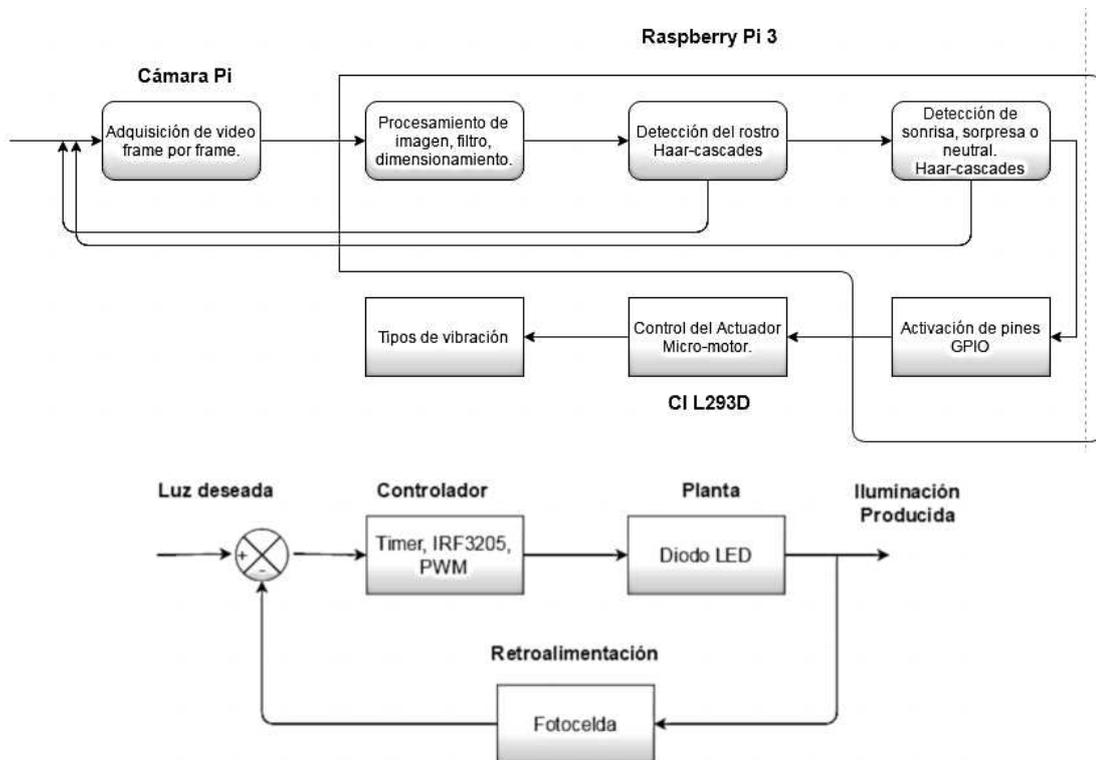


Gráfico 1-3: Diagrama de bloques del sistema.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017.

La Raspberry Pi 3 modelo B, fue la encargada de realizar el procesamiento de imagen y control de pines GPIO, ya que proporciona un software completo de programación como lo es Python, así como una librería para trabajar sobre visión artificial que es OpenCV.

A continuación, se ha desglosando cada parte del diagrama de bloques descrito previamente en la Figura 1-3, a fin de entender mejor su funcionamiento.

3.1.1 *Instalación de Programas en la Raspberry Pi 3*

Al adquirir una placa Raspberry Pi 3, lo primero que se realizó fue conseguir una tarjeta de memoria micro SD con capacidad de 16 gigabytes clase 10 de la marca Sony, ya que lo recomendado por Raspberry era una capacidad de almacenamiento de entre 8 a 16 gigabytes con una velocidad de escritura de 10 MB/s.

Mediante el adaptador SRAC-A1 para micro SD, que vino incluido en la compra de la tarjeta de memoria se conectó a un computador portátil, para formatearlo bajo FAT-32 que es el formato para manejo de la Raspberry Pi 3. Una vez formateado se procedió a descargarse el sistema operativo Raspbian Stretch with Desktop, de la página oficial de Raspberry en: www.raspberrypi.org/downloads. El sistema operativo seleccionado fue el de la Figura 1-3.



Figura 1-3: Imagen a descargar del SO Raspbian.

Fuente: Descargas. www.raspberrypi.org/downloads/raspbian

3.1.1.1 *Instalación del sistema operativo en la Raspberry PI 3.*

Con la descarga de la imagen del sistema operativo Raspbian, se procedió a guardarla en la tarjeta de memoria micro SD, mediante el programa Win32 Disk Imager, el cual me permitió seleccionar el archivo de imagen y la ubicación del dispositivo correspondiente, una vez seleccionados estos dos parámetros se eligió escribir. En la Figura 2-3 se muestra la pantalla principal del programa Win32 Disk Imager.

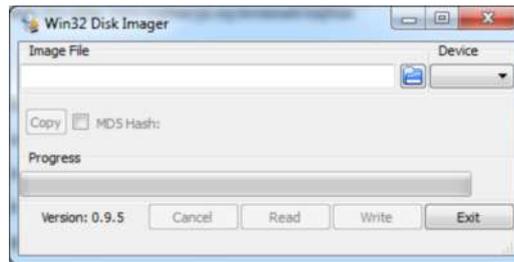


Figura 2-3: Programa Win32 Disk Imager

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Con esto la imagen almacenada en la tarjeta micro SD se conectó a la Raspberry junto con todos los periféricos de entrada y salida (teclado, pantalla, mouse y cable ethernet), para el manejo de la placa. Al energizar la Raspberry automáticamente arrancó el sistema operativo y mostró la pantalla de inicio del escritorio, como en la Figura 3-3.

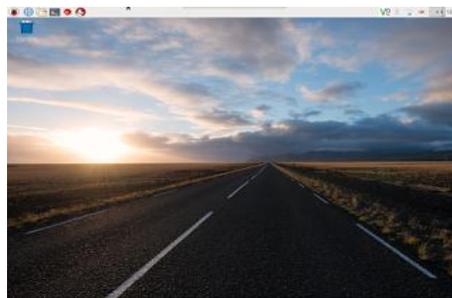


Figura 3-3: Escritorio de la Raspberry Pi 3

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

3.1.1.2 Descarga e instalación de Python 2.7 y librerías para uso de imágenes y video.

Con el sistema operativo ya en marcha pasamos a la instalación de las librerías que me permitieron realizar tareas de visión por computador. Antes, cabe mencionar que no se trabajó con los programas Python 2 o Python 3 que vienen instalados por defecto en Raspbian, sino que se creó un entorno virtual con el fin de poder instalar y trabajar con las versiones de las librerías necesarias para este dispositivo sin tener advertencias o errores por conflictos de versiones entre otros programas, de esta manera el entorno virtual me permite aislar versiones e instalar diferentes complementos sin que interfieran en la ejecución de otros entornos.

“El propósito principal de los entornos virtuales de Python es crear un entorno aislado para los proyectos de Python. Esto significa que cada proyecto puede tener sus propias dependencias, indistintamente de las dependencias que cada otro proyecto tenga”.
(RealPython, 2016)

De acuerdo a la guía de instalación de OpenCV de Adrian Rosebrock, en la ventana de comandos se ejecutó dos sentencias para la actualización de todos los paquetes del sistema operativo:

```
$ sudo apt-get update  
$ sudo apt-get upgrade
```

Actualizados todos los paquetes se instaló varias librerías para el uso de imágenes, con la siguiente línea:

```
$ sudo apt-get install build-essential cmake pkg-config
```

Lo mismo se realizó para trabajar con videos, instalando las siguientes librerías:

```
$ sudo apt-get install libavcodec-dev libavformat-dev libswscale-dev libv4l-dev  
$ sudo apt-get install libxvidcore-dev libx264-dev
```

Para poder mostrar imágenes en la pantalla se instaló un sub-módulo denominado highgui, mediante la línea:

```
$ sudo apt-get install libgtk2.0-dev
```

Para poder instalar OpenCV previamente instalamos Python, utilizamos la versión 2.7 por ser la versión con mayor documentación y ejemplos, con la siguiente línea de comando:

```
$ sudo apt-get install python2.7
```

Con Python 2.7 instalado, se descargó la librería OpenCV de versión 3.1.0 desde su sitio web y se descomprimió el archivo, con las siguientes sentencias:

```
$ wget -O opencv.zip https://github.com/Itseez/opencv/archive/3.1.0.zip  
$ unzip opencv.zip
```

Para tener una instalación completa de OpenCV debemos descargar también opencv_contrib, ya que no se instala por defecto. “*Los paquetes opencv_contrib, contienen implementaciones de algoritmos patentados o en desarrollo experimental*”. (Rosebrock, 2015)

```
$ wget -O opencv_contrib.zip https://github.com/Itseez/opencv_contrib/archive/3.1.0.zip
$ unzip opencv_contrib.zip
```

A continuación, se instaló pip, que es un administrador de paquetes y librerías desde la dirección web: www.bootstrap.pypa.io/get-pip.py, con las siguientes sentencias:

```
$ wget https://bootstrap.pypa.io/get-pip.py
$ sudo python get-pip.py
```

3.1.1.3 Creación de un entorno virtual para trabajar con Python 2.7 y OpenCV 3.1.0.

Para la creación del entorno virtual ejecutamos la siguiente línea de comandos, donde instalamos primero virtualenv. “El cual crea un entorno que tiene sus propios directorios de instalación, que no comparte bibliotecas con otros entornos virtuales (y, opcionalmente, no tiene acceso a las bibliotecas instaladas globalmente)”. (PyPa, 2014)

```
$ sudo pip install virtualenv virtualenvwrapper
$ sudo rm -rf ~/.cache/pip
```

La sentencia que enviará afuera del entorno virtual es mediante “source ~/.profile”, colocándonos en el directorio profile, se configuró los parámetros para la creación del directorio profile de la siguiente manera:

```
$ export WORKON_HOME=$HOME/.virtualenvs
$ source /usr/local/bin/virtualenvwrapper.sh
$ echo -e "\n# virtualenv and virtualenvwrapper" >> ~/.profile
$ echo "export WORKON_HOME=$HOME/.virtualenvs" >> ~/.profile
$ echo "source /usr/local/bin/virtualenvwrapper.sh" >> ~/.profile
```

Para la creación del entorno virtual (cv), para Python 2.7 se ejecutó la siguiente sentencia:

```
$ mkvirtualenv cv -p python2
```

Creado ya el entorno virtual denominado cv, ingresamos desde la ventana de comandos con las siguientes líneas:

```
$ source ~/.profile
```

```
$ workon cv
```

Inmediatamente apareció “(cv)”, en la línea de comandos, indicándonos que nos encontramos ya en el entorno virtual como aparece en la Figura 4-3.



```
pi@raspberrypi:~$ source ~/.profile
pi@raspberrypi:~$ workon cv
(cv) pi@raspberrypi:~$
```

Figura 4-3: Ventana de comandos de Raspbian dentro del entorno virtual cv.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

3.1.1.4 Instalación de Numpy y OpenCV 3.1.0.

Una vez que se instaló Python y el entorno virtual, instalamos Numpy mediante el gestor pip y dentro del entorno virtual ejecutamos:

```
$ pip install numpy
```

Ahora hacemos uso de la herramienta CMake para configurar nuestra instalación de OpenCV. “CMake es una herramienta de código abierto y multiplataforma diseñada para construir, probar y empaquetar software”. (Jean, y otros, 2016)

```
$ cd ~/opencv-3.1.0/
$ mkdir build
$ cd build
$ cmake -D CMAKE_BUILD_TYPE=RELEASE \
-D CMAKE_INSTALL_PREFIX=/usr/local \
-D INSTALL_PYTHON_EXAMPLES=ON \
-D OPENCV_EXTRA_MODULES_PATH=~/opencv_contrib-3.1.0/modules \
-D BUILD_EXAMPLES=ON ..
```

Ya configurados los parámetros de instalación de OpenCV, se procedió a realizar la ejecución con la sentencia siguiente:

```
$ make
```

Finalmente, para concluir la instalación de OpenCV 3.1.0 se escribió la línea de comandos siguiente:

```
$ sudo make install
```

```
$ sudo ldconfig
```

Ahora para poder ejecutar la librería de OpenCV creamos los enlaces de Python 2.7 instalados fuera del entorno virtual para el archivo `cv2.so`, para esto ejecutamos dos sentencias. (Rosebrock, 2016)

```
$ cd ~/.virtualenvs/cv/lib/python2.7/site-packages/
```

```
$ ln -s /usr/local/lib/python2.7/site-packages/cv2.so cv2.so
```

3.1.2 Clasificador Haar-cascade y TrainCascade con Python y OpenCV.

El prototipo electrónico está basado, en la detección tanto de rostros como de las expresiones faciales, mediante el uso de clasificadores Haar-cascades, los cuales se obtienen a través de la recolección de imágenes procesadas por medio de un entrenador con inteligencia artificial.

El reconocimiento de objetos por clasificadores Haar_cascades es un algoritmo presentado por Michael Jones y Paul Viola en su artículo publicado en 2001, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features". Se trata de un enfoque basado en aprendizaje automático en el que la función cascade se entrena de muchas imágenes positivas y negativas. (Doxygen, 2017)

De acuerdo a una entrevista realizada por Borenstein a Adam Harvey de la Universidad de Nueva York menciona que: “El algoritmo Viola-Jones funciona buscando características. Todas las características son rectángulos. Dentro del rectángulo hay rectángulos más pequeños y luego tienes píxeles. El rectángulo que compone la cara en Viola-Jones es muy pequeño”. (Harvey, 2012). En la Figura 5-3 se muestra un ejemplo de rectángulos binarios usados para describir los rasgos físicos de un objeto.

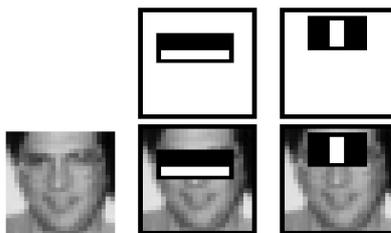


Figura 5-3: Rectángulos usados para describir las características del rostro.

Fuente: Viola & Jones, 2001

Se decidió optar por el método de clasificadores ya que el costo computacional es mucho menor comparados con otros métodos de detección de rostros como Facial Landmarks, que se encarga de colocar puntos en todas las partes del rostro como nariz, boca, ojos, cejas y mediante algoritmos se analiza el movimiento de dichas marcas obteniendo el reconocimiento de expresiones faciales, sin embargo el método necesita de gran cantidad de memoria RAM provocando lentitud en la detección de rostros y marcas para la Raspberry Pi 3 que posee apenas 1 GB de RAM.

Otros métodos de detección de rostro están relacionados directamente por la calidad y resolución de la imagen, ya que para una resolución media de 640x480 píxeles la detección no se realiza en tiempo real, pero se puede localizar rostros a una distancia de más de un metro; mientras que, para una resolución baja de (200 x 200 píxeles), el tiempo en detectar el rostro es relativamente corto, sin embargo, no puede localizar rostros a grandes distancias relativamente.

El método de Viola-Jones permite realizar la detección de rostros en tiempo real y con una buena resolución de imagen, parte importante para este dispositivo que pretende ayudar a personas no videntes en una conversación en tiempo real y bajo una cierta distancia de separación entre ambas personas. Para el dispositivo electrónico se realizaron cuatro plantillas de reconocimiento Haar-cascades, para las cuales se capturaron aproximadamente 2600 imágenes de personas realizando varias expresiones. El primer Haar-cascade denominado *rostro.xml* me permite detectar la parte frontal del rostro de una persona. Para entrenar esta plantilla se procedió a realizar capturas fotográficas de un total de 105 personas en varios ambientes de iluminación. Algunas de las imágenes tomadas de acuerdo a distintas condiciones de iluminación se muestran en la Figura 6-3.



Figura 6-3: Fotografías de rostros con diferente iluminación.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

El haar-cascade *rostro.xml* fue la plantilla de reconocimiento base sobre la que se detectaron las diferentes emociones y para ésta se utilizaron la mayor cantidad de imágenes positivas y negativas, un total de 2563 imágenes positivas (imágenes donde aparece el rostro de una persona), y 3000 imágenes negativas (imágenes sin rostros de personas), fueron utilizadas para realizar el entrenamiento de la plantilla.

El procedimiento para realizar un clasificador haar-cascade se dividió en 5 pasos detallados a continuación:

- Captura de imágenes.
- Clasificación y configuración de imágenes.
- Creación de muestras.
- Entrenamiento.
- Conversión de etapas a archivo con extensión XML.

Las capturas fueron realizadas con variaciones de iluminación y distintas expresiones para cada persona (25 fotos por persona aproximadamente), la cámara utilizada para las fotografías fue digital de marca Sony configurada en formato VGA. Se capturaron además un conjunto de imágenes negativas (un total de 3000 imágenes), donde no aparecen rostros para el entrenamiento.

Una vez capturadas las imágenes se procedió a dividir las por carpetas, en imágenes positivas y negativas, las imágenes con los rostros de personas se modificaron sus características mediante programación con Python y OpenCV. Se cambió el tamaño de las imágenes de 640x480 píxeles (formato VGA), a 60x50 píxeles para disminuir el tiempo de proceso en el entrenamiento; además, se configuró la extensión de las imágenes de JPEG a Imagen de mapa de bits (BMP), ya que es el formato requerido por el entrenador de OpenCV.

Las imágenes negativas conservaron su extensión y tamaño (640x480), pero se realizó un pre-procesamiento de imagen con OpenCV, cambiando el color de la imagen de BGR (formato de colores de una imagen para OpenCV: Blue, Green & Red), a escala de grises, como norma para poder realizar el entrenamiento.

En la Figura 7-3 se muestran algunas de las imágenes negativas usadas en el entrenamiento.



Figura 7-3: Ejemplos de imágenes negativas utilizadas para el entrenamiento.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Con las imágenes ya configuradas se procedió a crear dos archivos de texto plano con las ubicaciones de las imágenes. Para las imágenes negativas en el archivo se debía anotar la ubicación y el nombre de cada imagen; mientras que, para las imágenes positivas después de la ubicación y el nombre, se incluyó cuántas veces aparecía un rostro en la foto y las coordenadas del lugar donde se encuentra, definidas como x e y para el punto de inicio desde la parte superior izquierda, w para el ancho del rostro y h para el alto del rostro. La Figura 8-3 muestra los archivos de texto plano con información de las imágenes.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
negat_1.jpg				
negat_10.jpg				
negat_11.jpg				
negat_12.jpg				
negat_13.jpg				
negat_14.jpg				
negat_15.jpg				
negat_16.jpg				
negat_17.jpg				
negat_18.jpg				
negat_19.jpg				
negat_2.jpg				
negat_20.jpg				
negat_21.jpg				
negat_22.jpg				
negat_23.jpg				
negat_24.jpg				

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
rawdata/pos_1.bmp	1	21	24	8 5
rawdata/pos_10.bmp	1	21	32	6 6
rawdata/pos_100.bmp	1	14	30	16 7
rawdata/pos_101.bmp	1	18	29	16 7
rawdata/pos_102.bmp	1	14	34	19 10
rawdata/pos_103.bmp	1	16	42	16 10
rawdata/pos_104.bmp	1	15	30	15 8
rawdata/pos_105.bmp	1	18	31	17 9
rawdata/pos_106.bmp	1	19	34	15 8
rawdata/pos_107.bmp	1	20	32	18 8
rawdata/pos_108.bmp	1	21	33	18 8
rawdata/pos_109.bmp	1	17	33	17 9
rawdata/pos_11.bmp	1	16	28	14 7
rawdata/pos_110.bmp	1	11	34	14 6
rawdata/pos_111.bmp	1	22	31	18 6
rawdata/pos_112.bmp	1	19	26	22 7
rawdata/pos_113.bmp	1	19	32	19 8

Figura 8-3: Archivos con información de imágenes negativas y positivas respectivamente.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

El entrenamiento se realizó en un computador HP Intel Core i5 a 2.4 GHz con 3 GB de RAM, puesto que realizar el procesamiento en la Raspberry tardaría semanas en compilarse.

Una vez ordenadas las imágenes y adjuntados los archivos de información se procedió a realizar la creación de muestras mediante el ejecutable *createsamples.exe* incluida en la librería OpenCV.

Este ejecutable me permite crear un vector con todos los datos de las imágenes positivas. “Opencv_createsamples.exe produce un conjunto de datos de muestras positivas, la salida es un archivo con extensión *.vec, un formato binario que contiene imágenes”. (Equipo de desarrollo OpenCV, 2017)

Mediante el ejecutable traincascade.exe, se procedió a realizar el entrenamiento de todas las imágenes para detección de rostros, dando como resultado una serie de directorios por cada etapa y en su interior un archivo de texto plano. Con las etapas de entrenamiento ya realizadas, se procedió finalmente a utilizar el ejecutable haarconv.exe, el cual permitió enlazar las etapas y convertirlas a un formato simple XML, este archivo se utilizó como clasificador haar-cascade para detección de rostros (rostros.xml). En la Figura 9-3 se muestra el resultado de la detección de rostro con el archivo rostro.xml.

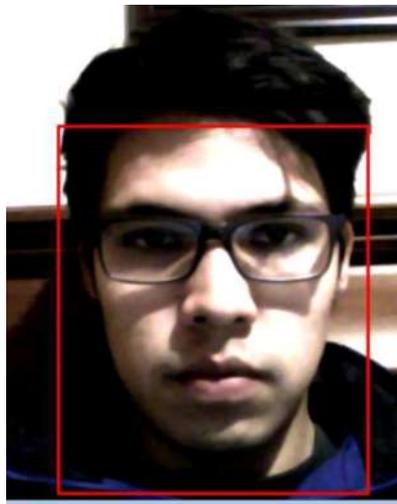


Figura 9-3: Detección de rostro con haar-cascade rostro.xml.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017.

Para el reconocimiento de expresiones faciales, se tomó 3 expresiones, sonrisa, sorpresa y neutral.

Estas expresiones fueron seleccionadas puesto que, del análisis del conjunto de muestras, (2600 fotografías), fueron en promedio las expresiones con mayor similitud entre las diferentes personas, con esto se pudo obtener mejores resultados en los entrenamientos de los clasificadores.

Se tomó como referencia el clasificador haar-cascade de detección de sonrisas de Steven Puttemans, para realizar el entrenamiento de los haar-cascades de expresión de sorpresa y neutral, el cual se encarga del reconocimiento de la boca, específicamente de la dentadura

cuando una persona sonríe. (Puttemans, 2017; Pisarev, 2013). En la Figura 10-3 se muestra la detecci3n de sonrisa con el archivo haarcascade_smile.xml.

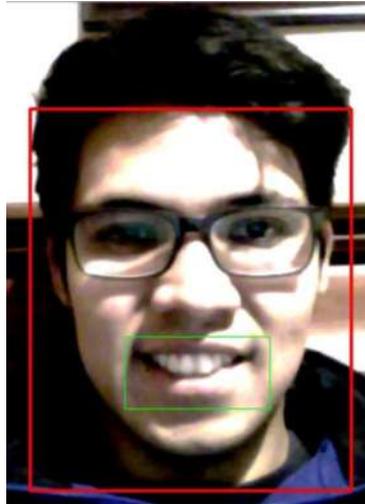


Figura 10-3: Detecci3n de sonrisa con haarcascade_smile.xml

Realizado por: Angel Ocaña, 2017.

Los clasificadores de sorpresa y neutral fueron tomados específicamente de la parte de la boca, utilizándose 618 y 846 imágenes positivas respectivamente. Dentro de las imágenes negativas se utilizaron 1173 para el clasificador de asombro y 1204 imágenes para el clasificador de expresi3n neutral. La realizaci3n de estos haar-cascades siguieron los mismos pasos antes mencionados para el de detecci3n de rostros. En la Figura 11-3 se puede observar la detecci3n de la expresi3n tanto neutral y sorpresa utilizando los haarcascades entrenados.

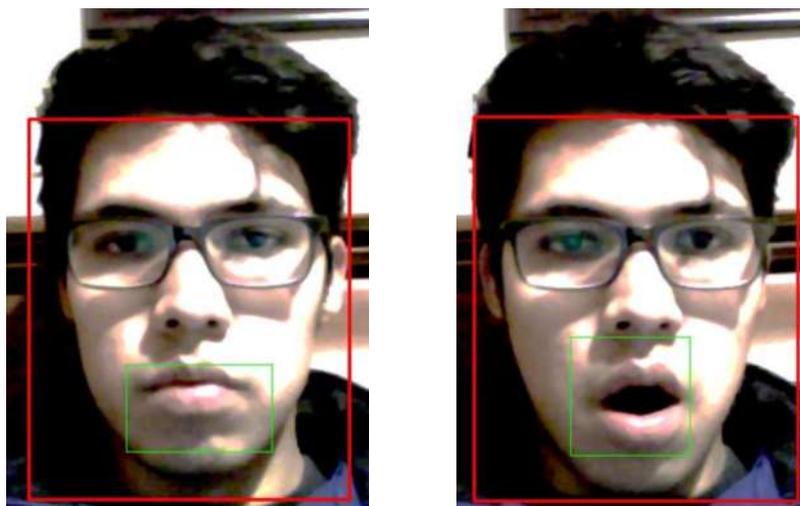


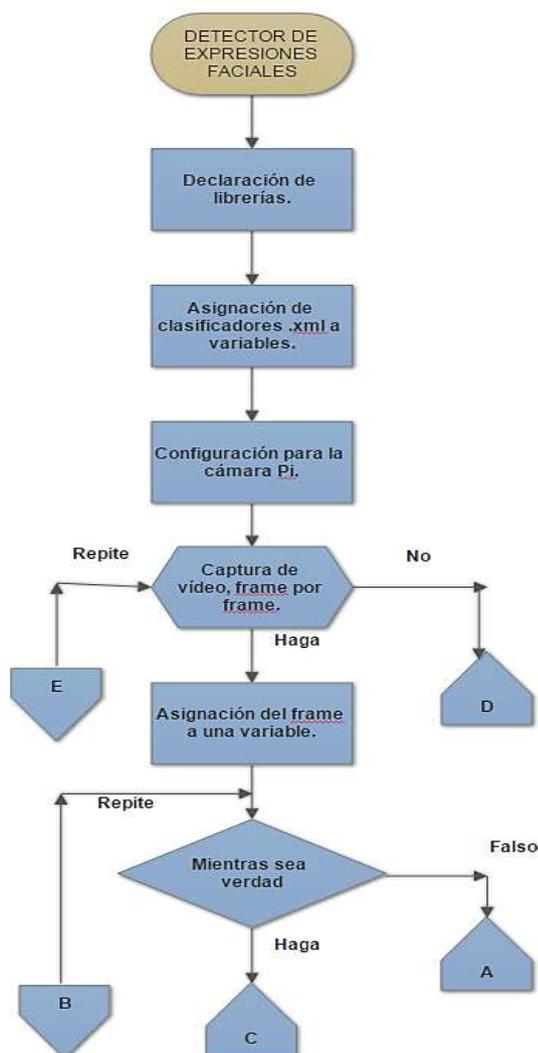
Figura 11-3: Detecci3n de expresi3n neutral y sorpresa respectivamente.

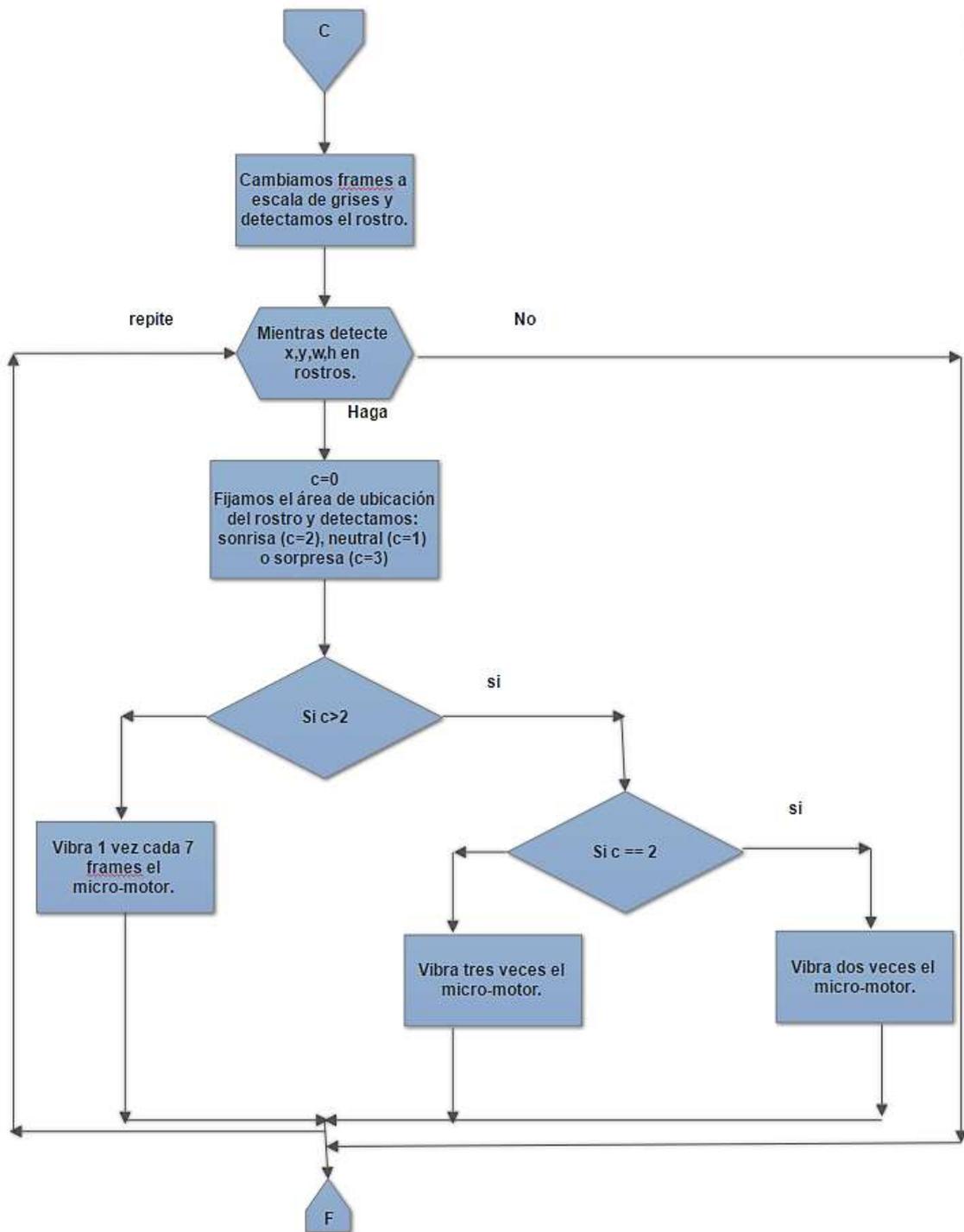
Realizado por: Angel Ocaña, 2017.

Los haar-cascades realizados sirvieron para la detección de la parte frontal del rostro con pequeñas desviaciones de orientación, la distancia a la que puede reconocer dependió de la resolución que se utilizó para capturar el video (640x480 distancia máxima entre personas 80 cm), para este dispositivo los rostros no deberán presentar variaciones por inclinación o declinación, ni movimiento abruptos que ocasionen falla en la captura del video en tiempo real; además, tanto la barba como aretes en la parte de la boca representan ruido en la imagen y se excluyeron como muestras para el entrenamiento en los clasificadores de detección de expresiones.

3.1.3 Diagrama de flujo del programa de detección de expresiones.

En el Gráfico 2-3 se muestra el diagrama de flujo con la descripción del funcionamiento del prototipo electrónico.





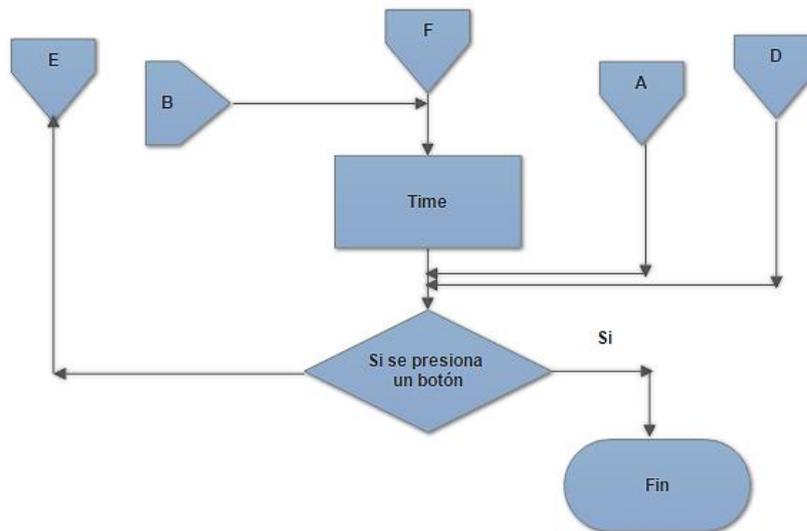


Gráfico 2-3: Diagrama de flujo de programa de visión artificial.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017.

El programa incluyó cuatro clasificadores haar-cascades, el primero es para localización del rostro y de los parámetros x , y , w y h , con estos datos se obtuvo un área para reconocimiento de tres expresiones faciales. A cada expresión se le vinculó un número que me permitió realizar estructuras de comparación y con esto encender el micro-motor con tiempos para cada expresión, vibrando una vez para detección de estado neutral, dos veces para la expresión de sonrisa y tres veces para un rostro sorprendido.

3.2 Diseño del hardware.

En el hardware se encuentran todos los elementos utilizados para la implementación del sistema de visión artificial. Para la captura de imagen se utilizó una cámara Pi, procesamiento de imagen y visión artificial una placa Raspberry Pi 3; además, se utilizó un circuito de control del micro-motor y control de luz ambiental, sensores de luz, micro-motor de vibración y baterías, todo colocado de forma compacta sobre la parte superior de una gorra con visera.

En esta sección se explicará la importancia de cada dispositivo y cuál fue su ubicación dentro del prototipo.

3.2.1 Diseño Electrónico

La Figura 12-3 muestra todos los dispositivos electrónicos utilizados en la implementación del prototipo conectado previamente en un protoboard.

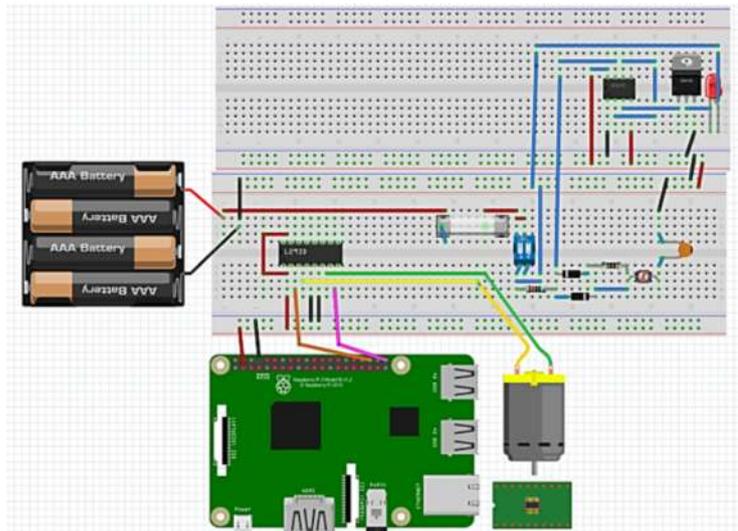


Figura 12-3: Descripción de conexión física del circuito electrónico.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017.

Dentro de la parte electrónica de la gorra de visión artificial, tenemos como placa principal la Raspberry Pi 3 modelo B, la cual se encargó de realizar el procesamiento de imagen y posterior aplicación de visión por computador. La Raspberry Pi 3 fue elegida por la cantidad suficiente de documentación que existe para desarrollo de nuevas aplicaciones; además, por ser una de las placas con mayor memoria RAM del mercado (1 GB), siendo ésta de tamaño bolsillo. Parte importante de esta placa es que cuenta con su propia cámara web denominada Pi camera y que tiene unas dimensiones pequeñas (25mm x 24mm), para incorporarle a un dispositivo móvil.

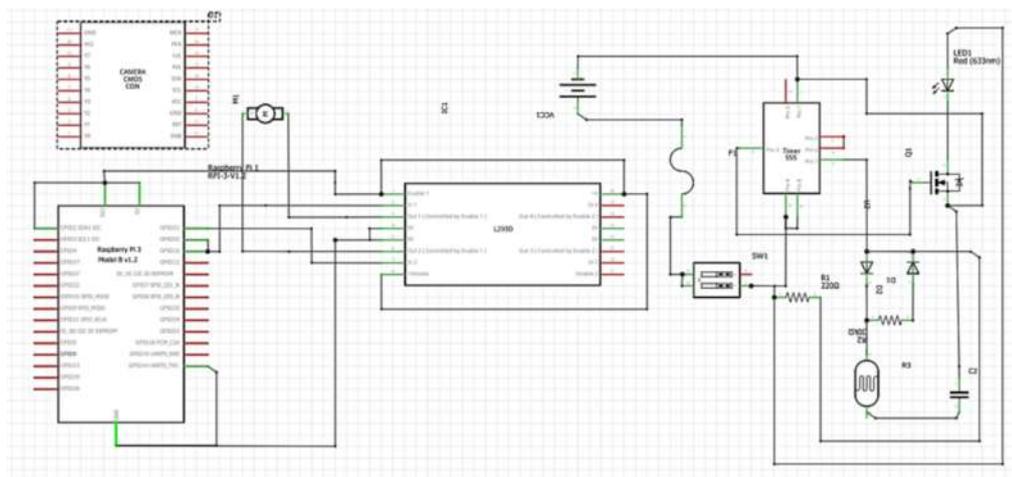


Figura 13-3: Descripción de conexión lógica del circuito electrónico.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017.

En la Figura 13-3 se muestra la simulación en el programa Fritzing del circuito incorporado al dispositivo electrónico de visión artificial. A continuación, se ha desglosando cada parte del

circuito electrónico descrito previamente en la Figura 13-3, a fin de entender mejor su funcionamiento.

3.2.1.1 Control del micro-motor de vibración

La Raspberry Pi 3 se conectó al circuito de control del motor constituido por un circuito integrado L293D, que sirve para controlar el giro de motor y me permite enviar hasta 600mA por canal según su datasheet, para esto los pines GPIO (General purpose input/output) de la Raspberry utilizados fueron:

- Pin 1: entrada para el nivel de voltaje lógico del CI L293D.
- Pin 6: conexión a tierra para el CI L293D.
- Pines 36 y 40: señal de alto o bajo para activar el micro-motor a través del CI L293D.

En la Figura 14-3 se muestra la numeración y tipos de pines de las Raspberry Pi 3.

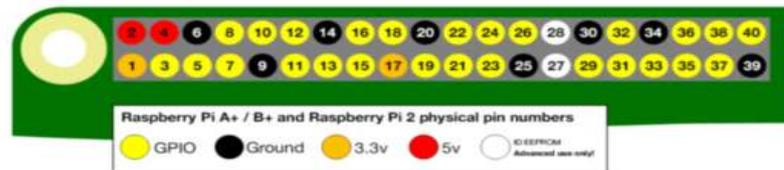


Figura 14-3: Números físicos de los pines GPIO de la Raspberry Pi 3.

Fuente: Raspberry PI Foudation, 2017

El pin de 3.3 voltios se eligió como entrada de nivel de voltaje lógico (V_{ss}), para el CI L293D puesto que los pines GPIO trabajan a 3.3 voltios únicamente, de manera que los pines 36 y 40 dieron aproximadamente 3.3V a su salida para la activación del micro-motor de vibración. El diagrama del circuito integrado L293D se visualiza en la Figura 15-3:

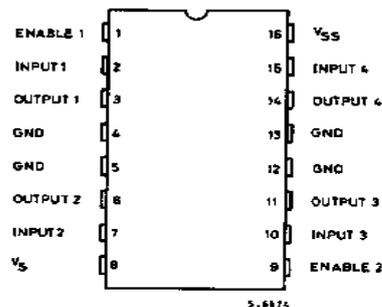


Figura 15-3: Diagrama del CI L293D

Fuente: SGS-Thomson Microelectronics, 1996

La conexión física de la Raspberry con el CI se visualiza en la Figura 16-3.

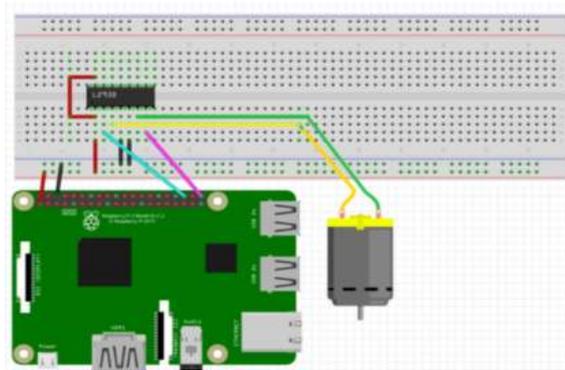


Figura 16-3: Conexión para el control del motor

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Donde se utiliza sólo el canal 1 del circuito integrado para controlar al micro-motor de vibración, puesto que el micro-motor trabaja con un voltaje de 3V, se utilizó la misma Raspberry para alimentarlo, sin tener la necesidad de utilizar una fuente externa.

3.2.1.2 *Control de luz ambiental mediante fotoceldas.*

La luz del ambiente representa un sinnúmero de obstáculos para la correcta detección del rostro y los rasgos emocionales mediante la cámara, esto se debe a que existen diferentes niveles de iluminación en el ambiente, ya sea que el usuario esté en una habitación, en una biblioteca o al aire libre donde varía constantemente las sombras, reflejos y tonalidades que toma el rostro producto de varias fuentes de iluminación o incluso, escasa iluminación.

Para aplicar visión artificial generalmente los prototipos están basados en un ambiente cerrado y con una constante iluminación para la realización de pruebas, sin embargo, este prototipo intenta corregir los distintos niveles de luz que se presentan en el ambiente, incorporando luz artificial, que ilumine casi en su totalidad el rostro de las personas que se encuentren frente al usuario a una distancia prudente para entablar una conversación.

Con la iluminación artificial se busca si bien no mantener siempre constante la cantidad de luz que se proyecta al rostro, mejorar la capacidad de la cámara de detectar los rasgos faciales. Cabe mencionar que la luz no está diseñada para mantener conversaciones en espacios demasiado oscuros donde se tiene imágenes subexpuestas, puesto que se necesitaría prácticamente de una iluminación similar al de los flashes de las cámaras fotográficas, con lo cual sería imprudente proyectar ese tipo de luz hacia otra persona.

Otro lugar donde el dispositivo prácticamente es inválido su uso en ambientes con demasiada luz, puesto que la cámara no puede distinguir los rasgos faciales de las personas ya que no puede analizar imágenes sobreexpuestas y la luz artificial no tendría importancia.

Para el diseño del circuito encargado del control de la luz, variamos el brillo de un diodo LED, sin embargo, con los reguladores de voltaje que existen en el mercado LM7805, LM317 o por resistencias, nos encontramos con un gran desperdicio de energía por la disipación en forma de calor.

Para mejorar esto se procedió a implementar el control del brillo de LED a través de un MOSFET IRF3205, ya que permite realizar un encendido y apagado de la fuente a una frecuencia muy alta, un método eficiente para utilizar la mayor cantidad de energía.

El IRF3205 y el CI reloj 555 permite realizar un control por ancho de pulso (PWM), para variar el brillo del LED, se eligió el MOSFET porque posee una resistencia de drenaje a fuente (R_{DS}), de 8 mili ohmios (International Rectifier, 2001), lo que me produce una nula caída de voltaje en conducción y por lo tanto no se necesita disipador de calor. En la Figura 17-3 se muestra las conexiones del circuito de control de brillo del diodo LED.

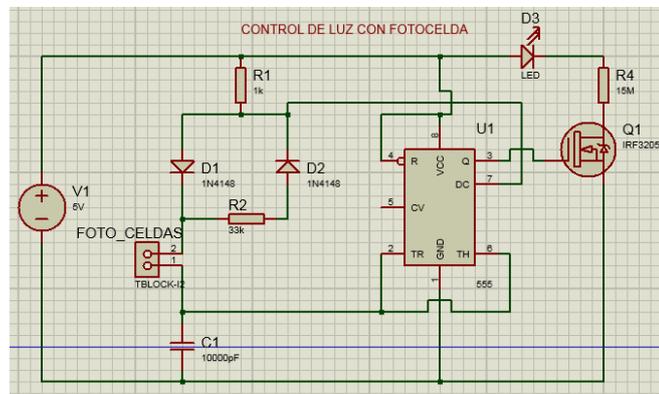


Figura 17-3: Circuito de control del brillo de LED.
con Fotoceldas

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Se utilizó dos fotoceldas para tener un mejor sensado de las condiciones de iluminación ambiental, estas fotoceldas varía de 1kohm a 141kohm dependiendo de la cantidad de luz que exista en el ambiente, dos diodos de switcheo rápido, un capacitor de 0,1 micro faradios para evitar perturbaciones.

3.2.1.3 *Sistema de captura de video en tiempo real.*

En cuanto a la parte electrónica para capturar video, se lo realizó a través de la Pi camera, la cámara exclusiva para Raspberry Pi 3. Esta cámara posee su propio lugar de conexión dentro de la placa, 15 pines a través de un bus de datos son conectados desde la Raspberry hasta la cámara Pi, la conexión realizada se muestra en la Figura 18-3.



Figura 18-3: Conexión de la cámara Pi a la Raspberry.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

3.2.1.4 *Diseño del circuito para impresión en PCB*

Los circuitos impresos son tanto el del control del micro-motor de vibración como del control de brillo del LED, para esto se colocó un switch que me permita encender o apagar el control de luz, también se colocó un fusible con capacidad de 2A, para proteger tanto al circuito y la fuente como a la Raspberry de sobrecargas.

El diseño del circuito se lo realizó en Proteus versión 8.6, tomando en cuenta todos los elementos que poseen PCB package e incluyendo las borneras que se utilizaron.

La Figura 19-3 muestra el circuito completo para impresión don se tuvo dos puentes que fueron arreglados con sócalos.

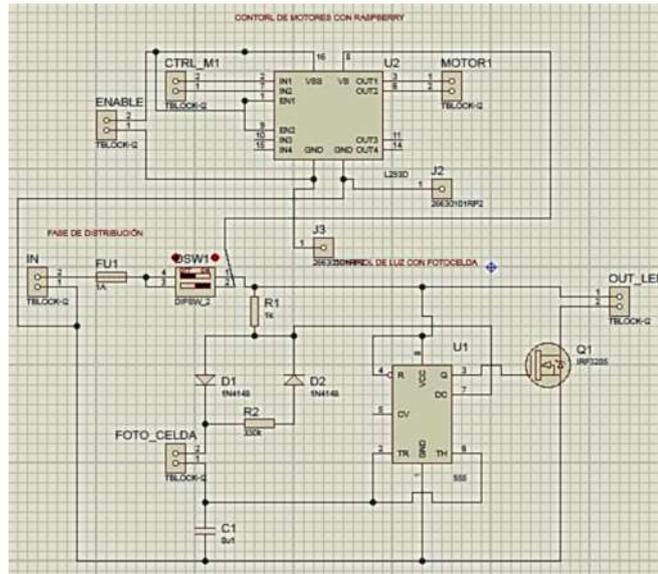


Figura 19-3: Circuito final previo a la impresión en PCB

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

En el circuito se encuentra borneras para las conexiones con la Raspberry, LED, fuente y sensores de luz. Cuenta con tres etapas, la primera es la etapa de distribución encargada de proteger al circuito, así como de repartir corriente a la etapa de control de luz y permitirme como opción enviar corriente directamente desde la fuente al micro-motor, con lo que se incrementa la intensidad de vibración. Las otras dos etapas se componen por el control de brillo del LED y control del micro-motor de vibración.

El circuito diseñado en capa PCB posee dimensiones de 10 cm de largo por 4,25 cm de ancho como en la Figura 20-3.

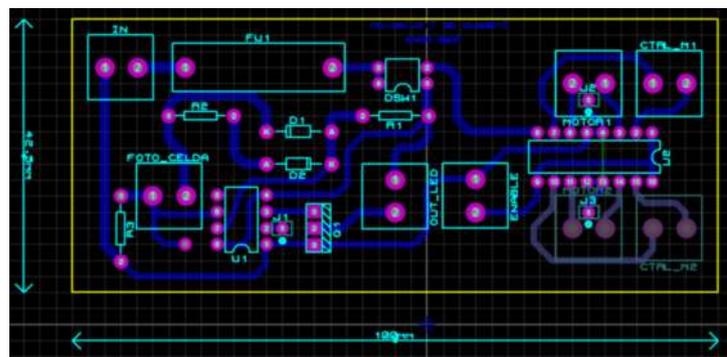


Figura 20-3: Diseño de la placa en capa PCB.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

En el diseño se incluyeron dos borneras para el control de un segundo motor que no se utilizará en este prototipo. Después de la impresión se obtuvo la placa de acuerdo a la Figura 21-3.

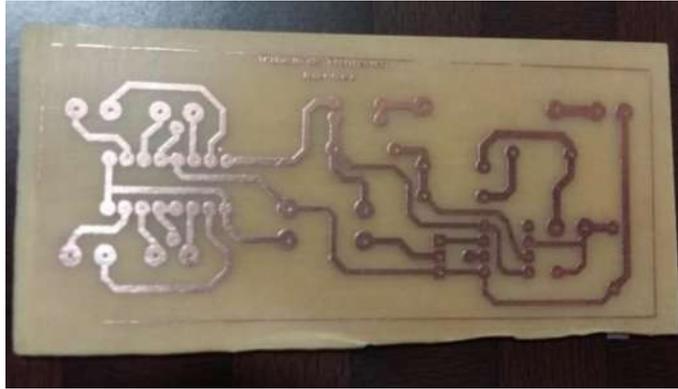


Figura 21-3: Placa impresa, tratada bajo percloruro férrico
Y técnica de planchado.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Después de pulirle y realizar los agujeros con el taladro, el resultado se puede observar en la Figura 22-3.

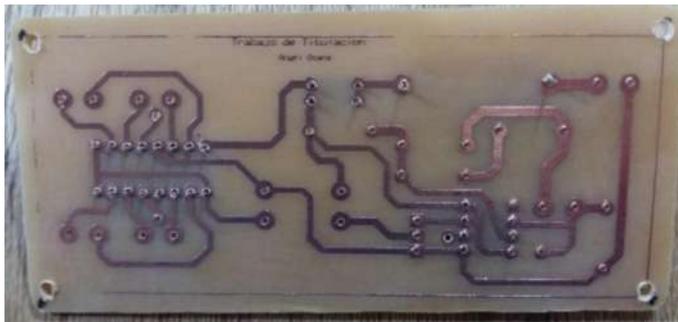


Figura 22-3: Placa lista para soldadura de elementos.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Una vez soldados los elementos electrónicos componentes de la placa, quedó lista para usarse en el proyecto. La Figura 23-3 muestra todos los elementos electrónicos soldados a la placa.



Figura 23-3: Placa final utilizada en el prototipo electrónico.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

3.2.2 *Diseño Mecánico.*

Para el prototipo electrónico se buscaba que no posea más de dos partes separadas por cables, puesto que, para una persona no vidente, el cableado entre dispositivos genera conflicto, ya sea porque pueden interrumpirse las conexiones o por problemas para acomodarlos estéticamente.

En primera instancia el dispositivo electrónico estaba pensado en colocar la cámara sobre gafas y de forma cableada esta se conectaría con el dispositivo encargado del procesamiento y visión por computador. De igual forma el controlador del micro-motor estaría cableado hacia una banda de vibración para el brazo, pero sin lugar a dudas esto generaría un problema por la cantidad de cables que una persona invidente tendría que manejar.

3.2.2.1 *Base sobre la que se colocarán los dispositivos del prototipo.*

El prototipo electrónico está diseñado para que no exista ningún cable externo, de forma que no pueda desconectarse e interferir en el funcionamiento tanto de la parte del software como del hardware. Por esta razón se optó por instalar toda la parte del circuito de control y cableado en la parte superior de una gorra con visera. De esta forma se evita tener varias partes del dispositivo conectadas de forma alámbrica sobre el cuerpo del usuario.



Figura 24-3: Gorra utilizada para el prototipo electrónico

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

En la Figura 24-3 se puede observar la gorra utilizada para el prototipo electrónico, donde la visera brindó un lugar adecuado para la colocación de la cámara, el diodo LED y los sensores de luz, facilitando así el uso y la manipulación del dispositivo por parte de una persona no vidente.

3.2.2.2 *Diseño y construcción de la carcasa para Raspberry Pi 3.*

La Raspberry Pi 3 es una placa que necesita de cuidado en su manipulación ya que es frágil contra descargas estáticas y genera sobrecalentamiento en sus microcontroladores al estar en ambientes cerrados. Por tanto, fue indispensable el diseño e implementación de una carcasa protectora para la Raspberry Pi 3.

Se buscaron diseños realizados por otros desarrolladores para tomarlos como base en cuanto a medidas e implementarlos de acuerdo a las necesidades de nuestro prototipo. El programa utilizado para el diseño fue SolidWorks 2015, para una posterior impresión en 3D.

El diseño encontrado es contribución de la comunidad, GrabCAD una página destinada a compartir diseños CAD para usuarios de programas como SolidWorks. (GrabCAD, 2014) . En la Figura 25-3 se puede observar el diseño utilizado para su edición.



Figura 25-3: Carcasa para Raspberry Pi 3

Fuente: Blaszcak, 2014

Para nuestro diseño necesitamos aumentar el grosor de las paredes de 1mm a dos 2 mm para una óptima impresión. Se decidió dejar un agujero para ventilación del microcontrolador en la parte superior de la carcasa, de acuerdo a estos cambios, la carcasa en la parte inferior quedó de acuerdo a la Figura 26-3.

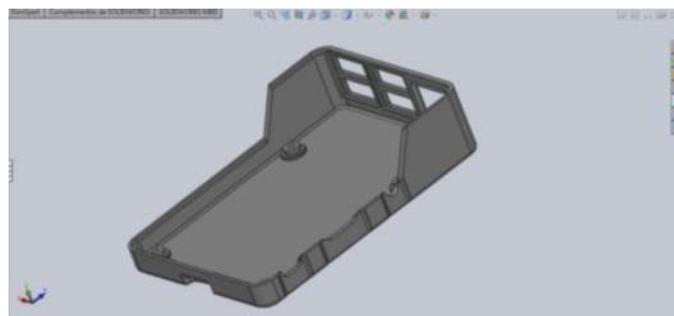


Figura 26-3: Parte inferior de la carcasa para Raspberry Pi 3.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

En cuanto a la parte superior del diseño de la carcasa para la Raspberry Pi 3 modelo B se observa en la Figura 27-3.

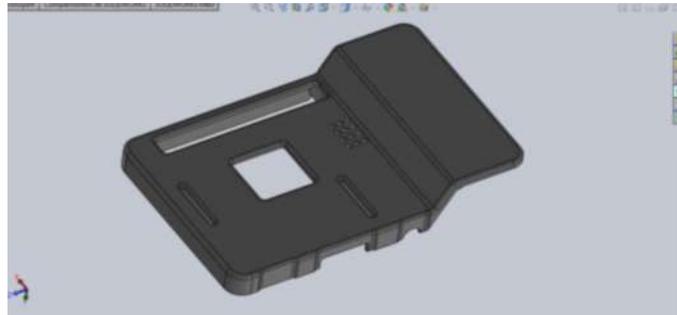


Figura 27-3: Parte inferior de la carcasa para Raspberry Pi 3.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Una vez realizada las piezas se hizo una estimación del tiempo que tardará en imprimir la carcasa para la Raspberry, tardando 1 hora y 48 min la impresión de la carcasa inferior y 2 horas con 38 minutos la carcasa inferior. Obteniéndose el resultado de impresión como muestra la Figura 28-3.



Figura 28-3: Carcasa Impresa para la Raspberry Pi 3

Realizado pro: Angel Ocaña, 2017

3.2.2.3 *Diseño y construcción de la carcasa para la Raspberry Pi camera.*

La Raspberry Pi camera necesitó un soporte para ser ubicada en la visera de la gorra, por esto se necesitó incorporar una carcasa que sirva además como protección de la cámara, del mismo modo que para la carcasa de la Raspberry, se buscó un diseño útil como base, con el fin de realizarle correcciones y que se acople a la implementación en nuestro dispositivo electrónico.

El diseño CAD utilizado para carcasa de la cámara Pi tanto de la parte superior como inferior se muestra en la Figura 29-3.

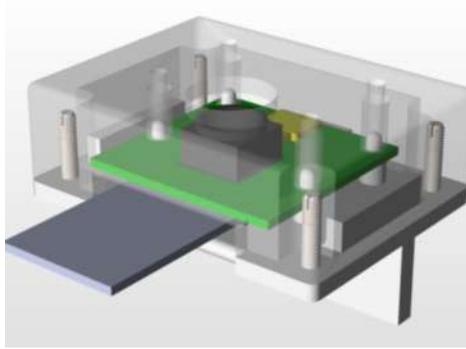


Figura 29-3: Diseño en SolidWorks para la Raspberry Pi cámara.

Fuente: Kumar, 2015

A este diseño preliminar se le hicieron algunas correcciones como por ejemplo, disminuirle el largo de 4 cm a 3.5 cm además de colocar el respaldo de la parte trasera un medio centímetro más arriba junto con dos agujeros para la colocación de tornillos. La parte inferior de la carcasa se visualiza en la Figura 30-3.

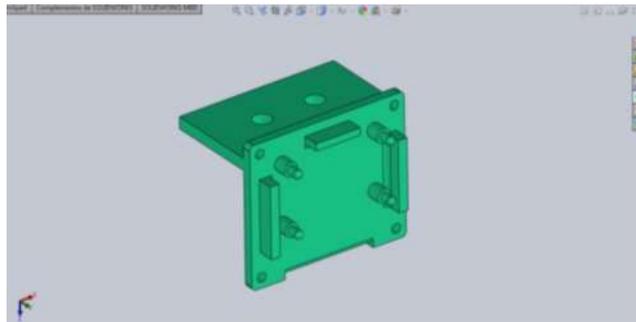


Figura 30-3: Carcasa inferior de la cámara Raspberry Pi.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Mientras que la parte superior de la carcasa se visualiza en la Figura 31-3.

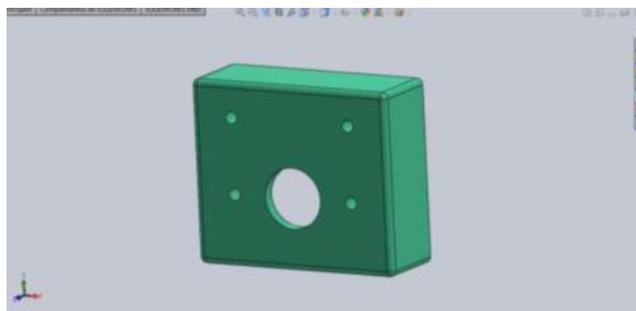


Figura 31-3: Carcasa superior de la cámara Raspberry Pi.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

De acuerdo a los cambios realizados, la carcasa superior tomó un tiempo de impresión de 33 minutos y la carcasa inferior tomó un tiempo de impresión de 1 hora con 5 minutos. Con el resultado final mostrado en la Figura 32-3.



Figura 32-3: Carcasa de Raspberry Pi 3 y cámara Pi.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

La colocación de la cámara en su respectiva carcasa se puede visualizar en la Figura 33-3.



Figura 33-3: Parte frontal y trasera de la Pi camera con su carcasa.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

3.2.2.4 *Diseño mecánico para iluminación del dispositivo electrónico.*

En cuanto a la luz LED se utilizó un dispositivo propio de iluminación para gorras comercializado para caminatas en la noche o uso en la bicicleta. Este dispositivo cuenta con un LED en forma de banda, alimentado por 4.5 V, es decir 3 pilas (AAA).

En la Figura 34-3 se muestra el dispositivo de iluminación apropiado para la colocación en una gorra que se utilizó.



Figura 34-3: Luz LED para Gorras.

Fuente: GearBest, 2017

Se eligió este modelo puesto se amolda perfectamente a la visera de la gorra, además que cuenta con un LED de alto brillo capaz de iluminar hasta 2 metros de distancia. Para energizarlo simplemente se eliminó la parte de las baterías y se conectó al circuito previamente descrito en el diseño electrónico; además se eliminó la tapa de las baterías para que el cableado pueda atravesar por aquel lugar. La conexión del diodo LED se muestra en la Figura 35-3.

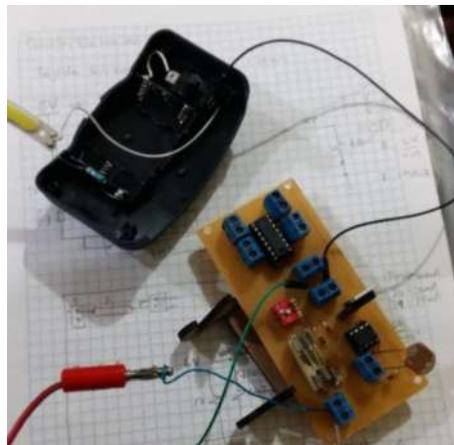


Figura 35-3: Conexión de la luz LED al circuito de control.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Se colocó dos tornillos en la parte inferior del dispositivo de iluminación LED para fijarlo a la gorra por encima de la visera y no por debajo como estaba diseñado idealmente para su comercialización. La ubicación del dispositivo LED se muestra en la Figura 36-3.



Figura 36-3: Posición de luz LED para el prototipo electrónico.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

3.2.2.5 *Carcasa para la placa del circuito principal.*

El circuito donde se encuentra la etapa de control de luz y la etapa de control del micro-motor también debía incluir una carcasa de protección que me permita colocarle sobre la gorra, para esto se diseñó en cartón de acuerdo a las medidas de la placa, el diseño implementado se visualiza en la Figura 37-3.

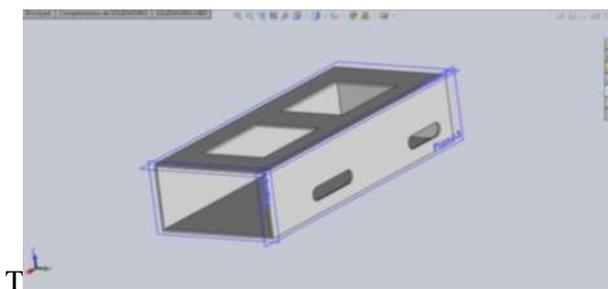


Figura 37-3: Carcasa de protección para el circuito de control.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Se realizó orificios en la parte superior de la carcasa para ventilación del circuito, además, se incluyó dos orificios en los costados, con el fin de usarlos para la colocación y adaptación del cableado.

3.2.2.6 *Carcasa de protección de los sensores de iluminación.*

Los sensores de iluminación se instalaron a ambos costados de la cámara, para tener una zona más amplia de captación de luz ambiental, para esto se diseñó con material de cartón, por su fácil manipulación, una caja que me permita incorporar los sensores (fotoceldas), y cubrir la parte del cableado. El diseño se puede observar en la Figura 38-3.

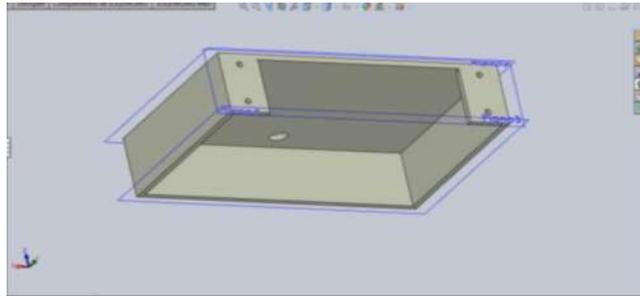


Figura 38-3: Diseño de carcasa para fotorresistencias.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

De acuerdo al diseño, la pieza de protección para las fotorresistencias se visualiza en la Figura 39-3.



Figura 39-3: Carcasa para fotoceldas LDR.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

3.2.2.7 *Encapsulado para el micro-motor de vibración.*

El micro-motor de vibración tuvo que ser encapsulado para su correcto desempeño, ya que, por sus características físicas, la vibración se realiza si su rotor gira libre sin interferencias. Para esto se implementó una pequeña cápsula de plástico, envuelta en una delgada capa de caucho. El diseño se observa en la Figura 40-3.

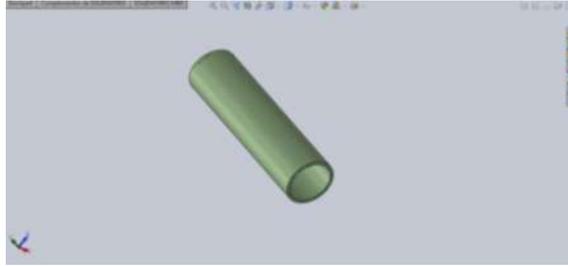


Figura 40-3: Encapsulado para micro-motor.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

La cápsula de vibración diseñada fue hueca lo que permitió incorporarle de forma segura al micro-motor para que éste pueda girar sin interferencias con otros materiales. Una vez implementado el encapsulado del motor, se obtuvo el resultado como muestra la Figura 41-3.



Figura 41-3: Micro-motor en cápsula para vibración.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

3.2.2.8 *Diseño final de la gorra de visión artificial.*

Para colocar cada dispositivo componente en el prototipo electrónico fue necesario distribuir cada pieza alrededor de la gorra considerando el peso de cada uno para que no afecte la postura del usuario. Como se puede observar en la Figura 42-3 todos los dispositivos incluyendo sus respectivas carcasas deben colocarse en la parte superior y visera de la gorra.



Figura 42-3: Dispositivos a colocar en la gorra.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Todas las partes integrantes de la gorra se implementaron en base a la Figura 43-3, siguiendo conceptos de proporción, estética y balance de peso.

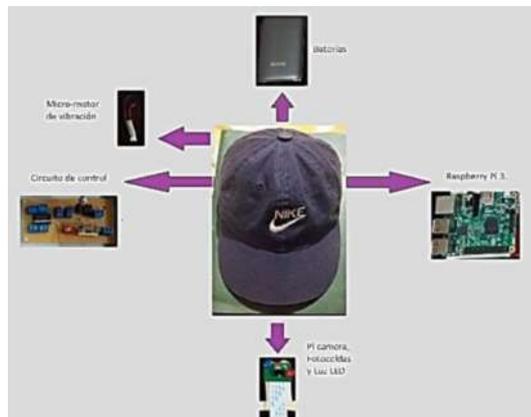


Figura 43-3: Distribución de piezas en la gorra.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Para incorporar a la parte superior de la gorra todos los dispositivos se utilizó tela muy delgada de color negro, intentando mantener la forma y agujeros de cada una de las carcasas para su posterior conexión por cables. La tela mediante costura, permitió mantener casi totalmente pegadas a la parte superior de la gorra todos los dispositivos, además de que brindó seguridad en la movilidad y comodidad para el usuario.

Luego de haberse cosido todas las partes donde se colocó las carcasas y el cableado, se aumentó la costura de broches de velcro, para asegurar las piezas, la gorra quedó de acuerdo a la Figura 44-3:



Figura 44-3: Costura de los dispositivos a la gorra mediante tela negra.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

El recubrimiento de la parte superior se lo realizó mediante una capa ligera de tela negra expandible, diseñada exclusivamente para contener todos los componentes, adherible a través de velcro en los bordes, con esto se aisló a todas las piezas ubicadas encima de la gorra, del ambiente.

Para la parte de la cámara, fotoceldas y luz LED se procedieron a realizar agujeros mediante taladro, con el fin de colocar las piezas con tornillos y tuercas. Se realizó un total de 6 agujeros, 2 destinados a asegurar el aparato de luz LED; 2 más para asegurar la cámara a la visera; 1 para asegurar la carcasa de las fotoceldas y un agujero extra que sirvió como medio para realizar las conexiones. Una vez instaladas las piezas con sus respectivos tornillos, la visera por debajo de la gorra se observa en la Figura 45-3:

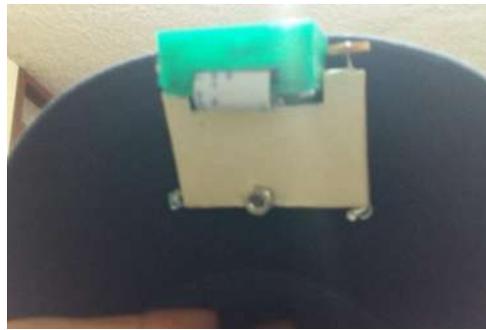


Figura 45-3: Parte inferior de la visera

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

La parte frontal de la visera quedó de acuerdo a la Figura 46-3:



Figura 46-3: Parte frontal de la visera

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

3.2.3 Diseño Eléctrico.

Dentro del diseño eléctrico se hablará tanto de la fuente utilizada como del cableado entre componentes. Una vez que se implementó la parte mecánica y electrónica de la gorra de visión artificial, la parte eléctrica ultimó en su totalidad el diseño del hardware del dispositivo,

quedando únicamente por colocar la capa de tela sobre todos los dispositivos ubicados en la parte superior de la gorra.

3.2.3.1 *Fuente de alimentación utilizada para los dispositivos electrónicos.*

La mayoría de dispositivos electrónicos utilizados en este prototipo, funcionaban a 5V, por tanto era indispensable tener una fuente regulada a ese voltaje. Las baterías debían proveer aproximadamente 1A de corriente para alimentar todo el prototipo y ser capaz de funcionar mínimo un par de horas de forma continua.

De acuerdo a estos requerimientos la fuente que se eligió fue un banco de poder, utilizado generalmente para cargar dispositivos electrónicos a través de un terminal USB. El banco de poder elegido fue de marca Wesdar de dos salidas, el cual provee 6000 mAh, suficientes para mantener en funcionamiento el dispositivo por unas cuantas horas; además posee en sus salidas protección del circuito integrado tanto para sobre cargas como para sobre voltajes. La Figura 47-3 muestra el banco de poder utilizado en el prototipo electrónico.



Figura 47-3: Banco de poder WESDAR de 6Ah.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

3.2.3.2 *Cableado del prototipo electrónico.*

El cable utilizado para realizar las conexiones en la parte superior de la gorra fue cable # 20 AWG, el cual soporta hasta 1.6 A de corriente, se eligió este tipo de cable ya que soportó la cantidad de corriente requerida en el circuito y sus características de flexibilidad fueron óptimas

para una superficie irregular. Este cable fue utilizado para conectar las fotoceldas, el aparato de luz LED y el micro-motor de vibración. En la Figura 48-3 se puede observar el cable utilizado.



Figura 48-3: Cable número 20 AWG.

Fuente: Aliexpress, 2017

Para las conexiones entre la placa de control de vibración y la Raspberry Pi 3 se utilizó cables puente, un total de 6 cables puente hembra- hembra y 6 cables puente macho-macho. Además, para la conexión de la cámara Pi se utilizó cable plano flexible de 15 vías con una longitud de 20 cm y finalmente para alimentar a la Raspberry Pi 3 se utilizó un cable USB. La Figura 49-3 describe las conexiones implementadas en la gorra de visión artificial.



Figura 49-3: Conexiones entre dispositivos.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Se probó las conexiones realizadas colocándose la gorra y verificando su funcionamiento. En la Figura 50-3 se observa la gorra colocada sobre una persona.



Figura 50-3: Prueba de la parte mecánica de la gorra

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Para mejorar la estética en las conexiones, se utilizó bridas como se observa en la Figura 51-3.



Figura 51-3: Conexiones distribuidas a través de bridas.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Finalmente, para el diseño del hardware se incluyó la capa de tela de protección y aislado de los circuitos del medio ambiente, de manera que se cubrió toda la parte superior de la gorra, mejorando la apariencia, seguridad y estética del prototipo electrónico para personas no videntes. La Figura 52-3 muestra el prototipo implementado.



Figura 52-3: Gorra de visión artificial.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

CAPTÍTULO IV

4 PRUEBAS Y RESULTADOS.

Para este capítulo se procedió a recabar información en la Unidad Educativa Especializada para Personas no Videntes Dr. Luis Benavides de la ciudad de Riobamba, donde gracias a su Señor Rector Miguel Granja, se obtuvo información mediante encuestas de sus estudiantes y maestros. La Figura 1-4 corresponde a la Unidad Educativa donde se realizó las encuestas.



Figura 1-4: Unidad Educativa Dr. Luis Benavides

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

En total fueron 17 personas no videntes encuestadas, donde se pudo obtener información para calcular la eficiencia en base a tres pruebas:

- Eficiencia del dispositivo de acuerdo al tipo de iluminación.
- Eficiencia del dispositivo de acuerdo a la altura entre personas en una plática.
- Eficiencia del dispositivo de acuerdo al nivel de batería.

4.1 Pruebas de eficiencia del prototipo electrónico

Los datos obtenidos de las encuestas y pruebas realizadas a las 17 personas no videntes se encuentran en el Anexo D.

4.1.1 *Eficiencia del dispositivo de acuerdo al tipo de iluminación*

Para la siguiente prueba se tomó información en ambientes con luz artificial y con luz natural en el día, para un total de 170 muestras con una repetición de 10 en cada una de las personas no

videntes. El número de muestras correspondientes a luz natural es de 90 pruebas de una muestra de 9 personas de un curso, se probó con las expresiones de sonrisa, neutral y sorpresa. Las pruebas realizadas se las hizo fuera del aula aproximadamente a las 10h: 00 de la mañana. Obteniendo los siguientes resultados de la muestra como se observa en la Tabla 1-4.

Tabla 1-4: Resultados de detección con luz natural

DETECCIÓN CON LUZ NATURAL		
EXPRESIÓN	DETECTADAS	% DE DETECCIÓN
Sonrisa	68 expresiones	75,56 %
Neutral	62 expresiones	68,89 %
Sorpresa	55 expresiones	61,11 %

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Donde se puede observar que el porcentaje de detección para luz natural, es decir para exteriores, no es tan bueno, puesto que hay incidencia de muchas otras variables, incluyendo las analizadas posteriormente. La sonrisa es la expresión mejor detectada en exteriores mientras que la neutral y la sorpresa tienen un bajo porcentaje de detección.

El Gráfico 1-4 correspondiente a la prueba en ambientes externos de la Tabla 1-4 es:

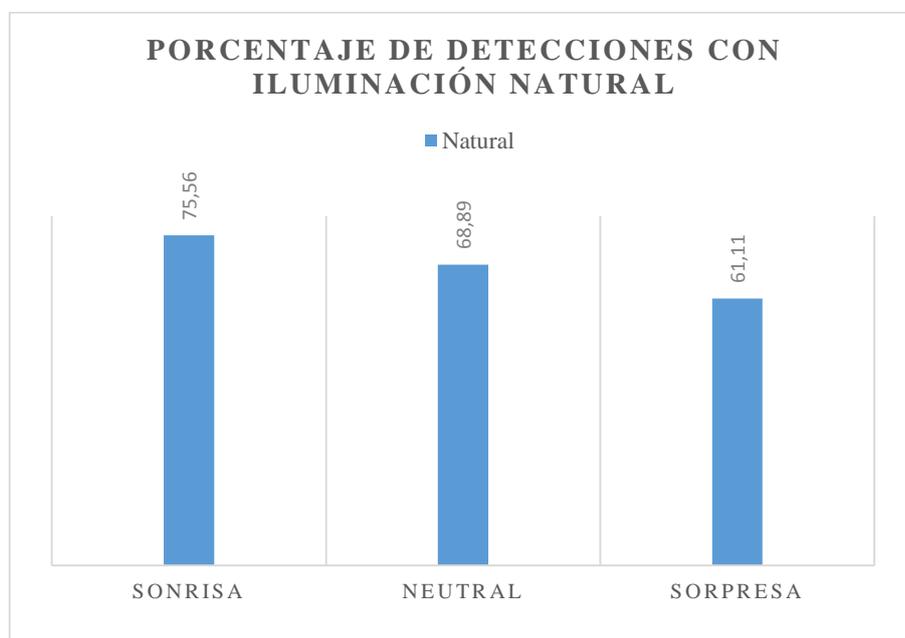


Gráfico 1-4: Resultados en porcentaje de detecciones con iluminación natural.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

La luz ambiental afecta claramente a la detección de las distintas expresiones faciales emocionales, siendo la expresión de sorpresa la que menor porcentaje de detección posee con 61,11%, la expresión neutral con 68,89% y finalmente la expresión de sonrisa con 75,56%.

En la siguiente prueba se tomaron 80 muestras de 8 personas correspondientes al segundo curso encuestado, en condiciones de iluminación artificial en el día, dentro de un aula aproximadamente a las 11h: 00 de la mañana, donde se probó las expresiones de sonrisa, sorpresa y neutral. La Tabla 2-4 muestra los resultados de las pruebas realizadas a la muestra.

Tabla 2-4: Resultados de detección con luz artificial.

DETECCIÓN CON LUZ ARTIFICIAL		
EXPRESIÓN	DETECTADAS	% DE DETECCIÓN
Sonrisa	55 expresiones	68,75 %
Neutral	60 expresiones	75 %
Sorpresa	59 expresiones	73,75 %

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

En la Tabla 2-4 se observa que las expresiones de neutral y sorpresa mejoraron su eficiencia de detección en un 6.11 % y 12.64 % respectivamente, mientras que la expresión de sonrisa bajó su porcentaje de detección en un 6.81%. El Gráfico 2-4 corresponde a los porcentajes de detección en las tres expresiones, natural, sorpresa y sonrisa.

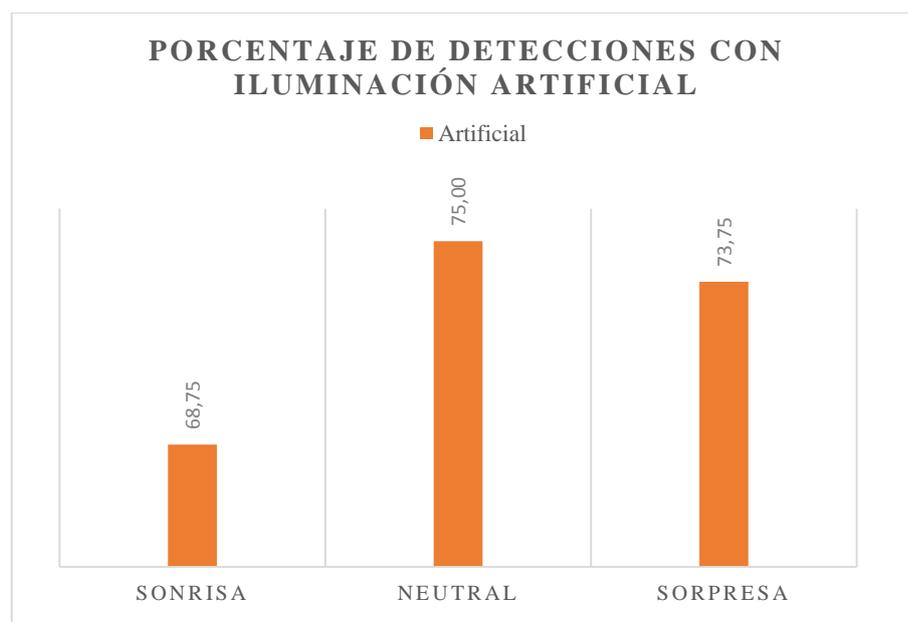


Gráfico 2-4: Resultados en porcentaje de detección con iluminación artificial.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Del análisis obtenido de la detección con iluminación artificial, para la expresión de sonrisa es de 68,75% de eficiencia, 75% para la expresión neutral y 73,75% para la expresión sorpresa. La prueba de eficiencia con respecto al tipo de iluminación, favorece a ambientes cerrados con luz artificial, detectando 7 expresiones de sonrisa, neutral y sorpresa de las 10 pruebas realizadas, obteniéndose un 70% de eficiencia. En la Tabla 3-4 se observa los porcentajes de detección con respecto a la iluminación en los ambientes tanto natural como artificial.

Tabla 3-4: Resumen de porcentajes de detección con respecto a la iluminación.

ILUMINACIÓN	DETECCIÓN DE SONRISA	DETECCIÓN DE NEUTRAL	DETECCIÓN DE SORPRESA
Natural	75,56 %	68,89 %	61,11 %
Artificial	68,75 %	75 %	73,7 %

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Del estudio realizado de la detección de expresiones con respecto a la iluminación tanto en el ambiente natural como artificial se pudo determinar que la expresión de sorpresa y neutral, funcionan de mejor forma en ambientes cerrados con luz artificial mientras que la expresión de sonrisa funciona mejor en ambientes externos con luz natural. El gráfico 3-4 muestra los porcentajes de detección de las expresiones con iluminación en los dos ambientes antes mencionados.

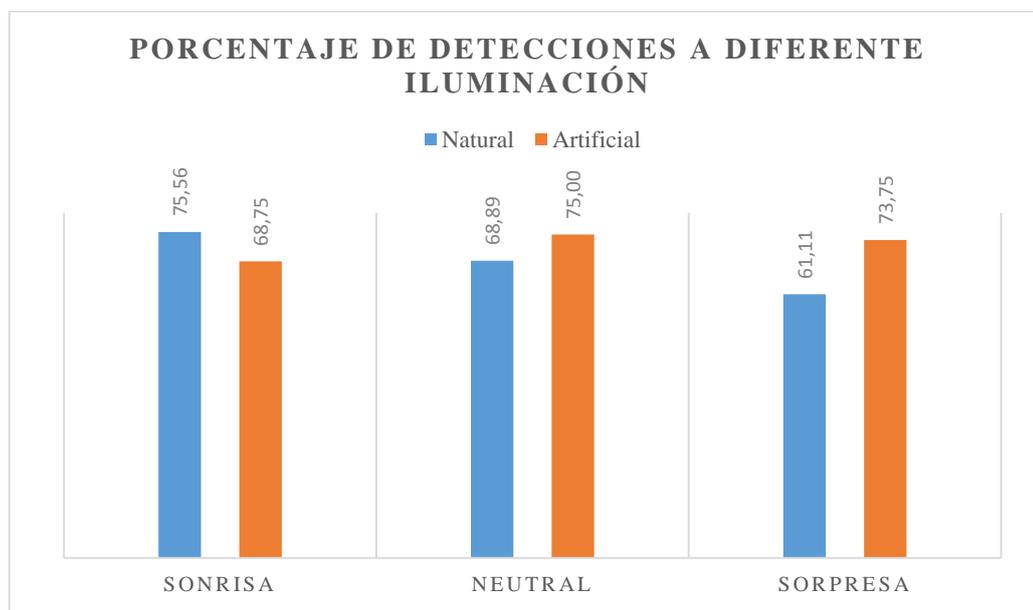


Gráfico 3-4: Porcentajes de detección de expresiones con iluminación natural y artificial.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

4.1.2 Eficiencia del dispositivo de acuerdo a la altura entre personas en una plática.

Dentro de las variables que pueden influir en la detección de expresiones tenemos la diferencia de estaturas entre dos personas en una conversación, para esto se ha realizado dos pruebas descritas a continuación:

- Cuando la persona que porta la gorra mide **más** que la persona que emite la emoción.
- Cuando la persona que porta la gorra mide **menos** que la persona que emite la emoción.

Para el primer caso, es decir cuando la persona que porta la gorra mide más que la persona que emite la emoción se realizaron 120 pruebas, distribuidas de la siguiente forma: 60 pruebas si la diferencia de altura está comprendida en un intervalo de 0 a 5 centímetros y 60 pruebas si la diferencia de altura está comprendida en un intervalo de 6 a 20 centímetros, obteniéndose los siguientes resultados como se muestra en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Resultados de detecciones de acuerdo a diferencias de estaturas (prueba 1).

INTERVALO	ACIERTOS SONRISA	ACIERTOS NEUTRAL	ACIERTOS SORPRESA
0-5 cm	52	43	45
6-20 cm	37	43	36

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Del análisis realizado se observa que se detectó una mayor cantidad de veces la expresión tanto neutral, de sorpresa y de sonrisa cuando no existe mucha diferencia de altura. La Tabla 5-4 muestra los porcentajes de eficiencia del dispositivo cuando la persona que porta la gorra mide más que la persona que emite la emoción.

Tabla 5-4: Porcentaje de eficiencia del dispositivo con diferencia de estaturas (prueba 1).

INTERVALO	SONRISA	NEUTRAL	SORPRESA
0-5 cm	86,67 %	71,67 %	75,00 %
6-20 cm	61,67 %	71,67 %	60,00 %

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Del estudio realizado se pueden observar que el mejor porcentaje de detección para una expresión es cuando la diferencia de estaturas no es mayor a 0,5 centímetros. Estos resultados se representan en el Gráfico 4-4:

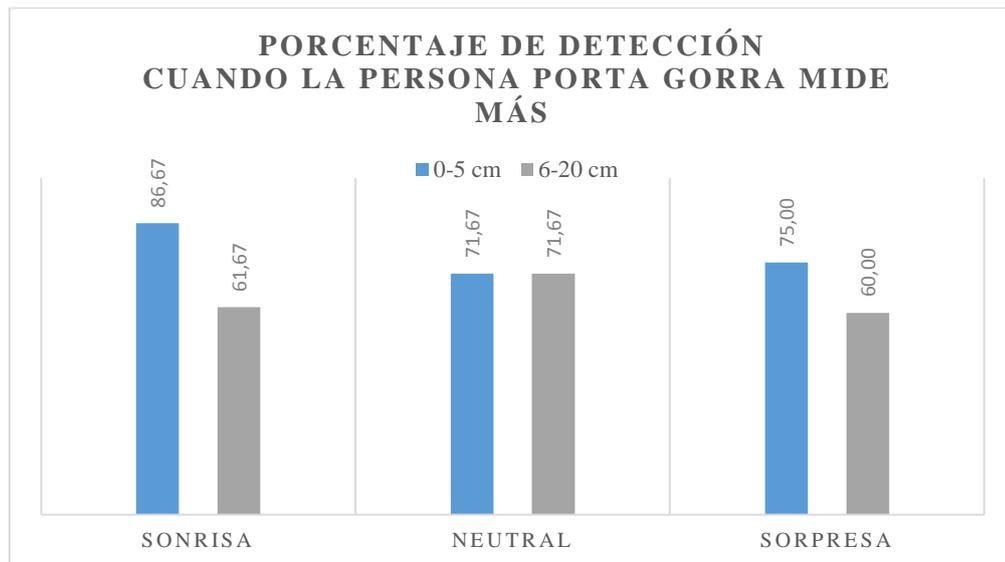


Gráfico 4-4: Porcentaje de detección de acuerdo a diferencias de estatura (prueba 1).

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

De acuerdo a los resultados obtenidos del Gráfico 4-4 se determina que la expresión de neutral se puede detectar de igual forma en ambas diferencias de estatura; mientras que, las expresiones de sonrisa y sorpresa mejoran su detección en un 25 % y 15 % respectivamente con diferencias de estatura menores a 0.5 cm cuando la persona que porta la gorra mide más que la persona que emite la emoción.

A continuación, se realizó pruebas de diferencias de estatura para cuando la persona que porta la gorra mide menos que la persona que emite la emoción. Para esto se utilizaron 50 pruebas con 5 personas, 20 pruebas se realizaron con diferencias de estaturas de 0 a 5 centímetros y 30 pruebas con diferencias de 6 a 20 centímetros. La Tabla 6-4 muestra los valores totales obtenidos de las pruebas.

Tabla 6-4: Resultados de detecciones de acuerdo a diferencias de estaturas (prueba 2).

INTERVALO	ACIERTOS SONRISA	ACIERTOS NEUTRAL	ACIERTOS SORPRESA
0-5 cm	12	17	16
6-20 cm	22	19	17

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

La Tabla 7-4 muestra los resultados del análisis realizado con los valores porcentuales.

Tabla 7-4: Porcentaje de eficiencia del dispositivo con diferencia de estaturas (prueba 2).

INTERVALO	SONRISA	NEUTRAL	SORPRESA
0-5 cm	60,00 %	85,00 %	80,00 %
6-20 cm	73,33 %	63,33 %	56,67 %

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Del estudio realizado se puede observar que el mejor porcentaje de detección para las expresiones de neutral y sorpresa es cuando las diferencias de estatura no es mayor a 0,5 centímetros. Estos resultados se representan en el Gráfico 5-4:

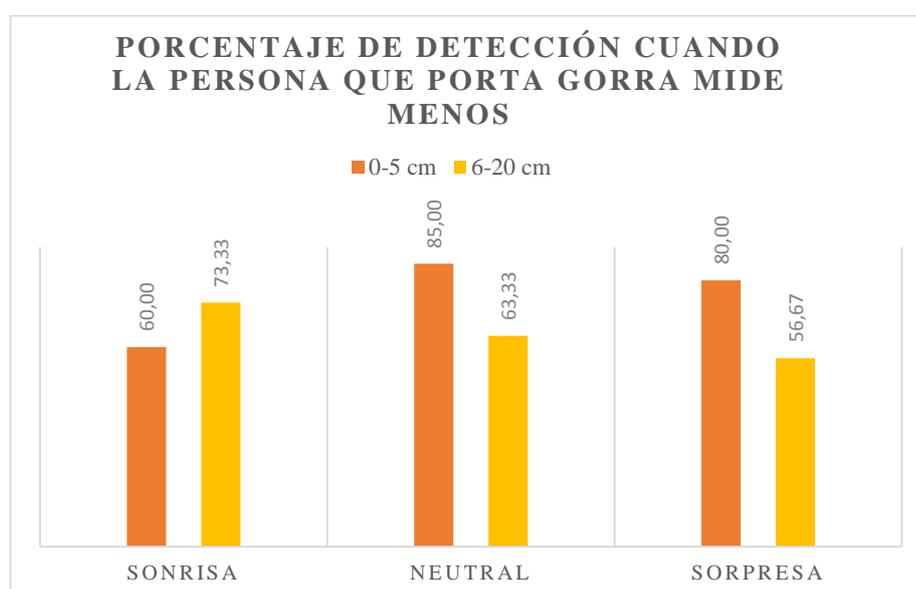


Gráfico 5-4: Porcentaje de detección de acuerdo a diferencias de estatura (prueba 2).

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

De acuerdo a los resultados obtenidos del Gráfico 5-4 se determina que la expresión de neutral se y sorpresa mejoran su detección en un porcentaje de 21,67 % y 23 % respectivamente con diferencias de estatura menores a 0.5 cm; mientras que la expresión de sonrisa mejoró su porcentaje de detección en 13.33 % para el intervalo de 6-20 cm, cuando la persona que porta la gorra mide menos que la persona que emite la emoción.

4.1.3 Eficiencia del dispositivo de acuerdo al nivel de batería.

Para determinar la eficiencia del dispositivo de acuerdo al nivel de batería se realizaron 170 muestras de 17 personas no videntes. De las cuales 50 pruebas se dieron en batería alta, 110 en batería media y 10 en batería baja, mostrando los resultados totales de detección de acuerdo a la Tabla 8-4:

Tabla 8-4: Resultados de detecciones con respecto al nivel de batería.

NIVEL DE BATERÍA	ACIERTOS SONRISA	ACIERTOS NEUTRAL	ACIERTOS SORPRESA
Alto	32	34	29
Medio	82	82	80
Bajo	9	6	5

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

Del análisis realizado en la Tabla 8-4 se obtuvo los porcentajes de detección en los niveles de batería alto, medio y bajo en la Tabla 9-4.

Tabla 9-4: Resultado en porcentajes de acuerdo al nivel de batería.

NIVEL DE BATERÍA	DETECCIÓN DE SONRISA	DETECCIÓN DE NEUTRAL	DETECCIÓN DE SORPRESA
Alto	64,00 %	68,00 %	58,00 %
Medio	74,55 %	74,55 %	72,73 %
Bajo	90,00 %	60,00 %	50,00 %

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

De los resultados obtenidos se puede determinar que los porcentajes de detección para el nivel de batería medio del prototipo tienden a ser iguales para todas las expresiones. El gráfico 6-4 muestra los porcentajes de detección de acuerdo al nivel de batería alto y medio.

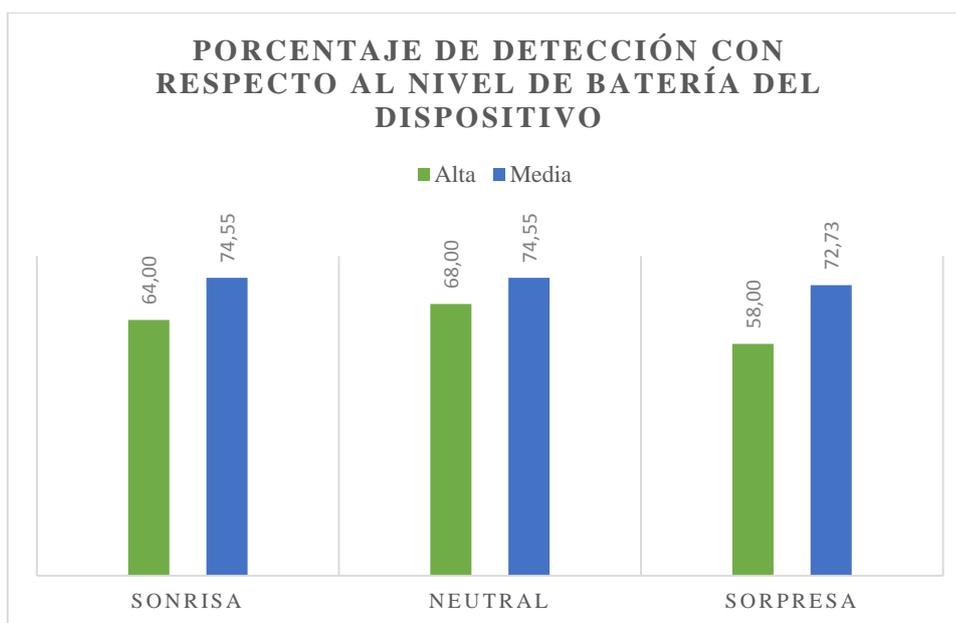


Gráfico 6-4: Porcentaje de detección de acuerdo al nivel de batería.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

El porcentaje de detección de las expresiones de sonrisa, neutral y sorpresa mejoran en un 10.55%, 6.55% y 14,73% respectivamente de acuerdo al nivel de batería medio, con un promedio de detección para las tres expresiones del 70 %. El nivel de batería bajo no se ha incluido en el gráfico ya que sólo se pudo realizar pruebas sobre una persona no vidente.

4.1.4 *Aceptación del prototipo electrónico.*

Dentro de las encuestas realizadas a las personas no videntes, maestros y estudiantes de la Unidad Educativa Dr. Luis Benavides para determinar el nivel de aceptación del prototipo electrónico, se realizaron preguntas con opciones de selección múltiple para su posterior tabulación y obtención de resultados que puedan avalar el prototipo y mejoras en un futuro. Las preguntas formuladas con sus respectivas opciones de respuesta, para medir el nivel de aceptación fueron las siguientes:

- ¿Qué aspecto le atraen del producto?
 - a) Fácil uso
 - b) Simplicidad
 - c) Diseño
 - d) Eficiencia
 - e) Otra. ¿Cuál?

- ¿Qué opinión le merece al prototipo?
 - a) Muy interesante
 - b) Interesante
 - c) Neutro
 - d) Poco interesante
 - e) Nada interesante

- Díganos ¿cuál o cuáles son sus razones por las que no usaría el producto?
 - a) No lo necesito
 - b) Es aburrido
 - c) Complicado
 - d) Su peso es excesivo
 - e) Puede detectar pocas emociones
 - f) Poca vida útil de la batería

- ¿Qué emociones añadiría para su detección?

A continuación, se ha analizado las respuestas obtenidas de las personas no videntes, a fin de determinar el nivel de aceptación del prototipo electrónico.

4.1.4.1 Aspecto que atrae del producto

Un total de 17 personas fueron consultadas, las cuales eligieron las respuestas de acuerdo a su experiencia con el prototipo. La Tabla 10-4 muestra los resultados sobre qué aspectos les atrajeron del producto.

Tabla 10-4: Resultados de frecuencias del aspecto que les atrae del producto.

¿Qué aspecto le atrae del producto?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Fácil uso	8 personas	47,1%	47,1%	47,1%
	Simplicidad	1 persona	5,9%	5,9%	52,9%
	Diseño	3 personas	17,6%	17,6%	70,6%
	Eficiencia	5 personas	29,4%	29,4%	100,0%
	Total	17 personas	100,0%	100,0%	

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

De acuerdo al análisis de frecuencias realizado en la Tabla 10-4 se obtuvo el Gráfico 7-4 sobre los aspectos que les atrae del producto.

¿Qué aspecto le atrae del producto?

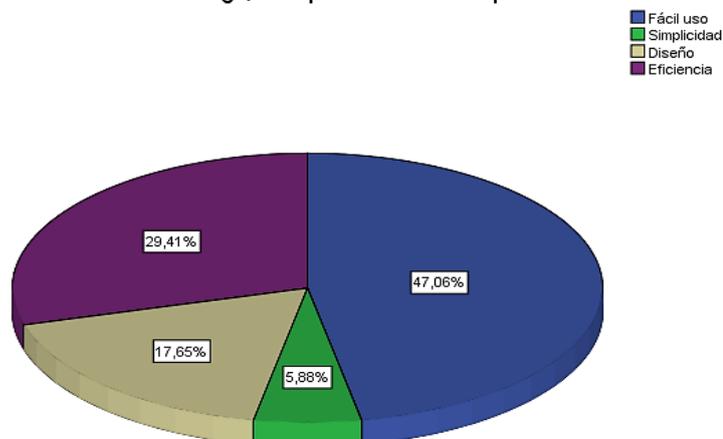


Gráfico 7-4: Porcentaje de selección sobre el aspecto del producto.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

La mayor parte de la población consultada dijo que le atrae más el fácil uso con el 57% seguido de la eficiencia con el 29.41%, el diseño con el 17.65% y la simplicidad con el 5.88%.

4.1.4.2 Opinión que le merece al prototipo.

Dentro de la opinión que le merece el prototipo se tomaron en cuenta opciones como: muy interesante, interesante, neutro, poco interesante y nada interesante, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 11-4:

Tabla 11-4: Resultado de la opinión sobre el producto.

¿Qué opinión le merece al prototipo?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Muy interesante	6 personas	35,3%	35,3%	35,3%
	Interesante	9 personas	52,9%	52,9%	88,2%
	Neutro	1 persona	5,9%	5,9%	94,1%
	Poco interesante	1 persona	5,9%	5,9%	100,0%
	Total	17 personas	100,0%	100,0%	

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

De acuerdo al análisis de frecuencias realizado en le Tabla 11-4 se obtuvo el Gráfico 8-4 sobre la opinión que le merece al prototipo.



Gráfico 8-4: Porcentaje de selección sobre la opinión del producto.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

El 52,94% de personas dijeron que el prototipo les parece interesante, mientras que el 35,29% de personas dijeron que les parecía muy interesante y el 5.88% les pareció neutro y poco interesante.

4.1.4.3 Razones por las que no usaría el producto.

Para las razones por las que no usaría el producto se tuvo como respuestas, las siguientes: no lo necesito, es complicado, puede detectar pocas emociones, su peso es excesivo, es aburrido o poca vida útil de la batería. De acuerdo a las 17 personas se obtuvieron los resultados de acuerdo a la Tabla 12-4:

Tabla 12-4: Resultado razones por las que no usaría el producto.

¿Cuáles son sus razones por las que no usaría el producto?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	No lo necesito	1 persona	5,9%	5,9%	5,9%
	Complicado	1 persona	5,9%	5,9%	11,8%
	Su peso es excesivo	4 personas	23,5%	23,5%	35,3%
	Puede detectar pocas emociones	11 personas	64,7%	64,7%	100,0%
	Total	17 personas	100,0%	100,0%	

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

De acuerdo al análisis de frecuencias realizado en le Tabla 12-4 se obtuvo el Gráfico 9-4 sobre cuáles podrían ser las razones por las que no usaría el producto.

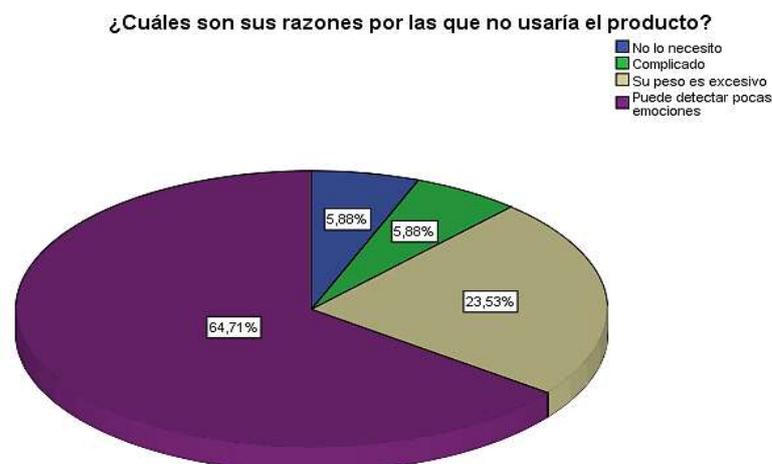


Gráfico 9-4: Porcentaje selección sobre la razones de no uso del producto.

Realizado por: Angel Ocaña, 2017.

De acuerdo al gráfico el 64,71% de personas dijo que no usaría el prototipo porque puede detectar pocas emociones seguido del 23,53% de personas dijo que no usaría el prototipo porque su peso es muy excesivo y el 5.88% para ambos casos dijo que no lo necesita y es complicado.

4.1.4.4 Emociones que deberían añadirse.

Dentro de las emociones que las personas encuestadas desean que se añada están: enojo, tristeza, miedo, vergüenza y disgusto. Siendo la expresión de enojo la que mayor número de personas deseaban que se añada, siendo 12 personas de 17 encuestadas quienes solicitaron incluir la expresión de enojo.

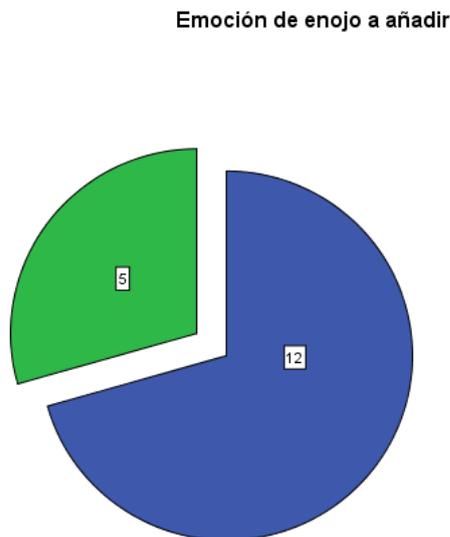


Gráfico 10-4: Expresión de enojo a incluir
Realizado por: Angel Ocaña, 2017

4.2 Potencia consumida por el prototipo electrónico.

Para medir la potencia de consumo de la gorra de visión artificial se realizó un estudio del nivel máximo de corriente consumido por la Raspberry Pi 3 y por el circuito de control de luz ambiental. La suma de estas dos componentes dará como resultado la corriente total circulante por el circuito. Para obtener la potencia total del circuito se utilizó la siguiente fórmula:

$$P = V \cdot I$$

Donde P es la potencia consumida por el circuito, V es el voltaje de la fuente e I es la corriente total del circuito.

Para medir la cantidad de corriente que utiliza la Raspberry se procedió a utilizar el multímetro conectándolo en serie con el cable positivo que va desde la fuente a la placa. Obteniéndose el valor de corriente máximo I_R de 630 mA.

$$I_R = 630 [mA]$$

Para medir la cantidad de corriente que utiliza el circuito de control de luz ambiental se procedió a utilizar el multímetro conectándolo en serie con el cable positivo que va desde la fuente a la PCB. Obteniéndose el valor de corriente máximo I_L de 104,5 mA.

$$I_L = 104,5 [mA]$$

Con los valores de las corrientes máximas utilizadas por el prototipo se procedió a calcular la corriente total mediante la ley de corrientes del nodo:

$$\begin{aligned} I_T &= I_R + I_L \\ I_T &= 630 [mA] + 104,5 [mA] \\ I_T &= 734,5 [mA] \end{aligned}$$

Donde I_T es la corriente total del circuito; I_R es la corriente en la Raspberry e I_L es la corriente en el circuito de control de luz. De acuerdo a los resultados del estudio de corrientes que circulan por el prototipo electrónico y con un valor de medición de 6,14 V en la fuente, se calculó la potencia utilizada por la gorra de visión artificial con los siguientes resultados:

$$\begin{aligned} P &= V \cdot I \\ P &= V \cdot I_T \\ P &= 6,14 [V] \cdot 734,5 [mA] \\ P &= 4,51 [W] \end{aligned}$$

4.3 Estudio de costos.

4.3.1 Costos directos de fabricación.

Dentro de los costos directos de fabricación tenemos todos aquellos que forman parte de la construcción e implementación del prototipo electrónico, todos los valores correspondientes a cada parte de la gorra de visión artificial se informan en la Tabla 13-4:

Tabla 13-4: Costos directos de fabricación del prototipo electrónico.

Cantidad	Descripción	Precio (USD)
1	Raspberry Pi 3 Tipo B	68,00
1	LED de gorra	9,00
1	Micro SD Sony	14,90
1	Cámara Raspberry Pi [5MP]	33,00
1	Power Bank 6000 [mA]	25,29
2	Diodo 1N4148	0,30
1	IRF 3205	1,75
1	Cable plano Flexible 16 vías	2,00
1	L293 D Puente H.	2,50
1	Diodo 1N5399	0,20
1	Gorra	10,00
4	Impresiones 3D	24,52
1	Micro-motor de vibración	2,00
1	Recubrimiento para Gorra	5,00
13	Tornillos	0,65
5	Tuercas	0,25
2	Fotoceldas	0,50
1	Impresión de placa	1,00
1	Baquelita cobre	1,35
2	Ácido Cloruro Férrico	2,00
8	Borneras	1,60
1	Dip Switch 2 pines	0,20
1	Fusible 2 Amperios	0,15
1	Portafusible	0,10
8	Cables de Arduino	0,80
2	Metros cable # 20 AWG	1,60
1	Switch “cangrejo” 6 pines	0,50
2	Cables USB	8,00
2	Carcasas de cartón	0,50
2	Sócalos	40,00
1	CI 555	0,35
1	Costuras sobre gorra.	5,00
	TOTAL	217,16

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

4.3.2 Costos indirectos de fabricación.

En los costos indirectos de fabricación se han colocado todos los valores correspondientes a transporte, alimentación, impresiones, gastos varios, etc. Que se realizaron para el proyecto de titulación, detallados en la siguiente tabla:

Tabla 14-4: Costos indirectos de fabricación del prototipo electrónico.

Cantidad	Descripción	Precio (USD)
1	Teclado Genius	11,90
1	Convertidor VGA a HDMI	13,50
1	Cinta doble faz	2,46
6	Diodos LED alto brillo	1,20
1	Mouse	7,00
1	Pantalla VGA	80,00
1	Taladro	80,00
1	Broca	2,00
1	Computador HP Intel Core i5	750,00
1	Cámara Sony 14MP	200,00
--	Transporte	50,00
--	Alimentación	75,00
--	Impresiones	100,00
--	Gastos Varios	200,00
	TOTAL	1573,06

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

4.3.3 Costos totales.

Los costos totales quedan representados por la siguiente tabla:

Tabla 15-4: Costos totales del prototipo electrónico.

Costos directos	217,16
Costos indirectos	1573,06
TOTAL (USD)	1790,22

Realizado por: Angel Ocaña, 2017

CONCLUSIONES

- Se ha diseñado un dispositivo capaz de detectar expresiones de sonrisa, sorpresa y neutral con el fin de mejorar la interacción emocional y la comunicación no verbal entre personas no videntes.
- Para el entrenamiento de imágenes se utilizaron expresiones emocionales que resultan más evidentes en el rostro de una persona para su detección, como lo es la expresión de sonrisa, neutral y sorpresa.
- El dispositivo es capaz de detectar expresiones faciales y transferirlas por señales de vibración en tiempo real para ser utilizado en una conversación.
- Se ha realizado encuestas y pruebas a fin de medir la eficiencia del dispositivo y el grado de aceptación en las personas con discapacidad visual.
- El porcentaje de eficiencia de reconocimiento en ambientes oscuros con iluminación artificial fue aproximadamente del 70 % siendo estas condiciones de luz mejores para la detección.
- Los ambientes con mucha luz natural no permiten un correcto reconocimiento de los rasgos faciales provocando fallas en la detección con un porcentaje aproximado del 60%
- De las imágenes recolectadas para el entrenamiento de la expresión sorpresa, sólo el 49,69% de imágenes fueron utilizadas, debido a problemas con los individuos para realizar la expresión correctamente.
- Se eligió la emoción sorpresa ya que fue una de las expresiones con más alta cantidad de imágenes relativamente iguales, la expresión de sorpresa sólo se reconocerá si no se muestra la parte de los dientes y se tiene una apertura de más de 2 centímetros de la boca de acuerdo al 49,69% de imágenes utilizadas para el entrenamiento.
- Dentro del diseño de software se programó que la expresión neutral se reconozca cada 7 fotogramas, con el fin de que no permanezca encendido el micro-motor de vibración.
- El peso de la gorra puede generar cansancio al utilizarla por un período de más de 3 horas debido a la batería, la Raspberry y la placa del circuito colocados encima de la gorra.
- El hardware representó un limitante para el procesamiento de imagen en tiempo real, ya que si se desea captar objetos o rostros a distancias mayores a medio metro se necesita mejor resolución en la captura de la imagen
- La distancia para reconocimiento establecida varía entre los 20cm a 60cm por la resolución baja del video.

- El control de luz mediante la fotocelda y el diodo de alto brillo, sirvió en su mayor parte para controlar el nivel de sombras que existen en el rostro de una persona, por cuanto puede existir mucha iluminación de un lado del rostro y del otro muy poca, confundiendo inclusive a la detección del rostro.
- Para una primera prueba entre personas no videntes es necesario experimentar la detección de las distintas emociones realizando varias expresiones hasta poder obtener los rasgos faciales de reconocimiento adecuados.
- La visión artificial constituye una gran herramienta para el desarrollo de aplicaciones y dispositivos, a fin de mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual.
- La interacción emocional de personas no videntes es un campo escasamente explorado que mantiene un nivel bajo de comunicación emocional no verbal en gran parte de la población mundial.
- Dentro del grado de aceptación del producto para con las personas no videntes encuestadas, el 88.23% de personas mencionaron que el dispositivo es interesante.
- De acuerdo al estudio de potencia realizado se tuvo como resultado que el dispositivo electrónico consume 4,51 W.
- La fuente de alimentación provee 6Ah de manera que para una corriente consumida por el prototipo de 734,5 mA, la batería mantendrá funcionando al dispositivo por un tiempo aproximado de 8 horas continuas

RECOMENDACIONES

- Para obtener mejores resultados en la detección se recomienda utilizar el dispositivo en interiores por la cantidad de ruido visual en exteriores
- Para detectar el rostro es necesario mover la cabeza hasta obtener una vibración, a fin de saber dónde se localiza la otra persona.
- Cuando se realizaron las pruebas del dispositivo en personas no videntes, se pudo evidenciar, que la mayoría de personas con discapacidad visual total no tenían referencia de cómo es un rostro sorprendido, por lo cual es necesario instruirles para aumentar sus expresiones.
- Para la detección de las expresiones faciales se debe evitar movimientos bruscos y variaciones en el ángulo de captura de imagen con la cámara.
- Los rostros deben estar frontales a la cámara sin cambios mayores de orientación.
- Dentro de una entrevista realizada al maestro de la Unidad Educativa Dr. Luis Benavides Lcdo. Kléber Guerra mencionaba que es oportuno apoyar este tipo de proyectos e iniciativas que tienden a mejorar las condiciones de vida e inclusión social para aquellas personas con discapacidad.

BIBLIOGRAFÍA

Autonics. "*Sensores fotoeléctricos*". [En línea] [Citado el: 10 de Octubre de 2017]. Disponible en: <http://dominion.com.mx/descargas/sensores-fotoelectricos.pdf>.

Barros, Jota. "*Imágenes sobrepuestas, subexpuestas y correctamente expuestas*". [En línea] 2014. [Citado el: 10 de Octubre de 2017]. Disponible en: <http://rubixephoto.com/2014/08/05/imagenes-subexpuestas-sobrepuestas-y-correctamente-expuestas/>.

Blaszczak, Pete. "*Raspberry Pi B case 1*". [En línea] 25 de Septiembre de 2014. [Citado el: 2017 de Octubre de 10]. Disponible en: <https://grabcad.com/library/raspberry-pi-b-case-1>.

Cebek. "*C-6070 Datasheet*". [En línea] [Citado el: 7 de Octubre de 2017]. Disponible en: <http://www.electan.com/datasheets/cebek/CE-C6070.pdf>.

Dassault Systemes. "*SolidWorks: Software para la educación e ingeniería*". [En línea] SolidWork Cor. Web Site, 2017. [Citado el: 10 de Octubre de 2017]. Disponible en: http://www.solidworks.es/sw/engineering-education-software.htm?scid=hp_es_ql_edu.

Doxygen. "*OpennCV Open source computer vision*". [En línea] 16 de Septiembre de 2017. Disponible en: http://docs.opencv.org/trunk/d7/d8b/tutorial_py_face_detection.html.

EcuRed. "*Software Fritzing*". [En línea] [Citado el: 15 de Octubre de 2017]. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Fritzing>.

Edmond, Marc y Picard, Dominique. "*La Interacción Social*". Paris: Ediciones Paidós, 1992.

Electronilab. "*Cámara Raspberry Pi 5mp*". [En línea] Electronilab, 2016. [Citado el: 7 de Octubre de 2017]. Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/camara-para-raspberry-pi-5mp/>.

Enciclopedia de Clasificaciones. "*Tipos de baterías*". [En línea] 2017. [Citado el: 15 de Octubre de 2017]. Disponible en: <http://www.tiposde.org/cotidianos/420-tipos-de-baterias/>.

Equipo de desarrollo OpenCV. "*Cascades Training*". [En línea] 30 de Septiembre de 2017. [Citado el: 27 de Septiembre de 2017]. Disponible en: http://docs.opencv.org/2.4/doc/user_guide/ug_traincascade.html.

Equipo de OpenCV. "*Acerca de OpenCV*". [En línea] 2017. [Citado el: 27 de Septiembre de 2017]. Disponible en: <http://opencv.org/>.

Fernández García, Nicolás. "*Visión Artificial*". [En línea] 2012. [Citado el: 12 de Octubre de 2017]. Disponible en: <http://www.uco.es/users/ma1fegan/2011-2012/vision/Temas/Vision-artificial.pdf>.

GearBest. "*Headlights*". [En línea] 2017. [Citado el: 8 de Octubre de 2017]. Disponible en: https://es.gearbest.com/headlights/pp_662022.html?wid=23.

Gómez Alba, Marisa. "*La experiencia estética. La mirada de un antropólogo sobre el arte*". 2000. pág. Madrid.

González, Daniel. "*Software libre en los institutos*". Cataluña. 2004.

Gonzalez Garcia, L. "*Psicomotricidad para deficientes visuales (4-7 años)*". Salamanca. 1990.

GrabCAD. "*Diseños CAD*". [En línea] GrabCAD Community, 25 de Septiembre de 2014. [Citado el: 2 de Octubre de 2017] Disponible en: <https://grabcad.com/>.

GreenPeace Argentina. "*Diodos LED*". [En línea] 2008. [Citado el: 15 de Octubre de 2017] Disponible en: <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2008/4/leds.pdf>.

Harvey, Adam. "*Adam Harvey Explains Viola-Jones Face Detection*". [entrev.] Greg Borenstein. 2012.

International Rectifier. "*IRF3205 Datasheet*". California. 2001.

Jean, Christophe y Fillion, Robin. "*Librería CMake*". [En línea] Python Software Foundation, 2016. Disponible en: <https://pypi.python.org/pypi/cmake/>.

Krishna, et al. "*iCARE interaction assistant*". 2005. págs. 216-217.

Kumar, Ashnil. "*Raspberry Pi camera case 1*". [En línea] 17 de Octubre de 2015. [Citado el: 2 de Octubre de 2017]. Disponible en: <https://grabcad.com/library/raspberry-pi-camera-case-1>.

Labcenter Electronics. "*About Proteus Design Suite*". [En línea] Labcenter Electronics Ltd., 2017. [Citado el: 15 de Octubre de 2017]. Disponible en: <https://www.labcenter.com/>.

Organización Mundial de la Salud. "*Clasificación Internacional de las Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías*". Ginebra. 1999.

Penalva, Javier. "*Alternativas a la Raspberry Pi: 7 modelos de miniordenadores*". [En línea] Xtaka, 26 de Abril de 2016. [Citado el: 15 de Octubre de 2017]. Disponible en: <https://www.xataka.com/especiales/alternativas-a-la-rasberri-pi-7-modelos-de-miniordenadores-baratos-en-los-que-deberias-pensar>.

Pisarev. "*Haar- cascade fontral face default*". [En línea] 19 de Diciembre de 2013. [Citado el: 2 de Octubre de 2017]. Disponible en: https://github.com/opencv/opencv/blob/master/data/haarcascades/haarcascade_frontalface_default.xml.

Platero Dueñas, Carlos. "*Apuntes de Visión Artificial*". España. 2009.

Puttemans, Steven. "*Haar-cascade smile*". [En línea] 13 de Jun de 2017. [Citado el: 2 de Octubre de 2017]. Disponible en: https://github.com/opencv/opencv/blob/master/data/haarcascades/haarcascade_smile.xml.

PyPa. "*Librería Virtualenv para Pyhton*". [En línea] The Python Software Foundation, 2014. Disponible en: <https://virtualenv.pypa.io/en/latest/reference/>.

Python Software Foundation. "*Python*". [En línea] Python Software Foundation Web Site, 2017. [Citado el: 12 de Octubre de 2017]. Disponible en: <http://docs.python.org.ar/tutorial/3/real-index.html>.

Raspberry PI Foudation. "*Pines GPIO de Raspberry Pi*". [En línea] 2017. [Citado el: 2 de Octubre de 2017]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio-plus-and-raspi2/>.

Raspberry Pi Foundation. "*Módulo de cámara Pi versión 2*". [En línea] Raspberry Pi Foundation web site, 2017. [Citado el: 2 de Octubre de 2017]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/products/camera-module-v2/>.

RealPython. "*Python: virtual environments*". [En línea] Real Python Web site, 28 de Marzo de 2016. [Citado el: 2 de Octubre de 2017]. Disponible en: <https://realpython.com/blog/python/python-virtual-environments-a-primer/>.

Rizo García, Martha. "*La interacción y la comunicación desde los enfoques de la psicología social y la sociología fenomenológica. Breve exploración teórica*". México. 2006.

Rosebrock, Adrian. "*Install Guide Raspberry Pi 3 Raspbian Jessie with OpenCV 3*". [En línea] Py Image Search Web site, 18 de Abril de 2016. [Citado el: 25 de Septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.pyimagesearch.com/2016/04/18/install-guide-raspberry-pi-3-raspbian-jessie-opencv-3/>.

Rosebrock, Adrian. "*Where Did Sift and Surf go in OpenCV 3*". [En línea] Py Image Search Web site, 16 de Julio de 2015. [Citado el: 25 de Septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.pyimagesearch.com/2015/07/16/where-did-sift-and-surf-go-in-opencv-3/>.

Sepúlveda, Magdalena y Silva, Carolina. "*Informe de Situación Actual y Estado del Arte*". Santiago. 2014.

SGS-Thomson Microelectronics. "*Circuito Integrado L2913D*". [En línea] Junio de 1996. [Citado el: 9 de Octubre de 2017]. Disponible en: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22432/STMICROELECTRONICS/L293D.html>.

SINC. "*Las personas no videntes perciben el sentido del tacto con mayor rapidez que las personas videntes*". [En línea] Agencia SINC, 26 de Octubre de 2010. [Citado el: 25 de Septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.agenciasinc.es/Noticias/Las-personas-ciegas-perciben-el-tacto-con-mas-rapidez-que-las-videntes>.

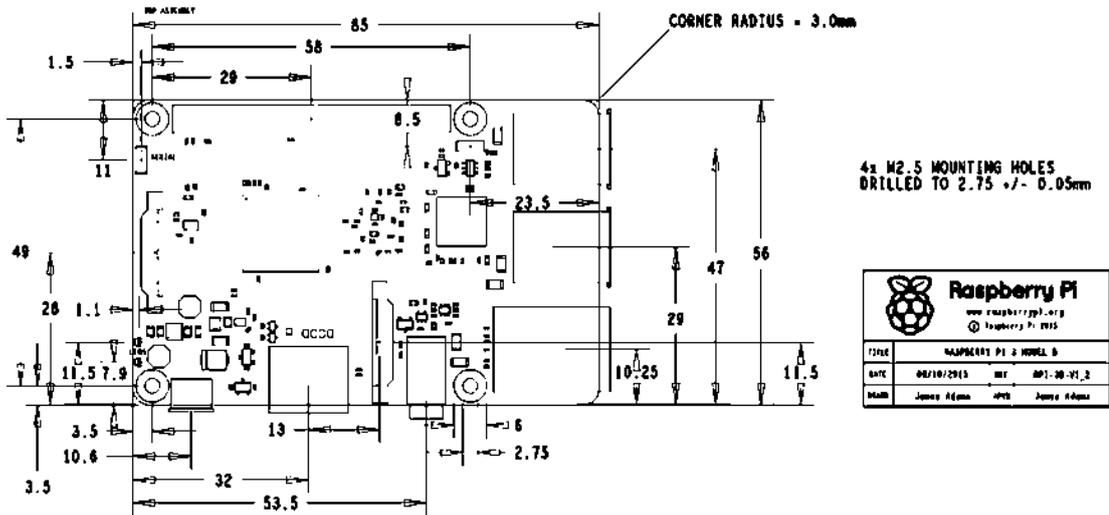
Terven, Juan, Salas, Joaquín y Raducanu, Bogdan. "*Estado del Arte en Sistemas de Visión Artificial*". 2013. pág. 4.

Vaquero, J.L. "*Aspectos sobre las Actividades Acuáticas para Personas con Discapacidad Visual*". Madrid.

Viola, Paul y Jones, Michael. *"Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple"*.
2001.

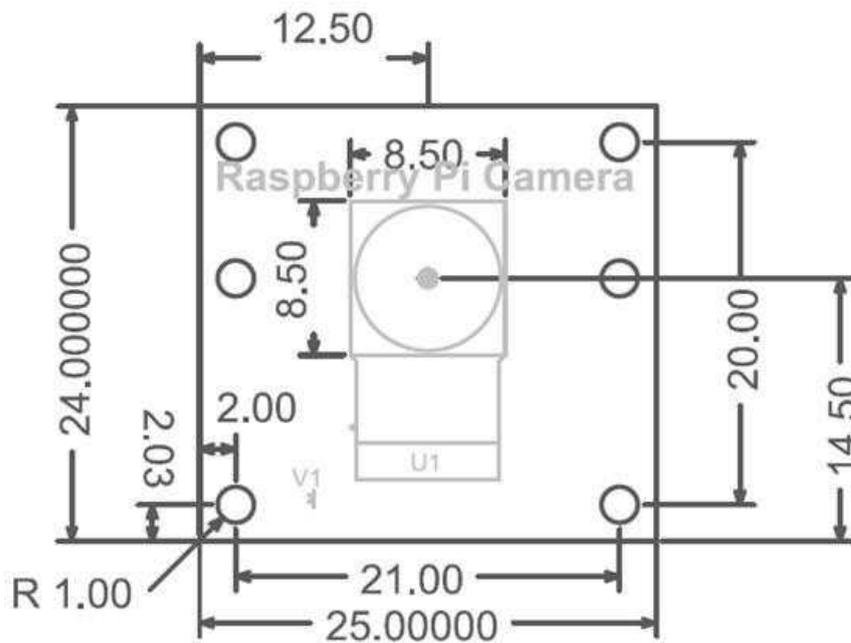
ANEXOS

Anexo A: Dimensiones de la Raspberry Pi 3



Fuente: Raspberry Pi Foundation, 2017

Anexo B: Dimensiones de la cámara Raspberry Pi versión 1.



Fuente: Arducam, 2015

Anexo C: Encuesta realizada a personas con discapacidad visual.

ENCUESTA DE ACEPTACIÓN DEL “PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA LA INTERACCIÓN EMOCIONAL DE PERSONAS NO VIDENTES”

Encuestado N° _____

DATOS SOBRE EL ENCUESTADO:

- Género:

Masculino		Femenino	
-----------	--	----------	--

- Edad

Adulto		Adolecente		Niño	
--------	--	------------	--	------	--

- Grado de discapacidad.

Parcial		Total	
---------	--	-------	--

CONDICIONES DE PRUEBA DEL EQUIPO

- Tipo de iluminación

Natural día.		Artificial día.		Artificial noche.	
--------------	--	-----------------	--	-------------------	--

- Nivel de batería

Alta		Media		Baja	
------	--	-------	--	------	--

- Altura entre personas conversando

Altura de la persona que porta el dispositivo.	
Altura de la persona a determinar la emoción.	

EFICIENCIA DEL DISPOSITIVO.

Número de pruebas para expresión de sonrisa.	
Número de detecciones de la expresión de sonrisa realizadas por el dispositivo y por el usuario del dispositivo.	

Número de pruebas para expresión de neutral.	
Número de detecciones de la expresión neutral realizadas por el dispositivo y por el usuario del dispositivo.	

Número de pruebas para expresión de sorpresa.	
Número de detecciones de la expresión de sorpresa realizadas por el dispositivo y por el usuario del dispositivo.	

GRADO DE ACEPTACIÓN.

- ¿Qué aspecto le atraen del producto?

Fácil uso	
Simplicidad	
Diseño	
Eficiencia	
Otra. ¿Cuál?	

- ¿Qué opinión le merece al prototipo?

Muy interesante	
Interesante	
Neutro	
Poco interesante	
Nada interesante	

- Díganos ¿cuál o cuáles son sus razones por las que no usaría el producto?

No lo necesito	
es aburrido	
complicado	
su peso es excesivo	
puede detectar pocas emociones	
poca vida útil de la batería	

- ¿Qué emociones añadiría para su detección?
-

Anexo D: Datos de las encuestas realizadas

	Género	Edad	Grado de escolaridad	Iluminación	Batería	Altura gorra	Altura emoc	Pruebas sonrisa	Sonrisas detectadas	Pruebas neutral	Neutral detectado	Pruebas sorpresa	Sorpresa detectada	Aspecto atrae
1	Femenino	Adolecente	Total	Natural día	Alta	1,50	1,60	10	8	10	7	10	6	Eficiencia
2	Femenino	Adolecente	Total	Natural día	Alta	1,60	1,50	10	7	10	9	10	5	Fácil uso
3	Femenino	Adulto	Total	Natural día	Alta	1,60	1,40	10	5	10	5	10	5	Fácil uso
4	Femenino	Adolecente	Total	Natural día	Alta	1,40	1,60	10	4	10	4	10	4	Fácil uso
5	Masculino	Adulto	Total	Natural día	Alta	1,61	1,65	10	8	10	9	10	9	Eficiencia
6	Masculino	Adolecente	Total	Natural día	Media	1,55	1,61	10	10	10	8	10	7	Diseño
7	Masculino	Adulto	Total	Artificial día	Media	1,61	1,55	10	8	10	6	10	7	Diseño
8	Masculino	Adolecente	Total	Natural día	Media	1,65	1,60	10	10	10	6	10	5	Fácil uso
9	Femenino	Adolecente	Total	Artificial día	Media	1,55	1,50	10	9	10	9	10	9	Fácil uso
10	Femenino	Niño	Parcial	Artificial día	Media	1,40	1,45	10	4	10	8	10	7	Eficiencia
11	Masculino	Niño	Total	Artificial día	Media	1,45	1,40	10	7	10	7	10	8	Fácil uso
12	Masculino	Adolecente	Parcial	Artificial día	Media	1,55	1,55	10	10	10	7	10	9	Eficiencia
13	Femenino	Adolecente	Total	Artificial día	Media	1,60	1,50	10	3	10	8	10	4	Fácil uso
14	Femenino	Niño	Total	Artificial día	Media	1,60	1,40	10	6	10	8	10	7	Simplicidad
15	Masculino	Niño	Parcial	Artificial día	Media	1,50	1,40	10	8	10	7	10	8	Eficiencia
16	Femenino	Adolecente	Total	Natural día	Media	1,55	1,55	10	7	10	8	10	9	Diseño
17	Femenino	Adulto	Parcial	Natural día	Baja	1,65	1,63	10	9	10	6	10	5	Fácil uso
	Aspecto atrae	Opinión merece	Razones no usar prod	Tristeza	Disgusto	Vergüenza	Miedo	var	var	var	var	var	var	var
1	Eficiencia	Interesante	Puede detectar pocas emociones	Sí	No	No	No							
2	Fácil uso	Muy interesante	Puede detectar pocas emociones	Sí	No	No	No							
3	Fácil uso	Muy interesante	Complicado	Sí	No	No	No							
4	Fácil uso	Poco interesante	Puede detectar pocas emociones	No	No	Sí	No							
5	Eficiencia	Interesante	Puede detectar pocas emociones	Sí	No	No	No							
6	Diseño	Interesante	Su peso es excesivo	Sí	No	No	No							
7	Diseño	Muy interesante	Puede detectar pocas emociones	Sí	No	No	Sí							
8	Fácil uso	Interesante	Puede detectar pocas emociones	Sí	No	No	Sí							
9	Fácil uso	Neutro	Puede detectar pocas emociones	No	Sí	No	No							
10	Eficiencia	Muy interesante	Puede detectar pocas emociones	Sí	No	Sí	No							
11	Fácil uso	Interesante	Su peso es excesivo	Sí	No	No	No							
12	Eficiencia	Interesante	Puede detectar pocas emociones	No	No	No	No							
13	Fácil uso	Interesante	Su peso es excesivo	Sí	No	Sí	No							
14	Simplicidad	Interesante	Su peso es excesivo	No	No	No	No							
15	Eficiencia	Muy interesante	No lo necesito	Sí	No	No	No							
16	Diseño	Muy interesante	Puede detectar pocas emociones	Sí	No	Sí	No							
17	Fácil uso	Interesante	Puede detectar pocas emociones	No	Sí	No	No							

Anexo E: Fotografías a estudiantes y maestro no videntes de la Unidad Educativa Dr. Luis Benavides utilizando el dispositivo electrónico.

