

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERAS:

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

INGENIERÍA DE SISTEMAS

TÍTULO:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT ASISTENTE PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD MOTRIZ Y ADULTOS MAYORES, BASADO EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL”

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Electrónico

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero de Sistemas

Autores:

David Patricio Valencia Redrován

Luis Enrique González Delgado

Director:

Ing. Vladimir Robles Bykbaev

CUENCA, JULIO 2014

ECUADOR

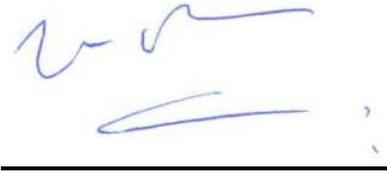
CERTIFICACIÓN

Ing. Vladimir Robles Bykbaev

Certifico:

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos de la tesis titulada “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT ASISTENTE PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD MOTRIZ Y ADULTOS MAYORES, BASADO EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL”, realizada por los estudiantes David Patricio Valencia Redrován y Luis Enrique González Delgado, y por cumplir los requisitos autorizo su presentación

Cuenca, Julio de 2014



Ing. Vladimir Robles Bykbaev.

DIRECTOR DE TESIS

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros David Patricio Valencia Redrován portador de la cedula de ciudadanía 0302205059 y Luis Enrique González Delgado portador de la cedula de ciudadanía 0104540273, estudiantes de Ingeniería Electrónica y de Ingeniería de Sistemas respectivamente, certificamos que los conceptos desarrollados, análisis realizados, así como los criterios vertidos en la totalidad del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente

Cuenca, Julio de 2014



David Patricio Valencia Redrován



Luis Enrique González Delgado.

Dedicatoria:

Dedico esta tesis a todos mis familiares en especial a mis padres y abuelitos que son mi ejemplo a seguir. También quisiera dedicar este trabajo a todas las personas que sueñan y luchan por un mundo mejor, a esas personas que sacrifican valiosos momentos de su vida para investigar, buscar soluciones para cambiar el mundo para bien y mejorar la calidad de vida de las personas que más lo necesitan de sin esperar nada a cambio

DAVID

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento:

Hoy que veo cumplido un sueño (de los muchos que tengo) veo que tome el camino correcto, el camino no fue fácil, estuvo lleno de sacrificios, retos, tristezas, profundas decepciones, pero también existieron momentos inolvidables llenos de felicidad, de alegrías y de horas de risas con gente impresionante que conocí en este trayecto de la vida. Historias y anécdotas como “att-yo” que se quedaron gravadas en mi mente toda la vida. He esperado mucho este momento y comencé agradeciendo en primer lugar al eje central de mi vida, mi DIOS, gracias por la sabiduría, gracias por ayudarme a tomar las mejores decisiones, y haber tomado el camino correcto, gracias por acompañarme día a día. En segundo lugar a los seres más importantes mi vida, mis Padres, gracias por su apoyo incondicional, su infinita paciencia para soportar mis cambios de humor, por compartir este gran esfuerzo y sacrificio que significaron estos casi 6 años de estudio, gracias infinitas por haber hecho que mi única responsabilidad haya sido estudiar. Gracias a mis hermanos, abuelitos y familiares por el apoyo. Quiero presentar no solo mi agradecimiento sino también mi admiración por mi Director que de tesis, el Ing Vladimir Robles, que más que un tutor académico se convirtió en un amigo incondicional en este reto de la tesis, aprendí que si uno hace las cosas con corazón, con voluntad, esfuerzo y con el cerebro al límite, la palabra imposible no existe, mi eterno agradecimiento Ing Vladimir. A los miembros del grupo de investigación GI-SIIA que me enseñaron el apoyo incondicional en un grupo de trabajo. A mis compañeros y amigos de la Universidad que ayudaron a que las amanecidas, los trabajos de teoría de control, las prácticas interminables de digital y analógica, y los proyectos imposibles de robótica hayan sido posibles, agradables y llenos de risas. Finalmente agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, a sus directivos, docentes, y todo el personal que la conforma, gracias por todas las oportunidades que se me brindó el transcurso de mis estudios y gracias infinitas por todas las facilidades permitidas en el desarrollo de esta tesis

DAVID

Agradecimiento:

Agradezco a todas las personas que hicieron posible el desarrollo de este proyecto, a las personas que me apoyaron y especialmente a mi familia

LUIS

Contenido

Capítulo 1. Introducción.....	13
1.1 Discapacidad en el Ecuador	13
1.1.1 Legislación en la discapacidad	13
1.1.2 Instituciones dedicadas al bienestar de personas discapacitadas.....	14
1.2 Introducción a las Tecnologías de cuidado de la salud y asistencia personal	14
1.2.1 Evolución del concepto de discapacidad	15
1.2.2 Tipos de discapacidad	16
1.2.3 El Alzheimer	17
1.3 Tecnologías de asistencia personal	17
1.4 El cuidado del adulto mayor	20
1.4.1 La edad avanzada y la vejez	20
1.4.2 Cuidado del adulto mayor en el Ecuador.....	21
Capítulo 2. Visión Por Computadora.....	24
2.1 Introducción	24
2.1.1 Antecedentes	25
2.1.2 Fases de la visión por computadora	25
2.1.3 Aplicaciones	26
2.2 Técnicas de Reconocimiento Facial.....	28
2.2.1 Principales algoritmos de reconocimiento facial.....	28
2.2.2 Principales algoritmos de detección de caras.....	29
2.2.3 Clasificador en cascada basado en funciones wavelets de Haar	30
2.2.4 Reconocimiento de rostros mediante Eigenfaces	31
2.3 Selección de una técnica de detección y reconocimiento facial.....	32
2.4 Herramientas y librerías para visión por computadora	33
2.4.1 Tipos de cámara que se usan en visión por computadora	33
2.4.2 Selección del tipo de cámara para detección y reconocimiento	36
2.4.3 Selección de la Librería para detección y reconocimiento	36
Capítulo 3. Localización de fuentes Sonoras.....	38
3.1 Introducción al modelo de localización humano	38

3.1.1	Percepción del sonido y el funcionamiento del oído humano	38
3.1.2	La audición binaural	39
3.2	Técnicas basadas en micrófonos	40
3.2.1	Tipos de micrófonos.....	40
3.2.2	Direccionalidad de micrófonos	41
3.2.3	Técnicas de micrófonos, localización sonora	43
3.3	Imágenes Estéreo	46
3.3.1	Par coincidentes.....	47
3.3.2	Par espaciado	48
3.4	Selección de la técnica de localización de fuentes sonoras.....	49
3.5	Desarrollo de la aplicación.....	51
3.6	Reconocimiento de voz.....	52
3.6.1	Selección de la Librería de Reconocimiento de voz	53
Capítulo 4.	Diseño funcional y estructural del Robot	56
4.1	Diseño modular del robot asistente.....	56
4.1.1	Módulo de Procesamiento y control central	58
4.1.2	Módulo de reconocimiento de rostros	58
4.1.3	Módulo de ubicación de la fuente sonora	59
4.1.4	Módulo de sensado.....	59
4.1.5	Módulo de actuadores y elementos de comunicación con el usuario	60
4.2	Diseño estructural del robot asistente	60
4.2.1	Construcción de las partes que conforman el robot	61
4.2.2	Morfología del robot asistente	64
4.3	Protocolo de funcionamiento e iteración con el usuario	65
4.3.1	Funcionamiento e iteración general con el usuario	65
4.3.2	Funcionamiento e iteración en base a detección y reconocimiento de rostros.....	66
4.3.3	Funcionamiento e iteración en base a reconocimiento de comandos de voz	69
4.3.4	Funcionamiento e interacción en base a la asistencia personal con el usuario.	69
4.4	Diseño del plan de pruebas	72
4.4.1	Pruebas alfa y beta.....	77
4.4.2	Encuesta para medición de resultados	77
4.4.3	Formato de validación para el robot asistente	80

Capítulo 5. Implementación de los Módulos de Control y Construcción del Prototipo del Robot Asistente	83
5.1 Implementación del sistema de visión artificial.....	83
5.2 Creación del corpus de imágenes y la base de datos de los usuarios.....	84
5.3 Implementación del sistema de localización de fuentes sonoras.....	85
5.4 Implementación del sistema de control rotacional.....	86
5.5 Implementación del protocolo de funcionamiento e interacción	87
5.5.1 Script de reconocimiento de comando de voz, iteración general con el usuario, y asistencia personal.	88
5.5.2 Script de detección y reconocimiento de rostros y comunicación con el hardware de el robot	88
5.5.3 Script de ejecución de los movimientos de la cabeza y el torso	89
5.5.4 Script de escritura de una respuesta solicitada en la pantalla del robot.	90
5.6 Ensamblaje del robot.....	90
Capítulo 6. Ejecución del plan de pruebas y análisis de resultados.....	93
6.1 Pruebas de funcionalidad de software y hardware	93
6.1.1 Pruebas de detección y reconocimiento facial	93
6.1.2 Pruebas de localización de fuente sonora	95
6.1.3 Pruebas de reconocimiento de órdenes de voz.....	95
6.1.4 Pruebas de funcionamiento mecánico	97
6.2 Pruebas de usabilidad e interacción con el usuario	98
6.3 Análisis de resultados	101
6.3.1 Análisis de resultados en pruebas de funcionalidad de software y hardware	101
6.3.2 Análisis en pruebas de usabilidad e interacción con el usuario.....	103
CONCLUSIONES	110
RECOMENDACIONES.....	112
REFERENCIAS.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Human Support Robot Creado por Toyota [11]	18
Figura 2 Robot Ubot estructura general [13]	19
Figura 3 Robot Huggable aspecto interno y externo [16]	19
Figura 4 Servicios más frecuentes de las personas que cuidan de un adulto mayor o discapacitado [21]	22
Figura 5 Niveles de procesamiento, bajo, medio, alto. [35]	26
Figura 6 Defecto originado por mal posicionado de taladros [48].....	27
Figura 7 Detección del pestañeo del ojo [49].	27
Figura 8 Detección de rostros en tiempo real [33].....	27
Figura 9 Rectángulos de características Haar [38].....	30
Figura 10 Rectángulos de características Haar aplicadas a una imagen. [38].....	30
Figura 11 Diagrama de bloques de una cámara [76].....	35
Figura 12 Componentes internos del oído Humano [53].....	39
Figura 13 Componentes de un micrófono de tipo dinámico [55]	40
Figura 14 Componentes de un micrófono de tipo condensador [55]	41
Figura 15 Representación gráfica del campo de un micrófono de tipo Omnidireccional [55] ..	42
Figura 16 representación gráfica del campo de un micrófono de tipo Unidireccional [55].....	42
Figura 17 representación gráfica del campo de un micrófono de tipo Bidireccional [55].....	42
Figura 18 Representación esquemática de los ángulos en el cabeza [53]	43
Figura 19 Solucione grafica conociendo los tiempos absolutos de las señales [59].	46
Figura 20 Método de par coincidentes [62]	47
Figura 21 Esquema angular de la configuración de micrófonos y la fuente de sonido [62]	48
Figura 22 Método de par espaciado [62]	49
Figura 23 Representación de micrófonos y fuente de sonido [71].....	50
Figura 24 Representación geométrica del cálculo del Angulo [70].....	50
Figura 25 Diagrama a bloques del sistema implantado [83].....	51
Figura 26 Diagrama Modular del Robot [83]	56
Figura 27 Arquitectura del robot asistente	57
Figura 28 Configuración de los servomotores del cuello del robot	65
Figura 29 Mecanismo para movimiento del dorso.....	65
Figura 30 Diagrama a bloques general del proyecto.....	66
Figura 31 Diagrama de flujo general del proyecto.....	66
Figura 32 Captura de un rostro con distintas posiciones.....	67
Figura 33 Diagrama de flujo de la fase de entrenamiento de los rostros	67
Figura 34 Diagrama de flujo de la fase de test de los rostros	68
Figura 35 Diagrama de flujo del reconocimiento de comandos de voz.	69
Figura 36 diagrama de flujo general del sistema	71
Figura 37 Resultado de los comandos por voz en la pantalla LCD	72
Figura 38 Configuración de la webcam en el robot	83
Figura 39 Configuración de la webcam en el robot	83

Figura 40	Corpus de imágenes con 4 de los 12 usuarios disponibles	85
Figura 41	Configuración de los micrófonos en el sistema electrónico del robot	85
Figura 42	Componentes electrónicos para la captación del sonido.	86
Figura 43	Implementación mecánica de los servomotores para el movimiento de la cabeza.....	86
Figura 44	Implementación mecánica del servomotor para el movimiento del torso	87
Figura 45	Fracción de código de reconocimiento de comandos de voz.....	88
Figura 46	Fragmento de código del Reconocimiento de un usuario y la obtención de coordenadas del rostro	89
Figura 47	Fracción de código de para movimiento de servomotores	89
Figura 48	Fracción de código para escribir el texto en pantalla.....	90
Figura 49	Sujeción de las partes frontales y traseras de la cabeza con masilla plástica.	91
Figura 50	Prototipo terminado y ensamblado	91
Figura 51	Algoritmo de vision artificial en funcionamiento [83]	94
Figura 52	Resultado en pruebas de localización sonora	95
Figura 53	número de comandos reconocidos variando nivel de ruido ambiente [84]	96
Figura 54	programación utilizada para comprobar el giro de los motores.....	97
Figura 55	Seguimiento facial de manera autónoma en base al algoritmo programado	98
Figura 56	Pruebas de usabilidad con miembros del grupo de investigación en la cámara de Gesell de la UPS	99
Figura 57	Pruebas de usabilidad con miembros externos al grupo de investigación en la cámara de Gesell de la UPS.....	101
Figura 58	Angulo de visión de la cámara del robot y distancia máxima de trabajo	101
Figura 59	Distancia y cobertura de funcionamiento del sistema de reconocimiento de órdenes de voz.....	102
Figura 60	Resultado de la pregunta 1 planteada a los usuarios.....	103
Figura 61	Resultado de la pregunta 2 planteada a los usuarios.....	104
Figura 62	Resultado de la pregunta 3 planteada a los usuarios.....	104
Figura 63	Resultado de la pregunta 4 planteada a los usuarios.....	105
Figura 64	Resultado de la pregunta 5 planteada a los usuarios.....	105
Figura 65	Resultado de la pregunta 6 planteada a los usuarios.....	106
Figura 66	Resultado de la pregunta 7 planteada a los usuarios.....	106
Figura 67	Resultado de la pregunta 8 planteada a los usuarios.....	107
Figura 68	Resultado de la pregunta 9 planteada a los usuarios.....	107
Figura 69	Resultado de la pregunta 10planteada a los usuarios.....	108
Figura 70	Resultado de la pregunta 11 planteada a los usuarios.....	108
Figura 71	Resultado de la pregunta 12 planteada a los usuarios.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Evolución del concepto de discapacidad y su enfoque en la sociedad [5].....	16
Tabla 2 Objetos diseñados en Blender 3D y sus características.	63
Tabla 3 Objetos impresos y pintados.	64
Tabla 4 Prueba de interacción visual robot-usuario.....	73
Tabla 5 Prueba de voz a texto con el API de Google.....	73
Tabla 6 Prueba de ubicación de la fuente sonora.	73
Tabla 7 Prueba de paralelismo entre seguimiento y recepción por comandos de voz.	74
Tabla 8 Prueba de seguimiento del rostro del usuario	74
Tabla 9 Prueba de validación de la cámara web	74
Tabla 10 Prueba de visualización en la pantalla LCD	75
Tabla 11 Prueba de validación de los micrófonos	75
Tabla 12 Prueba de funcionamiento del micrófono frontal	76
Tabla 13 Prueba de funcionamiento de los parlantes.....	76
Tabla 14 Prueba de movimiento de los servomotores	76
Tabla 15 Prueba de iluminación de los leds.....	77
Tabla 16 Formulario de validación de la detección y reconocimiento del usuario.....	80
Tabla 17 Formulario de validación del seguimiento de usuario	80
Tabla 18 Formulario de validación de la detección y reconocimiento del usuario.....	81
Tabla 19 Formulario de validación de ubicación de la fuente sonora.....	81
Tabla 20 Formulario de validación de la detección y reconocimiento del usuario.....	94
Tabla 21 Pruebas Modulo de visión artificial [83].....	94
Tabla 22 Formulario de validación de la ubicación de la fuente sonora.....	95
Tabla 23 Formulario de validación de la interacción robot-usuario	95
Tabla 24 Pruebas Comandos de voz variando distancia de trabajo[83].....	96
Tabla 25 Formulario de validación del seguimiento de usuario	97
Tabla 26 Recolección de datos de los usuarios pertenecientes al grupo de investigación.....	98
Tabla 27 Recolección de datos de los usuarios externos al grupo de investigación	100

Capítulo 1

Capítulo 1. Introducción

1.1 Discapacidad en el Ecuador

Las últimas estadísticas presentadas por el CONADIS (Consejo Nacional de Discapacidades), indican que en el Ecuador existe un 2.63 % de la población total (368.245 personas carnetizadas) que presenta algún tipo de discapacidad sea esta física o intelectual [1]. De este porcentaje, las discapacidades físicas y motrices son las más comunes, con un porcentaje del 37%, seguida por las intelectuales con un 24,5% y las discapacidades múltiples con un 13% [1].

Este 2.63% hace referencia únicamente a personas carnetizadas y registradas por el CONADIS con algún tipo de discapacidad, pero se estima que el número total de personas discapacitadas en el Ecuador supera el 1600000, es decir, aproximadamente el 12% de la población total del país [3].

Según estudios de la OMS (Organización Mundial de la Salud), en Latinoamérica solamente un porcentaje del 2% de personas con discapacidad puede acceder a algún tipo de beneficio o proceso de rehabilitación [9]. En el Ecuador se estima que 33 de cada 100 personas no acceden a programas de rehabilitación, lo que ha motivado al estado Ecuatoriano a la creación de fundaciones dedicadas a la inclusión de personas con capacidades diferentes. Fundaciones como “Manuela Espejo” de la Vicepresidencia son un claro ejemplo de cómo el estado busca la inclusión social y laboral [10].

Además de este número elevado de personas con discapacidad presentes en el País, se suman las personas que padecen la enfermedad de Alzheimer. Según las últimas estadísticas proporcionadas por el Novartis, en Ecuador un 6% de la población total padece de algún problema mental, y en el 70% de los casos corresponde al Alzheimer [2].

El número de personas con discapacidad sigue en aumento, esto se debe al envejecimiento de la población, las personas ancianas tienen un mayor riesgo de discapacidad y al incremento global de los problemas crónicos de salud asociados a discapacidad, como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y los trastornos mentales [17].

1.1.1 Legislación en la discapacidad

En el estado ecuatoriano se ha formado una ley que trata de amparar y proteger a personas que poseen algún tipo de discapacidad y se conoce como “Ley orgánica de discapacidades”, la cual estipula en sus 117 artículos, códigos y reglamentos de protección y derechos para personas que contemplan algún tipo de discapacidad. Uno de los artículos más claros es el artículo 47 de la Constitución de la República, el cual dispone claramente que *“el Estado garantizará políticas de prevención de las discapacidades y, procurará la equiparación de oportunidades para las personas con discapacidad y su integración social, reconociendo sus derechos, como el derecho a la atención especializada, a la rehabilitación integral y la asistencia permanente, a las*

rebajas en servicios públicos y en servicios privados de transporte y espectáculos, a exenciones en el régimen tributario, al trabajo en condiciones de igualdad de oportunidades, a una vivienda adecuada, a una educación especializada, a atención psicológica, al acceso adecuado a bienes, servicios, medios, mecanismos y formas alternativas de comunicación, entre otros”[25].

1.1.2 Instituciones dedicadas al bienestar de personas discapacitadas

En el Ecuador existe un conjunto de instituciones tanto públicas como privadas dedicadas al servicio, atención y bienestar a personas con discapacidad. Estas instituciones buscan proporcionar servicios tales como bolsas de trabajo, terapias, registros, inclusión, asesoría, medicación etc.

Según el CONADIS algunas de estas instituciones son [31][1]:

Sector público.

- Las Comisiones Provinciales
- Los departamentos provinciales de los distintos Ministerios del Ecuador, entre otros el de Bienestar Social, el de Educación y Cultura, el de Salud y el de Trabajo.
- En el área de la educación se tienen varias escuelas.
- En el área de la salud, se cuenta con distintos hospitales que han destinado las unidades de rehabilitación para el servicio a este sector de la población.
- El MIES y sus Unidades del Programa de Atención Médico Solidario (PAMS)

Organizaciones Privadas.

Formadas de personas con discapacidad y que han sido creadas por ellas mismas:

Estas son:

- La Federación Nacional de Sordos del Ecuador - FENASEC
- La Federación Nacional de Ciegos del Ecuador - FENCE
- La Federación Nacional de Ecuatorianos con Discapacidad Física - FENEDIF;
- La Federación Ecuatoriana Pro Atención a la Persona con Deficiencia Mental, Parálisis Cerebral, Autismo y Síndrome de Down -FEPAPDEM
- Federación Nacional de ONGs para la Discapacidad - FENODIS

El alto número de personas sin una atención adecuada, incluyendo a las que ni siquiera forman parte del registro nacional, hacen notar que aún queda mucho trabajo por hacer y soluciones por implementar

1.2 Introducción a las Tecnologías de cuidado de la salud y asistencia personal

La tecnología da pasos agigantados día tras día y se ha convertido en una herramienta esencial en la vida del ser humano, su avance está ligado a la industria, la informática, robótica, medicina, y en general, a todos los aspectos que buscan una mejora en la sociedad. Los

impedimentos y barreras se acortan facilitando nuevos estudios y creación de dispositivos nuevos y cada vez más avanzados. La tecnología y el hombre están estrechamente relacionados, ya que la misma es creada por el hombre y para el hombre; con el único objetivo de transformar el mundo y facilitar las necesidades de la sociedad [26].

Los múltiples avances tecnológicos que se han desarrollado en la última década en el sector de la salud, específicamente en la asistencia personal y médica que han cambiado profundamente, y sin duda es una de las aplicaciones de la tecnología que más avance y beneficios ha dado a la sociedad a pesar de su corto tiempo de implementación

Por ello, es indispensable comenzar con una definición de lo que es la tecnología: se la puede definir *“como la aplicación del conocimiento científico a la solución de problemas prácticos y la obtención de metas humanas”* [4].

En la actualidad el desarrollo científico se ha centrado en combatir e intentar erradicar problemas de índole social, y ayudar a personas con discapacidad a formar parte de este nuevo mundo tecnológico [6]. Cabe recalcar que se han logrado grandes avances en este campo, como el desarrollo de aplicaciones de inclusión, pero falta aún profundizar en estudios para poder conseguir en estas personas una vida conforme a sus necesidades.

Se ha hablado anteriormente de estadísticas de discapacidad y herramientas que permiten brindar apoyo a las personas que las sufren. Por ello, es fundamental conocer que los conceptos y maneras de ver y definir a la discapacidad han cambiado radicalmente con el transcurso de los años. Han tenido que pasar siglos para poder ver a las personas con discapacidad como individuos con habilidades, recursos y potencialidades; y no como un ser “dependiente y necesitado”[5]. El concepto y el punto de vista puede variar de un lugar a otro, ello es debido no sólo a las diferentes culturas, sino también a los diferentes niveles de compromiso de entidades, ciudadanos y gobiernos [5].

Según la Organización Mundial de la Salud en el 2001 se puede definir a la discapacidad como: *“término genérico que incluye déficit, limitaciones en la actividad y restricciones en la participación. Indica los aspectos negativos de la interacción entre un individuo (con una condición de salud) y sus factores contextuales (factores ambientales y personales)”*[27].

Este concepto ve a la discapacidad no solo como un problema en la condición de salud del paciente sino que es el resultado entre las limitaciones humanas y el medio en el cual se desenvuelve [5].

1.2.1 Evolución del concepto de discapacidad

Las fases de la evolución del concepto de discapacidad en el transcurso de la historia, así como de su consideración y tratamiento social [5], se pueden observar en la tabla 1

Época	Enfoque	Tratamiento	Actitud a nivel social
En las culturas antiguas	Enfoque mágico-religioso: la locura y los grandes trastornos físicos o sensoriales son debido a la intervención de poderes sobrehumanos que ponen a prueba o castigan a las personas por algún mal cometido.	Remedios: magia e intervención de brujos y Chamanes, masajes, baños, hierbas...	Objeto de rechazo y a veces causa de muerte. Posturación pasiva y culpabilizada.
Desde el s.XV	Enfoque técnico y secularizado: la discapacidad como resultado de fenómenos naturales (accidentes) que requieren una terapia adecuada, igual que otras enfermedades.	Instituciones manicomiales orientadas a la rehabilitación con tratamientos que persiguen la inserción social de los pacientes.	Internamiento masivo, las tareas terapéuticas fueron sustituidas por la custodia y cronificación de los atendidos.
Finales s.XIX y II Guerra Mundial	Enfoque médico y asistencial: Identificación y explicación de muchos trastornos, relacionados con factores físicos (bioquímicos, traumáticos o perinatales) como psíquicos (formas de aprendizaje o socialización infantil).	Atención educativa y asistencial. Implicación del estado. Creación de "Centros especiales" de educación y ocupación.	Efecto estigmatizador: Prevalen las etiquetas y una política paternalista que refuerza la dependencia respecto a las instituciones y el desarrollo de nuevas formas de discriminación social y laboral.
2ª Mitad del s.XX	Se pone acento en el origen social de la discapacidad, prevención, rehabilitación e inserción comunitaria.	Se favorecen centros de salud y servicios comunitarios. Se defiende la inclusión y normalización escolar y laboral con el soporte que sea necesario.	Movimiento social, a través de asociaciones, formadas por personas con discapacidad y familiares, que defienden los derechos de las persona con discapacidad.

Tabla 1 Evolución del concepto de discapacidad y su enfoque en la sociedad [5].

1.2.2 Tipos de discapacidad

La discapacidad puede ser clasificada en 3 grandes grupos:

- Discapacidad Psíquica o intelectual: *“la discapacidad intelectual se caracteriza por limitaciones significativas en el funcionamiento intelectual y en la conducta adaptativa, expresada en habilidades conceptuales, sociales y prácticas, se origina antes de los 18 años”* [7].
- Discapacidades Sensoriales: Relacionadas al sistema visual, oído, garganta y relaciones con el lenguaje [28].
- Discapacidades físicas: Relacionadas con el cuerpo, miembros y órganos en general. Originadas en el sistema muscular, esquelético, nervioso, cardiovascular, respiratorio, digestivo, urogenital, neoplasias [28].

1.2.3 El Alzheimer

El Alzheimer, es una enfermedad degenerativa que va consumiendo el sistema nervioso por causas que aún son desconocidas. La única conclusión certera es que el mayor factor de riesgo es la edad, la poca actividad mental y física, y el padecimiento de hipertensión, diabetes, obesidad o depresión [2]. Las personas con esta enfermedad experimentan una regresión que los devuelve a un estado infantil. No sólo pierden la memoria reciente, sino que olvidan cosas como del diario vivir, como por ejemplo: confunden la ropa de invierno con la de verano, olvidan citas, no reconocen lugares y rostros; y en fases más avanzadas no tienen noción del peligro [2].

No existe hasta la fecha un tratamiento farmacológico para prevenir o tratar el Alzheimer, la única posibilidad es ralentizar el proceso degenerativo, que puede extenderse hasta más de 20 años, a través de terapia cognitiva y social [2].

1.3 Tecnologías de asistencia personal

La robótica es una de las ramas de la tecnología que dan pasos cada vez más grandes, tanto a nivel industrial, automotriz y sobre todo al servicio y asistencia de la humanidad. En la actualidad existen ya robots asistentes, algunos todavía en estudio o que están siendo desarrollados. Uno de los principales inconvenientes de su comercialización es el alto costo, siendo este uno de los principales problemas a solucionar con el tiempo.

Entre las nuevas tecnologías de asistencia personal más avanzadas hasta la fecha se puede mencionar los siguientes robots:

✓ Human Support Robot (HSR):

Creado en Japón por la empresa Toyota. Está diseñado para ayudar en tareas de casa, la apertura de las cortinas, y recoger objetos que han caído al suelo, gracias a su brazo, que posee seis grados de libertad más la pinza, con el cual puede levantar objetos pequeños que pesan 1,2 kilos. El HSR puede controlarse mediante una interfaz gráfica de usuario sencilla a través de tablet PC. También puede usar una tablet sobre su cabeza, lo que permitiría a los cuidadores y familiares comunicarse con el dueño del robot sobre los servicios de Skype o similares [11].

Diseñado para su uso en interiores, se mueve lo suficientemente lento como para ser inherentemente seguro, el robot se desplaza a una velocidad máxima de 1,8 kilómetros por hora. Puede superar obstáculos en el suelo de hasta 0,3 pulgadas (suficiente para atravesar de madera dura a la alfombra) y puede subir pendientes de hasta 5 grados. Posee un sensor ProSense y cámaras en su cabeza, lo que le permitiría percibir la profundidad e identificar visualmente personas y objetos [11].



Figura 1 Human Support Robot Creado por Toyota [11]

✓ Kobian:

Creado en la Universidad Waseda de Tokio. Este robot es capaz de reproducir los gestos y emociones muy semejantes a lo expresado por los humanos.

Kobian es capaz de comunicarse “expresando” diversas actitudes humanas tales como tristeza, vergüenza, alegría y otras emociones. Cada sensación que expresa el androide es acompañada por gestos faciales y de movimientos de labios que hacen que sus movimientos sean más creíbles y originales. Sus funciones principales están enfocadas en el campo de la enfermería y como una acompañante de ancianos [29].

✓ Nao

Desarrollado por la empresa francesa Aldebaran a finales del 2008. Actualmente solo puede ser adquirido por Universidades y centros de investigación [14].

Entre sus características esta su pequeña estatura de 58cm, peso alrededor de 4,3Kg, además cuenta con un sistema operativo GNU/Linux, el mismo que puede ser programado en distintos lenguajes. Cuenta con 4 micrófonos y dos cámaras, con las cuales reconocer su entorno, objetos y personas. En la Universidad de Notre Dame, en Estados Unidos, es usado por el área de desarrollo para apoyar a niños con autismo [14]. Es uno de los robots más avanzados hasta la fecha.

✓ Asimo

Creador por la empresa japonesa Honda a finales del 2000. Asimo (Advanced Step in Innovative Mobility), es un robot humanoide que está diseñado y desarrollado para brindar una ayuda a personas que carecen de movilidad completa en sus cuerpos [12].

Mide 130 cm, pesa 54 kg y cuenta con varias aplicaciones procedentes de la inteligencia artificial tales como identificar y coger objetos, entender y dar respuesta a órdenes orales y reconocer las caras de algunas personas [30]. ASIMO no sólo puede avanzar y retroceder, sino que también se desplaza lateralmente, posee capacidad de subir escalones sin problema, trasportar objetos y desarrollar movimientos delicados y precisos [12].

✓ Ubot

Diseñado y construido en el laboratorio de robótica de la Universidad de Massachusetts, su objetivo es convertirse en un asistente robótico personal completamente funcional, para apoyar a personas bajo diferentes escenarios. Las principales funciones que puede llevar a cabo este robot, se encuentran levantar cajas pesadas, alcanzar una botella de agua, y otro tipo de acciones cotidianas, enfocadas en la ayuda de adultos mayores [15].

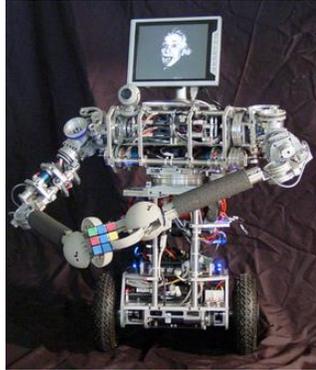


Figura 2 Robot Ubot estructura general [13]

✓ Huggable

Desarrollado en el MIT Media Lab por el PRG (Personal Robots Group). Es un tipo de compañero robot que está diseñado para estudios relacionados con la asistencia sanitaria, la educación, y las aplicaciones de comunicación social. El Huggable está diseñado para ser mucho más que una diversión ya que su objetivo es ser utilizado en la rehabilitación de niños con autismo o problemas de comunicación. Por lo tanto, el Huggable no está diseñado para sustituir a cualquier persona en particular en una red social, sino más bien para mejorar la red social humana [16].



Figura 3 Robot Huggable aspecto interno y externo [16]

Cabe mencionar que ninguno de estos robots nombrados anteriormente fue creado en Sudamérica, la mayoría son de origen asiático, o norteamericano, y a costos extremadamente altos.

1.4 El cuidado del adulto mayor

El envejecimiento de la población tiene una cercanía muy estrecha con las tendencias de la discapacidad. La relación es directa ya que el riesgo de discapacidad es más alto a una edad más avanzada, y las poblaciones nacionales están envejeciendo a un ritmo sin precedentes [17].

Se estima que al menos un 1% de la población mayor a 65 años está totalmente inmovilizado, un 6% padece severas limitaciones en las actividades de la vida diaria y hasta un 10% más presenta incapacidad moderada, disparándose las cifras por encima de los 80 años [8].

La población de adultos mayores forma parte fundamental de una nación. Se estima que en los países desarrollados, la población entre 45 a 64 años aumentará en un 26% y las personas mayores de 65 años tendrán un incremento del 71%. En contraste, con los países en desarrollo, el número de niños y adolescentes de menos de 15 años se incrementará en un 25%, mientras que el de adultos entre 45 a 59 años se incrementará en un 140%. Por lo tanto, se espera que la expectativa de vida sea alrededor de un 72.8 años a nivel mundial [18].

El envejecimiento es un proceso que implica cambios radicales e irreverentemente obligatorios, dichos cambios son físicos, estructurales, psicológicos e inclusive hasta funcionales, lo que obliga a la persona a regresar a una etapa donde su vida diaria depende de terceros. Dichos cambios por lo general van acompañados de negaciones y actitudes de rechazo a esta etapa de la vida [18].

1.4.1 La edad avanzada y la vejez

Dos términos que por lo general son confundidos son el envejecimiento o edad avanzada y la vejez.

El concepto de envejecimiento hace referencia al proceso gradual, adaptativo e individual. *“Modificaciones morfológicas, fisiológicas, bioquímicas y psicológicas a la edad y al desgaste acumulado a lo largo de la historia del individuo en un ambiente determinado”* [20].

En cambio, la vejez es la etapa del ciclo de vida después de la adultez, cuyo inicio lo establece la sociedad. En países en desarrollo se establece que la vejez se inicia a partir de los 60 años y en países desarrollados a partir de los 65 años [20].

Según la OMS pueden existir 3 tipos de envejecimiento [20]:

- Envejecimiento exitoso: la ausencia o baja probabilidad de enfermedades y discapacidad relacionada a enfermedades
- Envejecimiento saludable: incluye el aprendizaje durante toda la vida, poder trabajar más tiempo, jubilarse más tarde tener una vida activa después de la jubilación
- Envejecimiento activo: depende de una diversidad de influencias o determinantes que rodean a las personas, las familias y la sociedad.

A su vez, también existe una clasificación de adultos mayores [20]:

- Adultos mayores o ancianos jóvenes que son los que están entre 60 a 74 años
- Adultos mayores o ancianos viejos que son los que están entre 75 a 84 años
- Ancianos longevos son los que están entre los 85 a 99 años
- Centenarios que son los que están entre mayores de 100 años

1.4.2 Cuidado del adulto mayor en el Ecuador

En el país el cuidado del adulto todavía no es una de las prioridades en la sociedad. En el Ecuador existen solamente 38 organizaciones que brindan un trabajo con personas de la tercera edad, beneficiando a 1.900 adultos mayores [22].

Existen 77 centros gerontológicos públicos y privados en todo el país avalados por el Ministerio de Inclusión Social y Económica (MIES) [22], que ofrecen permanencia y guardería de adultos mayores basados en 3 modalidades de servicio: la internista, la guardería y asistencia física en casa. La principal falencia de estos centros para la asistencia de adultos mayores radica en que no todos trabajan bajo las 3 modalidades expuestas, debido que no tienen la infraestructura, personal suficiente o capacitado para cumplir con estos requerimientos [22].

1.4.2.1 Factores en el cuidado del adulto mayor

Se estima que el mayor número de personas al cuidado de un adulto mayor son sus propios parientes (las dos terceras partes) dentro del hogar, los cónyuges cuando uno de ellos tiene alguna discapacidad; o las hijas e hijos cuando las personas afectadas tienen edad avanzada [21].

Las tareas más habituales de estas personas se relacionan con el cuidado y aseo personal (vestirse/desvestirse, bañarse/ ducharse y asearse/arreglarse), seguidas de diversas tareas domésticas (preparar la comida, hacer la compra y otras tareas del hogar), las relativas al control médico (tomar la medicación, ir al médico) y movilidad (subir o bajar escaleras, salir/desplazarse por la calle, acostarse/levantarse de la cama) [21].

A continuación se presenta la figura 4 con las tareas más habituales de personas que están a cargo de una adulto mayor.

Servicios más frecuentes de la persona cuidadora principal por tramos de edad de las personas con discapacidad (totales)

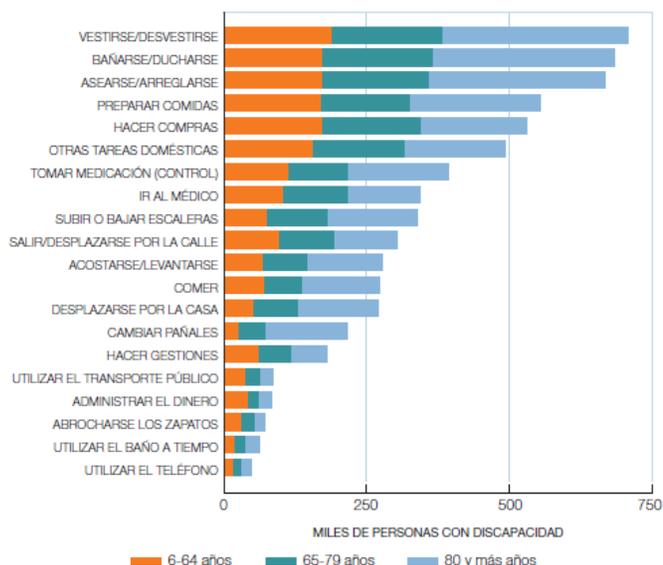


Figura 4 Servicios más frecuentes de las personas que cuidan de un adulto mayor o discapacitado [21]

La atención del adulto mayor debe ser de mucho cuidado, como la de un niño, ya que su etapa de vida se torna más delicada. Existen fuertes cambios a nivel físico, psicológico y mental con el paso del tiempo, por lo cual su cuidado debe estar muy bien observado por médicos especializados en adultos mayores y personal dedicado, capacitado y experimentado en estas tareas [31]. Con la creación de las ramas médicas de gerontología y geriatría se analiza la posibilidad de alargar la vida de un adulto mayor con dignidad, atendiendo prontamente sus dolencias. Estas especialidades brindan la tranquilidad y confianza al paciente y familiares [31].

Las principales tareas que debe llevar a cabo alguien que esté al cuidado de un adulto mayor son:

- Dar una asistencia integral: debe ocuparse de toda la problemática médica, funcional, mental, y social del adulto mayor [32].
- Rehabilitar: debe intentar recuperar a los pacientes que han perdido su independencia física o social tratando de mantener al anciano en la comunidad [32].
- Proporcionar un cuidado progresivo del anciano: desde el inicio de su enfermedad hasta completar la rehabilitación de este proceso y volver a su situación basal previa [32]

Capítulo 2

Capítulo 2. Visión Por Computadora

2.1 Introducción

Una de las importantes funciones que tiene el ser humano, es la visión, ya que con ella se puede capturar información y procesarla para entenderla, esto es muy importante, ya que los objetos que representan dicha información pueden poseer varias características como el tamaño, el tipo de color o también la densidad.

Resulta útil cuando se usan imágenes que el cerebro del hombre intérprete las mismas, ya que las ventajas son la velocidad de comprensión, como por ejemplo, cuando a un ingeniero electrónico usa una imagen de un circuito para entender el funcionamiento del mismo, no sería muy eficiente si ese mismo circuito se especifica de manera textual. Hoy en día se asemeja el funcionamiento de la visión humana en sistemas computacionales, apareciendo así la visión por computadora o también llamada visión artificial [35].

Según Aristóteles, “*visión es saber que hay y donde, mediante la vista*” [44]. El cerebro humano a través de la vista recoge información y la interpreta para darle sentido y a partir de ello se plantea una solución a dicho problema [44].

Existen otras definiciones importantes entre las cuales destacan las siguientes

- “*Visión es recuperar de la información de los sentidos (vista) propiedades válidas del mundo exterior*”, Gibson [45].
- “*Visión es un proceso que se produce a partir de las imágenes del mundo exterior, una descripción que es útil para el observador y que no tiene información irrelevante*”, Marr [46].

El último concepto definido ha tenido gran acogida por la comunidad científica, puesto que intervienen tres aspectos importantes: siendo la visión como proceso computacional, la descripción, haciendo alusión a que la información que se obtiene depende del observador, y la reducción de la misma, lo cual indica que es necesario eliminar información que no sea de utilidad en análisis que se está realizando [46].

Según los conceptos anteriores el objetivo principal de la visión por computador es simular la visión humana para recoger información de objetos con el uso de componentes como computadoras, cámaras, lentes y sensores, los mismos que son de interés en un ambiente dado [44]. La información que se recoge del mundo real como figuras de dos o tres dimensiones que a su vez representan objetos como una casa, un carro, una fruta, un rostro humano, un árbol o simplemente un dibujo de un cuadrilátero en un papel posteriormente se interpretan obteniendo

información suficiente para la solución de un problema en particular relacionado al objeto o los objetos que se analicen [44].

2.1.1 Antecedentes

El interés por capturar una escena del mundo real para poder guardarla o mantenerla se remonta a la década del año 1820 cuando el químico francés Niepce (1765,1833) realizó la primera fotografía. Posteriormente, otro químico también francés, llamado Daguerre (1787-1851), hizo el primer proceso fotográfico con una placa para revelar la imagen usando elementos químicos como el vapor de mercurio y trisulfuro de sodio (el cual es un elemento que contiene azufre) [35].

Desde que se logró capturar una imagen, se han venido desarrollando herramientas para analizar la misma, con lo que se ha logrado grandes resultados en las áreas de la medicina, la astronomía, la informática y robótica, entre otras, sin embargo en los años 80 es cuando más importancia tuvo la visión artificial ya que se dio avances considerables en la ingeniería electrónica con el apareamiento de las cámaras de video CCD (en español Dispositivo de Carga Acoplada) [35].

2.1.2 Fases de la visión por computadora

Para llevar a cabo el proceso correcto del análisis de la imagen es necesario tener en cuenta las siguientes etapas, donde no es obligatorio llevar a cabo todos [35]:

1. **Adquisición de las imágenes:** Se toma en cuenta varios factores de los objetos u objeto como la luz, las formas, texturas, colores, sombras, las cuales son de vital importancia al momento de capturar la imagen mediante técnicas fotográficas por ejemplo con el uso de cámaras, ya que de esta etapa dependen las posteriores.
2. **Reprocesado:** Aquí se trata de mejorar la imagen adquirida mediante la mejora de algunos factores de la imagen como el ruido que es el deterioro del color y la luminosidad, el contraste, la intensidad, y realzar algunas características como bordes o áreas.
3. **Segmentación:** En esta fase se selecciona el área de interés de la imagen por ejemplo zonas de cultivo, el rostro de una persona, la placa de un automóvil.
4. **Extracción de características:** Se analizan las características de la zona que se ha seleccionado anteriormente las mismas que pueden ser áreas, perímetros, o también colores y texturas.

Existe una representación más básica como se menciona en el libro Holistic Processing of Faces, el cual mencionan 3 tipos de nivel de información que son baja, media y alta, las cuales engloban los 4 puntos mencionados anteriormente y se puede apreciar en la figura 5.

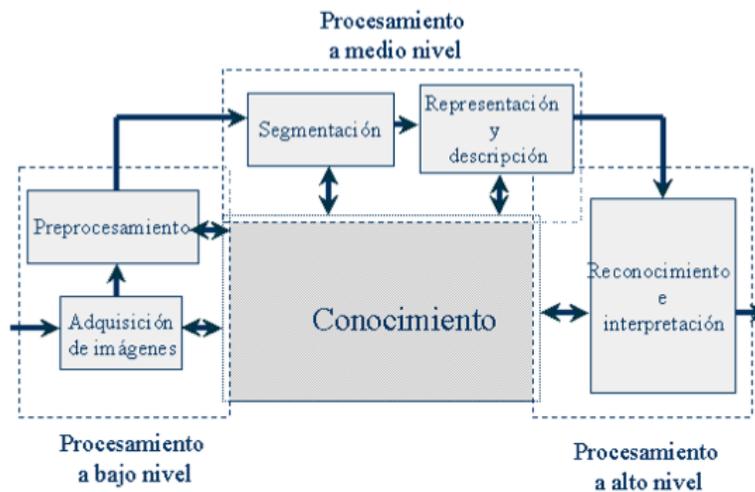


Figura 5 Niveles de procesamiento, bajo, medio, alto. [35]

Cada una de las fases que se mencionaron anteriormente necesitan ser analizadas y tratadas de manera adecuada para la función que cumple cada una, por lo cual se debe tener en cuenta las siguientes técnicas:

1. **Fotografía y óptica:** El objetivo es encontrar el ambiente y la herramienta adecuados para la captura de la imagen como el color de la luz y la intensidad de la misma y la cámara necesaria respectivamente.
2. **Procesamiento digital de las imágenes:** Hace alusión al algoritmo o algoritmos que se usaran para convertir a la imagen en otra con mayor interés
3. **Reconocimiento de Patrones:** Incluye técnicas de inteligencia artificial cuyo objetivo es la clasificar las distintas señales obtenidas e identificar patrones existentes dentro de estas, aquí se pueden usar herramientas como redes neuronales, clasificadores estadísticos, sistemas expertos o lógica difusa.
4. **Computación gráfica:** Busca extraer la información de las señales adquiridas y representarlas de manera gráfica haciendo el proceso contrario de la visión artificial.

2.1.3 Aplicaciones

En la actualidad se usa la visión por computadora en diferentes áreas relacionadas a la seguridad, dentro y fuera de edificios, por ejemplo, para control de accesos a determinadas áreas; en la medicina, cuando se analiza la textura de una morfología; en la ingeniería, cuando se busca reconocer perfiles de algún objeto o en la aplicación de reconocimiento de rostros [47].

Se mencionan a continuación algunos ejemplos de interés que usan visión artificial.

- ✓ Proyecto CONVA : Identifica errores que se producen en la fabricación de muebles para el mejoramiento de calidad



Figura 6 Defecto originado por mal posicionado de taladros [48]

- ✓ The Blink software: Programa informático que identifica el ojo del usuario para cumplir algunas funciones en base al pestañeo de uno o ambos ojos[49]



Figura 7 Detección del pestañeo del ojo [49].

- ✓ NeoFace: Es un producto de software que reconoce rostros en tiempo real y se usa en áreas de vigilancia [33]



Figura 8 Detección de rostros en tiempo real [33].

2.2 Técnicas de Reconocimiento Facial

En la actualidad existen diferentes métodos que se aplican informáticamente para el reconocimiento de un rostro y estos son de tipo holísticos, es decir, que se analiza el rostro como un todo y también hay métodos selectivos, o sea, que se analiza el rostro como la suma de varias partes y para ellos se suele hacer trazos con figuras geométricas, para luego estas partes sumarlas y obtener un resultado esperado [34].

2.2.1 Principales algoritmos de reconocimiento facial

Existe un gran número de algoritmos usados para el reconocimiento facial, los cuales de manera general se basan en dos fases que son la detección y el reconocimiento [35]:

- **Detección:** En esta primera etapa, dada una imagen o conjunto de imágenes que pueden ser estáticas y dinámicas o en tiempo real se busca localizar el rostro los individuos.
- **Reconocimiento:** En esta fase se extraen las características para la normalización y un mejoramiento, para luego almacenar la imagen en una base de datos y posteriormente comparar dicha imagen con un conjunto de imágenes previamente normalizadas y almacenadas. Por último, se obtiene una similitud entre las imágenes consiguiendo un criterio de reconocimiento.

A continuación se detallan algunos de los principales algoritmos usados en el reconocimiento de rostros y se describen brevemente sus características.

- **Correlación y FFT:** FFT (Fast Fourier Transform) el objetivo es realizar una relación de proporciones entre la imagen en cuestión con cada una de las imágenes en la base de datos, para lograr esto se usa la transformada discreta de Fourier y la inversa a la misma, llevando a cabo un gran número de transformaciones en la imagen [35].
 - **Ventajas:** Es muy estudiado y fácil de implementar
 - **Desventajas:** Eficiente para imágenes dispares pero ineficiente para rostros.
- **Eigenfaces: PCA** (Principal Analysis Component) puede determinar un rostro como un conjunto de valores que representan características de la imagen, y cuando se tiene un grupo de imágenes, estos valores especifican la variación entre las mismas, dicha variación da como resultado un componente llamado eigenfaces y las imágenes se almacenan en la base de datos, el reconocimiento se realiza comparando los eigenfaces y la nueva cara [35].
 - **Ventajas:** El tiempo de análisis es corto.
 - **Desventajas:** Depende demasiado de las condiciones como luz, orientación y posición

- **Basado en parámetros (LFA):** (Local Feature Analysis) LFA, describe los objetos por medio de características y posiciones obtenidos de datos estadísticos, este algoritmo mejora los problemas del PCA y Eigenfaces en cuestiones de cambio de postura y orientación de la imagen [35].
 - **Ventajas:** Se adecua a cambios de expresión.
 - **Desventajas:** Consume gran potencial en el cómputo.

- **Basado en redes neuronales:** Aquí se considera que cuando una red neuronal entrenada para una imagen de $M \times N$ número de píxeles se requiere una cantidad N neuronas de entrada, entonces la salida da el paso al reconocimiento que clasificaría entre un rostro y un no rostro [36].
 - **Ventaja:** Dan un 95% de tasa de efectividad
 - **Desventaja:** Son muy dependientes del número de capas, configuración de conexiones y parámetros de aprendizaje.

- **Basado en Plantillas:** Se capturan pedazos de las imágenes que se almacenan en la base de datos para luego comparar con la imagen a reconocer [35]
 - **Ventajas:** El procesamiento es simple
 - **Desventajas:** Implica alto costo computacionalmente en la búsqueda y la comparación.

2.2.2 Principales algoritmos de detección de caras

La fase de detección tiene gran diferencia respecto a la de reconocimiento de rostros, ya que el objetivo de la detección es localizar ya sea un rostro o un objeto en general. Su importancia radica en el uso del mismo para etapas posteriores, como seguimiento, reconocimiento y análisis [37]. El objetivo del reconocimiento de un objeto en general es de distinguir dicho objeto de entre otros objetos, usando herramientas matemáticas que son trasladadas a algoritmos informáticos, los cuales pueden ser implementados en diferentes lenguajes de programación como Python, C, C++, Java, etc.

Estas técnicas pueden estar basadas en diferentes métodos listados a continuación [39]:

- **Métodos Basados en Conocimiento:** Hacen uso de la geometría para extraer características de una captura de algún objeto.

- **Métodos Basados en Características Invariantes:** Usan la información de la textura tanto del color como textura de la imagen para análisis de la misma

- **Métodos Basados en Plantillas:** Es una técnica basada en conocimiento, ya que usa una familia determinada de curvas para localizar un objeto [39].

- **Métodos basados en la apariencia:** Se usa una clasificación de varias imágenes previas haciendo uso de redes neuronales y herramientas matemáticas como los Modelos Ocultos de Markov, sirven tanto en la detección como en la fase de reconocimiento [39].

2.2.3 Clasificador en cascada basado en funciones wavelets de Haar

Este método fue propuesto por Paul Viola, el cual estudió las funciones Haar wavelet que han sido una propuesta muy eficiente en el uso de detección de objetos, extrayendo información de la textura que describe el mismo [38]:

“Esta representación codifica en una imagen las diferencias de las intensidades promedio entre dos regiones rectangulares adyacentes, capturando las similitudes estructurales entre las instancias de la clase de objetos, en este caso el rostro”. Dicho de otra manera, a una captura de imagen se colocan zonas rectangulares de color blanco y negro, para luego sumar las intensidades de los píxeles y luego calcular las diferencias entre las mismas [38].

Para realizar el proceso de detección de un rostro es necesario aplicar zonas significativas a analizar y para lograr esto, se proponen rectángulos como se indican en la figura 9, siendo las básicas.

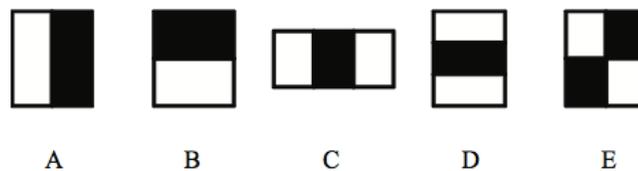


Figura 9 Rectángulos de características Haar [38].

En los casos A y B se calculan los píxeles que corresponden a las regiones rectangulares blanco y negro que pueden estar en forma horizontal o verticalmente adyacentes. *“Las características de tres rectángulos calculan la suma dentro de los dos rectángulos exteriores y a este valor se le resta la suma en el rectángulo central. Por último, las características de cuatro rectángulos calculan la diferencia entre pares diagonales de rectángulos”* [38].

En la siguiente figura se presenta cómo se realiza la descomposición usando las wavelets de Haar en una imagen de un rostro.



Figura 10 Rectángulos de características Haar aplicadas a una imagen. [38]

Para el cálculo de las características Haar a diferentes escalas se introduce la representación de la imagen conocida como imagen integral. *“La imagen integral puede calcularse a partir de una imagen con unas pocas operaciones por píxel. La imagen integral en el punto (x,y) se define*

como la suma de los valores de los píxeles que se encuentran por encima y a la izquierda de dicho punto en la imagen original”[38], es decir:

$$ii(x, y) = \sum_{a < x, b < y} i(a, b) \quad (1)$$

Donde $ii(x, y)$ representa la imagen integral e $i(a, b)$ el valor de la intensidad del píxel (a, b) en la imagen original. Posteriormente calculada la imagen integral, esta puede ser evaluada a cualquier escala o ubicación en tiempo constante [38].

2.2.4 Reconocimiento de rostros mediante Eigenfaces:

Sirovich y Kirby fueron los primeros en introducir el término eigenfaces para sistemas de reconocimiento facial. El objetivo de Sirovich y Kirby era caracterizar un conjunto de caras con un mínimo número de parámetros [42]. Eigenfaces está basado en PCA (Principal Components Analysis) para generar unas imágenes semejantes a caras llamadas eigenpictures [42].

El primer paso en un sistema de reconocimiento facial basado en eigenfaces es comprender el PCA, ya que el mismo permitirá un entendimiento de la representación de las imágenes de caras mediante eigenfaces. El PCA está basado en las propiedades estadísticas de las imágenes y es un método óptimo para reducir el número de dimensiones necesarias para representar un conjunto de vectores [42][43].

La matemática relacionada en reconocimiento de rostros mediante eigenfaces se la puede explicar de la siguiente manera [43]:

Eigenfaces en su etapa de entrenamiento y reconocimiento utilizan una base de rostros compuesta por un conjunto $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \dots, \Gamma_x$ de imágenes cuyas dimensiones son $N \times N$

La etapa de entrenamiento está dada por:

- Cada imagen Γ_i con $i=1,2,\dots,M$, es reorganizada como un vector de dimensión N^2 cuyo valor es construido como la concatenación de cada una de las filas de la imagen, formando así una matriz $N^2 * M$
- Se obtiene el rostro promedio aplicando la siguiente fórmula

$$\Psi = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Gamma_n \quad (2)$$

- El rostro promedio Ψ obtenido es restado a cada una de las imágenes Γ_i con i entre $1 \dots M$ obteniendo un nuevo conjunto de vectores

$$\phi = \Gamma_i - \Psi \quad (3)$$

Que conforman la matriz $\Lambda = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_m]$ de $N^2 * M$

- El siguiente paso es buscar los auto-vectores de la matriz de covarianza de Λ de dimensiones $N^2 * N^2$

$$C = \frac{1}{N^2} \Lambda \Lambda^T \quad (4)$$

“Estos vectores propios son los vectores ortonormales usados para construir la representación de las imágenes. El tamaño de la matriz C hace intratable este paso por el espacio y el tiempo requerido). Para solucionar este problema, se obtiene una aproximación de dichos vectores” [43].

- Se obtienen la matriz de covarianza reducida de dimensiones $M * M$

$$L = \frac{1}{M} \Lambda \Lambda^T \quad (5)$$

- Se obtienen los auto-vectores de L , los que ordenados de mayor a menor según sus correspondientes auto-valores, conforman la matriz v .
- Se aproximan los auto-vectores C donde cada columna de u representa un vector propio.

$$u = \Lambda v \quad (6)$$

- Se obtiene el patrón

$$\Omega_i^T = [w_1, w_2, \dots, w_m] \text{ con } i=1,2,\dots,M \quad (7)$$

Donde

$$w_k = u_k^T (\Gamma_i - \Psi) \text{ con } k=1,2,\dots,M \quad (8)$$

“Dada la imagen de un rostro como entrada del sistema, el proceso de reconocimiento intenta encontrar en la base de imágenes, aquella que se corresponde con el rostro dado, para lo cual se calcula su patrón Ω utilizando el mismo procedimiento anteriormente descrito, y se busca la distancia mínima” [43]

$$\text{Min}(|\Omega - \Omega_i|^2) \text{ con } i=1,2,\dots,M \quad (9)$$

Una vez encontrada la distancia mínima se indica cuál es la imagen correspondiente.

2.3 Selección de una técnica de detección y reconocimiento facial

Siguiendo los métodos descritos anteriormente, existen muchos algoritmos que sirven para la detección y el reconocimiento de rostros, por lo que se ha elegido como método principal el clasificador en cascada basado en wavelets de Haar y el algoritmo Fisherfaces, por sus eficientes resultados en la detección y reconocimiento de rostros, respectivamente.

2.4 Herramientas y librerías para visión por computadora

Existen varias librerías que se usan para la visión por computadora entre las cuales destacan las siguientes:

LTI-LIB

Características principales [40]:

- Usa el lenguaje de programación C++ completamente orientado a objetos siguiendo el estándar ANSI C++
- Funciona en diferentes plataformas basadas en sistemas Unix, Windows y GNU/Linux
- Fue creado en la cátedra de ciencias de la computación en la universidad técnica RWTH Aachen University
- Es software libre y usa la licencia publica general GNU

OPEN CV (Open Computer Vision)

Características principales [41]:

- Usa el lenguaje de programación C, C++, y contiene librerías para su uso en el lenguaje de programación Python, Java y Ruby, entre otros.
- Es compatible con Windows, GNU/Linux, Mac OS, iOS y Android
- Es enfocado a la eficiencia en aplicaciones en tiempo real
- Tiene más de 47 mil personas en la comunidad de usuarios
- Hace uso de la licencia BSD y es libre para uso académico y comercial.

VXL (Vision-something-Libraries)

Características principales [50]:

- Usa el lenguaje de programación C++
- Es compatible con sistemas basados en Unix, Windows, pero es recomendado especialmente en el sistema operativo Solaris, y en los basados en GNU/Linux
- Usa la licencia VXLLicense y puede ser usado en el ámbito académico y en la industria.

2.4.1 Tipos de cámara que se usan en visión por computadora

Una de las principales herramientas para el reconocimiento de imágenes y comunicación visual es la cámara y junto con ello las características que porta la misma. “*Su función básica es convertir la escena tridimensional en una señal temporal, analógica o digital, que puede ser tratada, almacenada en soporte óptico o magnético o modulada para transmitirse a un receptor remoto*” [75].

En la visión por computadora se usan distintos tipos de cámaras dependiendo del área en la que se necesite capturar la información visual, de esta manera cada cámara posee diferentes características y propiedades especiales, como por ejemplo, reconocimiento en la oscuridad, reconocimiento en imágenes microscópicas, en imágenes de ultrasonido, aéreas, espías, submarinas, entre otras [72]. Para cada una de estas tareas existe una amplia gama de clasificación de cámaras en el mercado siendo la que más uso se le da en el área de la visión por computadora a la cámara digital CCD (Charge-Coupled Device), el cual es un dispositivo de tamaño pequeño cuya función principal es elevar la calidad de la imagen y consumir menos energía [73].

Hay que tener en cuenta que la imagen adquirida por una cámara no siempre es la misma que se espera obtener, ya sea por la calidad de la misma o por diferentes parámetros en el momento de la captura, como la luz o el ambiente.

A continuación se destacan los tipos de cámaras más usadas para la captura de imágenes [75]:

- Cámaras compactas
 - Menor peso
 - Error en el desplazamiento de un objeto al cambiar un punto de vista.
- A.P.S (Advanced Photo System)
 - Más pequeñas que de 35 mm
 - Poseen indicadores de estado, impresión de datos, etc.
- Cámaras instantáneas
 - Genera una película auto revelable
- Réflex
 - Las más sofisticadas y versátiles
 - Muy usada en fotografía científica y digital
 - Tienen mayor peso, tamaño y son de difícil manejo
- Cámaras digitales
 - Se usan con más frecuencia en reconocimiento de imágenes
 - Actualmente son las más vendidas
 - Ofrecen mayor comodidad
- Cámaras especiales
 - Panorámicas(gran ángulo de visión hasta 360 grados)
 - Submarinas
 - Aéreas(satélite, cartografía)
 - Espía (uso científico y militar)

Es de gran interés conocer que el principio de las cámaras mencionadas pueden variar, ya que en el caso de las cámaras de fotografía digital (Digital Still Cameras) dicho principio se centra en registrar información de un fotograma y no de una secuencia de video completa [75]. De acuerdo a los diferentes principios que usan las cámaras, es importante conocer el modelo básico de funcionamiento de una cámara como se destaca en la figura 11.

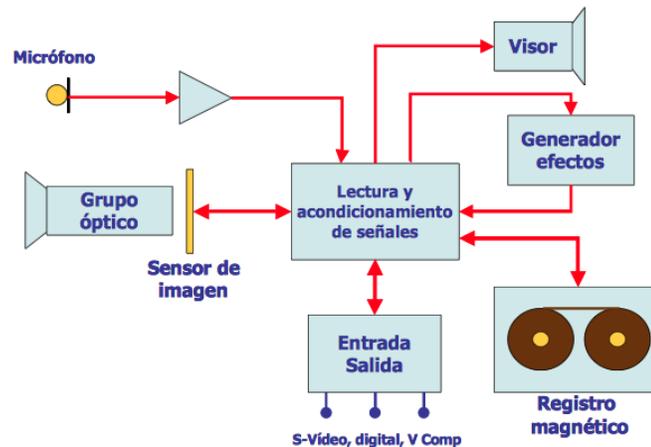


Figura 11 Diagrama de bloques de una cámara [76].

Es importante mencionar que el grupo óptico, el sensor de imagen y el subsistema de lectura y acondicionamiento de señal están presentes en todos los tipos de cámaras de video independiente de la aplicación a la que se destinen [75].

A continuación se detalla cada bloque del diagrama de la figura 11 [75].

1. Grupo óptico. Su función es de proporcionar una proyección plana de la escena sobre la superficie del sensor de la imagen
2. Sensor de la imagen. Es un dispositivo que transforma la luz incidente recibida en una señal eléctrica.
3. Lectura y acondicionamiento de la señal. Es el tratamiento de la señal para realizar múltiples funciones como el filtrado de las señales recibidas que conforman la imagen, para convertirlas al estándar de video como PAL, NTSC y formatos convencionales (video compuesto, S-Video, RF) que permiten su conexión con otros receptores como la televisión u otros.
4. Visor. Proporciona al usuario una réplica de la imagen que se recibe del sensor.
5. Registro magnético. Está presente en las cámaras que incorporan un sistema de registro de video y por lo general es un módulo separado.
6. Generador de efectos. Su función principal es de realizar modificaciones a la imagen capturada.
7. Micrófono integrado. Se usa para registro de la señal de audio.
8. Entradas y salidas. Proporcionan la señal de video y/o audio capturada por la cámara. Los formatos de salida pueden ser PAL, S-Video, digital etc. En las

webcam el formato de salida está diseñado para su adaptación a un puerto del ordenador como USB, RS-232.

2.4.2 Selección del tipo de cámara para detección y reconocimiento

Según lo estudiado e investigado anteriormente, se sabe que el tipo de cámara que con más frecuencia se usa es de tipo digital con dispositivo CCD, el cual se puede encontrar en la mayoría de cámaras en el mercado, siendo estas de tipo webcams de bajo costo y que a la vez son cómodas, ya que su tamaño es pequeño, por estas razones se ha elegido usar una webcam.

2.4.3 Selección de la Librería para detección y reconocimiento

Realizando un estudio de las librerías anteriormente mencionadas, se ha optado por elegir la librería OpenCV tanto para la detección, como para el reconocimiento de rostros, puesto que tiene grandes ventajas en la eficiencia y eficacia al momento de realizar aplicaciones en tiempo real. Además, posee una gran documentación y está muy bien especificada en diferentes lenguajes de programación. Asimismo, se ha elegido esta librería ya que al implementar su estructura básica en las plataformas GNU/Linux y sistemas basados en UNIX, poseen un correcto uso de la detección de hardware, para la construcción de esta tesis, como son las cámaras web y otros dispositivos como Arduino para control de los movimientos del robot.

Capítulo 3

Capítulo 3. Localización de fuentes Sonoras

3.1 Introducción al modelo de localización humano

Uno de los principales sistemas que componen el complejo funcionamiento del cuerpo humano es el sistema auditivo. Mediante este sistema, los seres humanos tienen la capacidad de detectar una infinidad de sonidos tales como la música, la voz o el ruido, y al mismo tiempo somos capaces de determinar la posición de donde proviene la fuente acústica con una facilidad y rapidez incomparable [51].

Esta capacidad de reconocer desde donde procede un determinado sonido y conjuntamente asociar a la fuente sonora que lo emite a una posición en el espacio, se la denominada localización sonora espacial, la cual muchas veces resulta ser de vital importancia [52]. En el transcurso de los últimos años la localización sonora espacial en los seres vivos ha sido objeto de múltiples estudios con el único fin de intentar comprender el funcionamiento del sistema auditivo y en cómo éste logra la localización de una fuente sonora [52].

La localización sonora espacial involucra varios ámbitos de la ciencia y un conocimiento en muchos aspectos relacionados a campos como la física, la biología, anatomía, la acústica, etc. Desde el punto de vista biológico, uno de los principales factores que complican el estudio de la localización sonora se debe a que cada persona posee una fisiología del oído externo distinta y por ende, una función de transferencia relacionada a la cabeza diferente, estos elementos sin duda dificultan el estudio del problema en sí [52].

La localización de una fuente en el espacio, solo es posible a partir de la audición biaural, o binaural. Con un solo oído no es posible localizar fuentes sonoras [51]. Estos conceptos se detallan en la siguientes subsecciones de este capítulo.

3.1.1 Percepción del sonido y el funcionamiento del oído humano

Como se mencionó anteriormente, uno de los sistemas más complejos en el cuerpo humano es el auditivo. Comparándolo con un sistema electrónico, el procedimiento que se da para la escucha está conformado por: un componente de toma de datos (oído externo y medio), un conversor analógico/ digital (oído interno) y un sistema de memorias o CPU central (cerebro), así las ondas acústicas provenientes del entorno donde se encuentra el individuo inciden sobre el pabellón auditivo penetrando por el canal y provocando la vibración del tímpano [53].

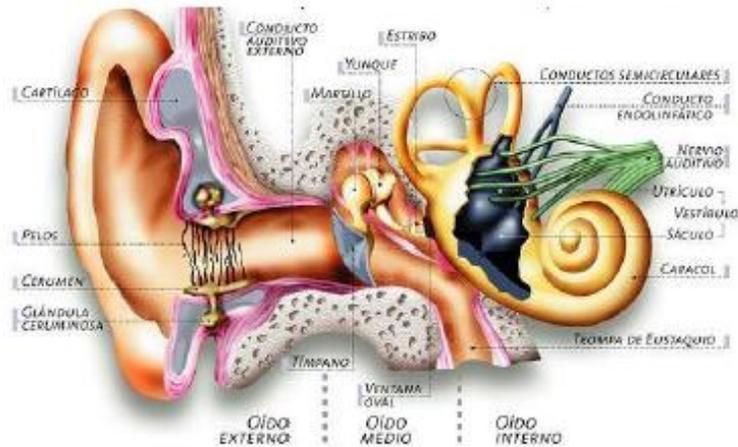


Figura 12 Componentes internos del oído Humano [53].

El sonido es captado por el oído que cumple la función de un receptor sensorial. La onda acústica receptada recorre las diferentes partes del oído. Primeramente pasa por el oído externo, formando por el pabellón auditivo, el cual recoge y dirige la onda hacia el oído medio, formado por tímpano, cadena de huesillos, canales vestibulares, etc. [53]. Las ondas recibidas son modificadas, antes de alcanzar los tímpanos, esto debido a la cabeza, el torso y el oído externo. Las respuestas impulsivas de cabeza (head-related impulse response, HRIR) o las funciones de transferencia de cabeza (head-related transfer function, HRTF), caracterizan dichas transformaciones. Estas son diferentes para cada oído y varían sistemáticamente con la ubicación de la fuente sonora en el espacio [54]. Posteriormente se convierten la onda sonora percibida en vibraciones que se transmiten hasta la cóclea y nervio auditivo, que configuran el oído interno. Finalmente estas vibraciones se convierten en un impulso eléctrico y de esta manera llega hasta el cerebro [53].

3.1.2 La audición binaural

En 1993 KleinerDalenbäck y Svensson explicaron por primera vez el concepto de auralización. Este concepto indica que si, *“mediante algún medio de reproducción de sonidos, se aplican a los tímpanos de un oyente las señales biológicamente correctas, será posible estimular en el mismo la sensación de presencia o inmersión en el entorno modelado”* [54]. El término auralización se refiere a una representación auditiva del espacio.

Como ya se mencionó anteriormente, no se puede realizar la ubicación de una fuente sonora con un solo oído, ya que al contar con un solo elemento receptor de audio solamente es posible distinguir aspectos relacionados a la frecuencia e intensidad del sonido [51].

El ser humano cuenta con un sistema auditivo binaural, ya que posee 2 oídos, los cuales tienen pabellones auditivos que se encuentran separados por un medio acústico opaco [53]. Este sistema binaural es el que hace posible localizar la fuente emisora del sonido, la localización se consigue gracias al procesamiento por separado de la información de cada oído [53].

La información que el cerebro recibe proveniente de los oídos no es igual, ya que ambos oídos están físicamente separados entre sí por la cabeza. Esta variación en la posición de los oídos es la que facilita y da pistas al cerebro que permiten la ubicación de la fuente del sonido. El cerebro localiza el origen del sonido midiendo las pequeñas diferencias de duración e intensidad entre los dos oídos. Además, el cerebro realiza una comparación de fase y nivel entre ambas señales. Si la señal acústica llegara al mismo tiempo a los dos oídos, no se podría identificar fácilmente la ubicación de la fuente sonora [53].

3.2 Técnicas basadas en micrófonos

Las técnicas basadas en micrófonos tienen una gran influencia en la calidad y nitidez del audio, es muy importante una correcta decisión en la selección y posicionamiento del micrófono que permitan una óptima localización de la fuente sonora [52].

3.2.1 Tipos de micrófonos

Existen múltiples definiciones de lo que es un micrófono, pero todas resumen y concuerdan en un solo punto. Un micrófono es un traductor que convierte la energía mecánica de las vibraciones, en energía eléctrica [55].

Existen varios tipos de micrófonos, a continuación se explica las principales características y el principio de funcionamiento de los 2 más comunes y utilizados

3.2.1.1 Micrófono dinámico

Un micrófono dinámico esencialmente está compuesto por un diafragma, una pequeña bobina de alambre y un imán. Su principio de funcionamiento se basa en que las ondas de sonido chocan con una delgada membrana de plástico (diafragma) que provoca vibras de dicha membrana. Estas vibraciones provocan el movimiento de una pequeña bobina de alambre está pegada en la parte posterior del diafragma. La bobina está rodeada de un campo magnético creado por un pequeño imán permanente. El movimiento de la bobina de voz en este campo magnético es lo que genera la señal eléctrica que corresponde al sonido capturado por el micrófono [55].

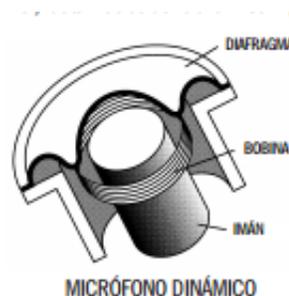


Figura 13 Componentes de un micrófono de tipo dinámico [55]

Entre las principales características que poseen este tipo de micrófonos se pueden mencionar la excelente calidad de sonido, además en condiciones extremas de temperatura o humedad casi no se ven afectados [55].

3.2.1.2 Micrófono de condensador

Los micrófonos de condensador están compuestos con una base de diafragma eléctricamente cargado y una placa posterior que conforma un capacitador sensible al sonido. *“Cuando se carga el elemento, se crea un campo eléctrico entre el diafragma y la placa posterior, proporcional al espacio que los separa. La variación de este espacio, debido al movimiento del diafragma en relación a la placa posterior, es lo que produce la señal eléctrica que corresponde al sonido capturado por el micrófono de condensador”* [55].

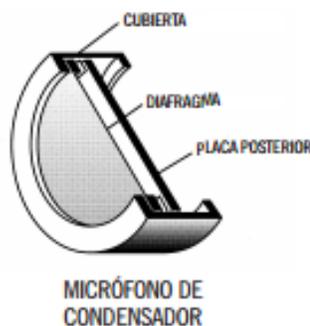


Figura 14 Componentes de un micrófono de tipo condensador [55]

Entre las principales características que poseen este tipo de micrófonos están que pueden verse afectados por condiciones extremas de temperatura y de humedad que los vuelven ruidosos, poseen una mayor sensibilidad y proporcionar un sonido más suave y más natural, especialmente en frecuencias altas [55].

3.2.2 Direccionalidad de micrófonos

Existen numerosos patrones de direccionalidad en el diseño de micrófonos. El direccionamiento hace referencia a *“la sensibilidad que tiene el micrófono al sonido, en relación a la dirección o ángulo de dónde llega el sonido”* [55]. El direccionamiento se representa en un patrón polar para mostrar gráficamente la direccionalidad del micrófono [56] [55]. *“El patrón polar muestra la variación en la sensibilidad de 360 grados alrededor del micrófono, asumiendo que el micrófono está en el centro y que 0 grados representa la parte frontal del micrófono”* [55].

Los tres modelos direccionales básicos de micrófonos son: omnidireccional, unidireccional y bidireccional.

- Micrófono omnidireccional tiene sensibilidad o salidas iguales en todos los ángulos, captura la máxima cantidad de sonido ambiental. Su ángulo de cobertura es total, 360 grados [56][55]

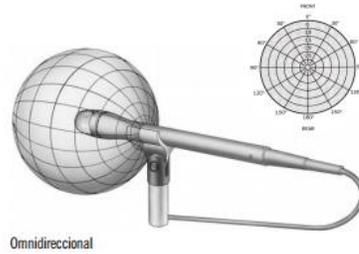


Figura 15 Representación gráfica del campo de un micrófono de tipo Omnidireccional [55]

- Micrófono unidireccional es más sensible al sonido que llega de una dirección en particular y es menos sensible a otras direcciones. Captura un tercio de sonido ambiental. El tipo más común es una respuesta cardioide. La cobertura real del ángulo de captura de un cardioide es de aproximadamente 130 grados, o sea de casi 65 grados fuera del eje en el frente del micrófono [55][56].

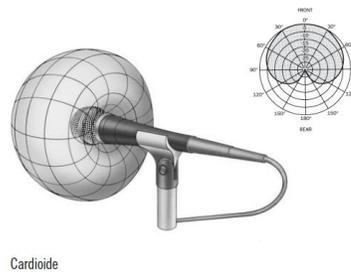


Figura 16 representación gráfica del campo de un micrófono de tipo Unidireccional [55]

- Micrófono bidireccional alcanza la máxima sensibilidad en ambos puntos: 0 grados (al frente) y 180 grados (en la parte posterior). Tiene el mismo alcance de captura ambiental que el cardioide. La cobertura del ángulo de captura es de sólo 90 grados [55][56].

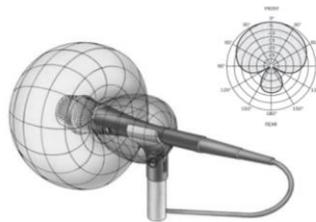


Figura 17 representación gráfica del campo de un micrófono de tipo Bidireccional [55]

3.2.3 Técnicas de micrófonos, localización sonora

Existen numerosas técnicas basadas en micrófonos para lograr una localización sonora. Cada una de ellas con diferentes características ya sea en la variación de ángulos o distancia entre los micrófonos, modos de cálculo o análisis de las señales percibidas utilizando trigonometría, entre otras [56].

En esta sección se comparan diferentes técnicas basadas en cómo se procesa la señal obtenida por los micrófonos y como estas técnicas se comparan con los métodos utilizados por el sistema auditivo humano para determinar la ubicación de una fuente de sonido en un ambiente real. Como ya se explicó anteriormente, el ser humano localiza la fuente sonora en el espacio, a través de señales externas que llegan a los oídos en diferentes niveles e intervalos de tiempo, lo que permite al cerebro inferir una dirección y distancia de donde se encuentra la fuente [52].

Se explica como un arreglo de micrófonos se pueden utilizar para localizar la fuente de sonido, utilizando los mismos principios que el sistema auditivo humano

3.2.3.1 DIT Diferencia Interaural de Tiempo

La diferencia interaural de tiempo DIT (ITD por sus siglas en inglés Interaural Time Difference), se define como la diferencia entre el tiempo de arribo de una señal a cada oído [52]. La diferencia de tiempo interaural permite explicar la capacidad que tiene los seres humanos de localización de fuentes de baja frecuencia [53].

La DIT se ve afectada por la cabeza y los oídos, que actúan como filtro reforzando algunas frecuencias y atenuando otras. La DIT es muy susceptible a cambios o variaciones en la frecuencia debido a interferencias y su percepción se ve afectada en bajas frecuencias, cuando la longitud de onda es lo suficientemente larga como para que la diferencia de fase entre la señal percibida por ambos oídos sea despreciable [53].

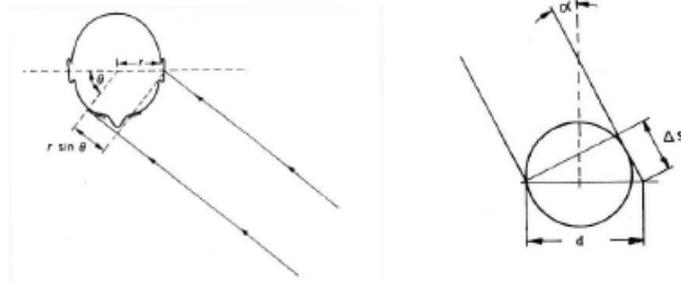


Figura 18 Representación esquemática de los ángulos en el cabeza [53]

Las DIT pueden ser calculadas a partir de las diferencias en las distancias que deben recorrer las ondas, pueden ir desde 0 milisegundos para fuentes sonoras ubicadas justo al frente del sujeto, es decir, con un ángulo de 0° , hasta cerca de 0.69ms para fuentes sonoras con un ángulo de 90° [53]

Los problemas con esta técnica surgen con sonidos cuyas frecuencias son superiores a los 1.5Khz, volviendo totalmente ambiguas a las DIT [3]. *“En función del azmuti¹ para diferentes elevaciones de la fuente, se tiene que la diferencia de tiempo de llegada es máxima para 90° y mínima para 270°”* [53].

3.2.3.2 DII Diferencia de Intensidad Interaural

La diferencia interaural de intensidad DII (IID por sus siglas en inglés Interaural Intensity Difference) se define como la diferencia de intensidad o amplitud que hay entre las señales que llegan a un oído y al otro [3][2]. *“Un evento sonoro situado a la izquierda del oyente provocará una sensación sonora más intensa en su oído izquierdo que en el derecho”* [53].

La DII al igual que la DIT, depende mucho de la frecuencia. En altas frecuencias se nota el efecto de sombra de la cabeza y las diferencias de intensidad son mayores. *“Sin embargo, para la localización de fuentes que emiten bajas frecuencias los efectos de la difracción son notables y, por tanto, el nivel de intensidad que percibimos en ambos oídos es similar”* [53]. Las DII son prácticamente despreciables para frecuencias inferiores a los 500HZ, pero pueden ser de hasta 20dB para frecuencias mayores de 5Khz [53].

3.2.3.3 ILD Diferencia de Nivel Interaural

La diferencia interaural de nivel ILD se define como la diferencia entre los niveles de las señales que arriban a cada oído [53][52]. ILD se calcula como la razón entre las energías de la señales.

Por ejemplo, si una fuente de sonido se encuentra a la izquierda del sujeto, el sonido llegará primero al oído izquierdo, pero tendrá que viajar hasta el otro lado para llegar al oído derecho, difractando el sonido alrededor de la cabeza para llegar al oído derecho y por lo tanto tendrá que recorrer una mayor distancia, abarcando tanto el efecto pantalla de la cabeza como la distancia extra que recorre. Este tiempo se llama (ILD) Interaural Level Difference [53].

De igual forma que DIT y DII, el ILD está muy ligado a la frecuencia. A frecuencia bajas, donde la longitud de onda del sonido es más grande que el diámetro de la cabeza, hay poca diferencia de presión sonora en las dos orejas, sin embargo, a altas frecuencias donde la longitud de onda es pequeña, puede haber 20 dB o más de diferencia [53].

3.2.3.4 HRTF Función de Trasferencia

“Función de transferencia cabeza (HRTF) es el término que se le da a la filtración espectral de una fuente sonora antes de que alcance el tímpano y es causado primariamente por el oído

¹ Azimut= El valor del azimut indicará el ángulo de movimiento en el plano horizontal. Este ángulo azimut se mide desde el norte geográfico en sentido de las agujas del reloj tiene un valor de 0° a 360°

externo” [57]. La HRTF describe matemáticamente el efecto producido por la cabeza y torso sobre los sonidos procedentes de una determinada posición [53].

“Las HRTF captan todas las señales físicas ayudando a la localización de la fuente y son diferentes para cada persona, tomando en cuenta las medidas de pabellón auditivo, cabeza y torso, ya que no todos tenemos las mismas medidas” [53]. Para encontrar la presión sonora que una fuente $x(t)$ produce en el tímpano, “es necesario obtener la respuesta al impulso $h(t)$ desde la fuente a el tímpano. A esta relación le llamamos relación-cabeza con respuesta al impulso (HRIR) y su transformada de Fourier $H(f)$ se llama Head Related Transfer Function (HRTF)” [53]. La HRTF traduce colectivamente como una sola señal para cada posición de la fuente sonora. En otras palabras, una única frecuencia que depende de las diferencias de amplitud y de tiempo se impone ante una señal entrante para una posición dada de la fuente [57].

Dado que HRTF primeramente debe medir las características de la habitación, el uso HRTF se ve limitado en lo que se refiere a localización de sonidos en dispositivos móviles o robots que cambia su posición por un desplazamiento o rotación. Se necesita una gran cantidad de tiempo para medir HRTF [58].

3.2.3.5 Multilateración

El método de multilateración, conocido también como posicionamiento hiperbólico, se basa en la localización de una fuente sonora por medio del cálculo de la diferencia de tiempo de llegada de una señal emitida por un objeto a tres o más receptores. Es técnica tiene una relación estrecha con la diferencia interaural de tiempo DIT [59].

Esta técnica básicamente consiste en que si se tiene un objeto ubicado en algún punto del espacio (X, Y) emitiendo una señal, y se dispone de 2 micrófonos ubicados en puntos conocidos del plano (X_a, Y_a) ; (X_b, Y_b) los tiempos que tarda la señal propagada desde la fuente a los sensores a una velocidad V está dada por [59].

$$T_A = \frac{\sqrt{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2}}{V} \quad (10)$$

$$T_B = \frac{\sqrt{(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2}}{V} \quad (11)$$

Si los tiempos expresados en las ecuaciones anteriores, pueden ser medidos y la velocidad de propagación del sonido también es conocida, la pareja de coordenadas (X, Y) que determina la posición de la fuente puede ser encontrada [59].

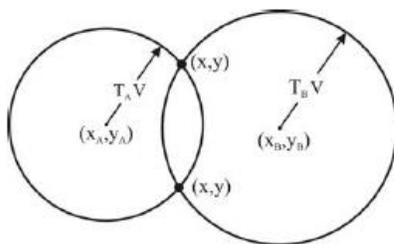


Figura 19 Solucione grafica conociendo los tiempos absolutos de las señales [59].

El principal inconveniente de esta forma de localización de fuentes sonoras, reside en la necesidad de la medición de tiempos absolutos T_A y T_B . “Para lograrlo, los detectores tendrían que estar sincronizados con el emisor, es decir, el instante de emisión de la señal a detectar debe iniciar la medición del tiempo de propagación de la señal hasta alcanzar el sensor correspondiente. Esta condición limita este esquema en términos de sus posibilidades reales de aplicación” [59].

Para solucionar este inconveniente entra en juego la diferencia interaural de tiempo DIT, es decir, considerar la diferencia entre los tiempos de llegada de la señal a cada uno de los micrófonos, esta solución elimina el requerimiento de mediciones absolutas de los tiempos de viaje de la señal, conduce a una única ecuación con dos incógnitas [59].

$$\tau_B = T_B - T_A = \frac{\sqrt{(x-x_B)^2+(y-y_B)^2}}{V} - \frac{\sqrt{(x-x_A)^2+(y-y_A)^2}}{V} \quad (12)$$

Puesto que esta última ecuación (12) no da la solución para determinar la ubicación de la fuente sonora, es necesaria otra ecuación, y es aquí donde el tercer micrófono entra en juego. Un tercer detector ubicado en un punto conocido del plano (X_c, Y_c) permite generar una segunda ecuación

$$\tau_c = T_c - T_A = \frac{\sqrt{(x-x_c)^2+(y-y_c)^2}}{V} - \frac{\sqrt{(x-x_A)^2+(y-y_A)^2}}{V} \quad (13)$$

La solución simultánea de las ecuaciones (12) y (13) proporciona las coordenadas (X, Y) de la posición de la fuente sonora [59].

3.3 Imágenes Estéreo

El término estéreo se relaciona a la estereografía, que según la Real Academia Española significa “Método para representar objetos tridimensionales en un plano, por medio de sus proyecciones.”[61]

El sistema estéreo relacionado al sonido nace de la idea del ingeniero Alan Dower Blumlein cuando concebía la idea de sistema estéreo o sonido binaural [60]. Los términos imagen estéreo relacionados al sonido vienen dados ya que se usa la misma lógica de funcionamiento, cuando

se tiene una secuencia de dos imágenes una capturada desde un ángulo y la otra desde el mismo ángulo más una diferencia teniendo que ser esta no muy grande respecto al primero, de esta manera al ejecutar esta secuencia de dos imágenes se obtiene una escena que parece estar en 3D [61].

El objetivo de la captación del sonido usando la microfónica estéreo es de obtener una imagen estéreo de dos fuentes sonoras diferentes, con la configuración adecuada de los micrófonos que se usen [61].

Existen diferentes métodos de captación estereofónica, de los cuales se ha hecho un breve estudio dando como mejor resultados los que se describen a continuación.

3.3.1 Par coincidentes

Esta configuración se realiza con dos micrófonos como se indica en la figura 20, los mismos que reciben la señal y esta a su vez es portadora del nivel de intensidad y de amplitud. Esto se usa para analizar la localización de la fuente sonora [61]. Dado que cada micrófono recibe la señal, mientras menos diferencia de nivel exista en la señal que recibió cada micrófono, se dice que la localización de la fuente sonora está centralizada, es decir, se posiciona justo al frente de ambos micrófonos. En el caso de que la fuente sonora se posicione más a la derecha el micrófono R (indicado como ejemplo en la figura 21), tiende a recibir un nivel de entrada más alto, mientras que si la fuente sonora está más a la izquierda entonces el nivel de entrada en el micrófono L es más alto [62]. A través del análisis de las diferencias de nivel indicado en este método se puede saber si una o varias fuentes sonoras se posicionan al centro, a la derecha, o a la izquierda de la configuración de los micrófonos.

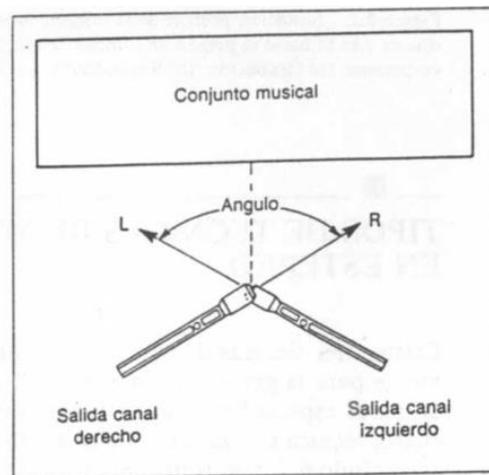


Figura 20 Método de par coincidentes [62]

En este método se puede configurar el análisis de diferencias de nivel, dadas por los micrófonos direccionales, sean estas de intensidad o amplitud para determinar la posición de la fuente sonora [62].

Para mejorar el mecanismo de este método se ha recomendado la configuración Blumlein, que usa dos micrófonos angulados a 90 grados [62].

Al encontrar una diferencia de tiempo dada por la recepción de una señal a través de los canales se puede predecir la localización del objeto de la fuente de sonido a través del ángulo θ y para ello se realiza el siguiente análisis, dando como resultado una diferencia de tiempo Δt [62].



Figura 21 Esquema angular de la configuración de micrófonos y la fuente de sonido [62]

$$\Delta t = \frac{\sqrt{D^2 + \left[\left(\frac{S}{2}\right) + D \tan \theta_s\right]^2}}{C} \quad (14)$$

Las variables se explican a continuación [62]

- Δt = diferencia de tiempo entre canales en segundos
- D = distancia de la fuente a la línea de unión de los micrófonos en pies
- S = separamiento de los micrófonos en pies
- θ_s = ángulo de la fuente,
- C = velocidad del sonido(1130 pies por segundo)

3.3.2 Par espaciado

En esta técnica también llamada A-B se configuran dos micrófonos omnidireccionales como se indica en la figura 22 de tal manera que mientras más separados estén los micrófonos se obtiene una mayor amplitud en la entrada de los dos canales, es decir, en el estéreo [62].



Figura 22 Método de par espaciado [62]

Siguiendo el funcionamiento de la captación de las señales mediante HRTF este método usa el análisis de la señal en estéreo dada por cada canal o micrófono, resultando muy similar dicha señal cuando la fuente sonora esta en frente y al centro, ya que la distancia de la fuente sonora es equivalente a ambos micrófonos para que el tiempo de la señal sea casi igual al llegar a ambos micrófonos y de otra manera, si la fuente sonora se ubica a cualquier lado del centro, es decir, a la derecha o izquierda, esta estará más cerca de un micrófono, por lo que el tiempo de llegada de la señal a este micrófono será menor dado el análisis de un retardo en milisegundos[62].

El análisis matemático para la solución de Δt en éste método da la simplificación de la ecuación 5 especificada en el método de par coincidentes siendo la siguiente:

$$\Delta t = \frac{S \text{ sen} \theta_s}{c} \quad (15)$$

Suponiendo que el espaciamiento de los micrófonos es de 10 pulgadas (25 cm) y la diferencia de tiempo receptada por los canales da 1.5 milisegundos y dada la velocidad del sonido en el aire 343m/s la ecuación quedaría de la siguiente manera

$$1.5\text{ms} = \frac{10 \text{ sen} \theta_s}{343} \quad (16)$$

De donde ya se puede despejar θ_s obteniendo la ubicación de la fuente sonora.

3.4 Selección de la técnica de localización de fuentes sonoras

En base al proceso de investigación de las múltiples técnicas existentes para la detección de una fuente sonora expresadas en este capítulo, se escogió la técnica de DIT Diferencia Interaural de Tiempo, expuesta en la sección 3.2.3.1. Se seleccionó esta técnica de localización sonora, ya que se considera que puede dar una solución eficaz, eficiente y sobre todo de fácil implementación para uno de los objetivos propuestos en este tema de tesis.

La posición de una fuente sonora en el plano, utilizando DIT puede ser calculada matemáticamente de la siguiente manera:

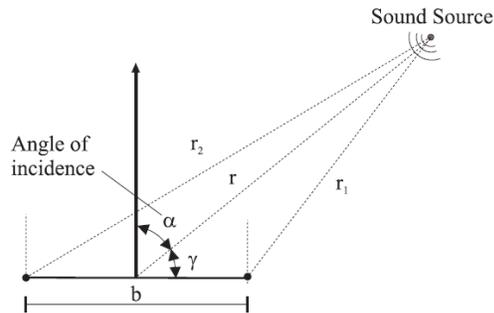


Figura 23 Representación de micrófonos y fuente de sonido [71]

En la figura 24 se muestra una posible situación real. Considérese que la fuente de sonido este ubicada en un punto del plano (X,Y) , donde “ r ” es la distancia entre el foco de la fuente al centro que une ambos micrófonos. “ b ” es la distancia que separa ambos micrófonos, “ $r1$ ” y “ $r2$ ” son las distancias del foco al micrófono derecho e izquierdo respectivamente. “ θ ” es el ángulo que indica la dirección de la fuente de sonido desde al eje X , su valor va de 0° a 180° , “ α ” es el ángulo complementario de “ θ ” y su valor corresponde a $\alpha = 90 - \theta$ y su rango va de $-90,90$ [70].

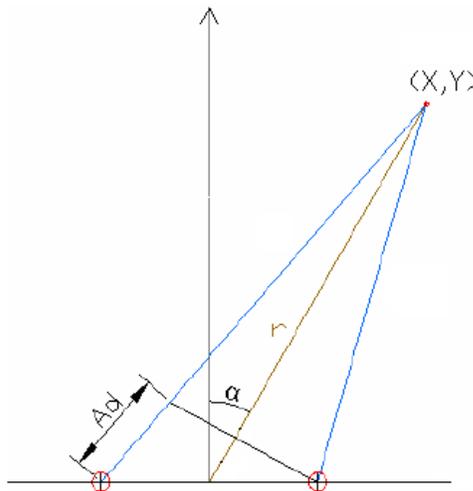


Figura 24 Representación geométrica del cálculo del Angulo [70]

Lo que se busca al aplicar este método es poder determinar el valor numérico de todos los posibles ángulos de donde se encuentre localizado el foco de la fuente sonora. Si la fuente sonora se ubica a la derecha del centro del segmento, se considerarán ángulos positivos y se considerarán negativos los que provienen de la izquierda del centro del segmento [70].

A partir del valor de la DIT se calcula la distancia “ Ad ” siendo esta la diferencia de distancia que recorre la señal del canal que llega al primer micrófono con respecto a la señal que llega al segundo.

$$Ad = DIT * V_{sonido} \quad (17)$$

La velocidad del sonido es un dato conocido siendo esta de 340 m/s para un entorno de condiciones normales

Para este método geométrico se considerará que la distancia “ r ” es mucho mayor que la distancia entre sensores “ b ” (al menos el doble). Por lo que el ángulo que marca la dirección de la fuente de sonido es aproximadamente [70]

$$\alpha = \text{sen}^{-1} \left(\frac{Ad}{b} \right) \quad (18)$$

3.5 Desarrollo de la aplicación

En esta sección se describe las etapas en el desarrollo del hardware y del sistema utilizado para la localización sonora.

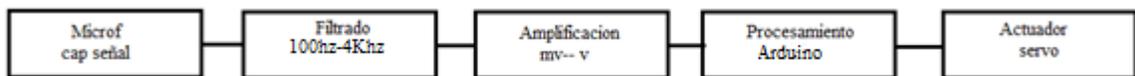


Figura 25 Diagrama a bloques del sistema implantado [83]

Etapas

1 Captación de la señal

Las señales son percibidas por el sistema mediante micrófonos, los cuales son los encargados de transformar la energía acústica en energía eléctrica, para el posterior registro, almacenamiento y procesamiento de las señales de audio [70].

2 Filtrado de la señal

Es necesario primero filtrar la señal de audio para su posterior amplificación, pues si se amplifica la señal antes de filtrarla, componentes indeseables como ruido también se amplificarán. Para que el sistema reaccione ante la presencia de un humano es necesario filtrar la señal de audio en el rango de frecuencias de la voz humana, esto es frecuencias comprendidas entre los 100hz hasta los 4000hz

El filtro diseñado es un filtro activo pasa banda de orden 2, se han elegido filtros activos, ya que los filtros pasivos RLC presentan grandes inconvenientes prácticos para las bajas frecuencias, además de ser más compactos y fáciles de implementar [70].

3 Amplificaciones de la señal

Los micrófonos devuelven una señal cuyo rango de trabajo es en milivoltios, con lo cual se dificulta el trabajo de procesamiento. Esto se soluciona amplificando la señal aproximadamente 300 veces su valor para trabajar en rangos de 0-5 voltios.

4 Procesamientos de la señal

Para el cálculo matemático y medición del tiempo de arribo de cada señal a los micrófonos se utilizó una tarjeta Arduino, en la cual se conectan los sensores acústicos y cuando la señal sonora llega a cualquiera de los dos sensores, se inicia el conteo del tiempo y de esta manera poder determinar la DIT.

El análisis matemático programado en la tarjeta Arduino se encarga de determinar el ángulo de donde proviene el sonido, se deben considerar algunos aspectos como:

- La distancia entre los dos micrófonos es de 26 cm
- La velocidad del sonido es de 340 m/s.
- Los ángulos están representados en grados.
- Las distancias están representadas en metros.
- La DIT está representada en segundos.

5 Actuador

En esta etapa, una vez conocido el ángulo de giro, se envía dicho dato a un servomotor que se encarga de girar la estructura a la posición indicada

3.6 Reconocimiento de voz

“Se conoce como reconocimiento al sistema computacional capaz de procesar la señal emitida por un ser humano y convirtiéndola en órdenes, imágenes o texto, en otras palabras permite la comunicación entre seres humanos y computadoras” [64].

En la actualidad existen diversas técnicas para el reconocimiento del habla, tales como basadas en comparación de plantillas o patrones que consisten en comparar un patrón a reconocer, métodos usando modelos ocultos de Markov, el cual usa reconocimiento de patrones en base a parámetros desconocidos. Así también, existen métodos basados en redes neuronales, las cuales usan señales de entrada para ser procesadas en diferentes capas y así obtener una salida esperada [64]. Todos estos métodos son de gran interés y susceptibles de ser llevados a algoritmos informáticos, los cuales ya están implementados en diferentes librerías, por lo que para esta tesis se ha optado el uso de una librería específica para programar la secuencia de órdenes que se dará al robot.

3.6.1 Selección de la Librería de Reconocimiento de voz

Hoy en día existen muchas librerías para el reconocimiento del habla entre las cuales destacan las siguientes, las mismas no teniendo costo alguno.

Sphinx4

Es una herramienta de reconocimiento de voz implementada en Java y es parte del conjunto de herramientas de CMUSphinx [65].

Principales características [65]:

- Usa la metodología de los modelos ocultos de Markov
- Funciona en diferentes plataformas como Windows, GNU/Linux y Mac OS
- Define una gramática basada en una lista de palabras
- Optimiza el uso de la memoria al trabajar con modelos de N-Gramas que son subsecuencias de N elementos de donde se extrae datos.
- Permite trabajar con archivos de gran tamaño

The Web Speech API – Google

Esta librería es especificada inicialmente por la W3C Community Group, la cual da a los desarrolladores la posibilidad de implementar reconocimiento de voz mediante el lenguaje programación JavaScript [66]. Ha sido usada e implementada por la empresa Google en su navegador Chrome, permitiendo ser accedida desde algún lenguaje de programación mediante el API que se para su uso.

Características principales [67]:

- Búsqueda web mediante voz
- Dominios de gramáticas basadas en entradas anteriores
- Traducción del habla
- Se puede usar desde diferentes plataformas y con diferentes lenguajes de programación como C, C++, Java, Python, Ruby, etc.
- Para las operaciones que se pueden realizar en una frase como substitución de una palabra por otra, borrar o insertar se usa los modelos ocultos de Markov
- Establece una distinción entre las partes de una transcripción
- Hace uso de la petición de permisos para usar el micrófono.
- Realiza una grabación del audio desde el micrófono y se envía a través de una petición POST HTTPS al servicio web de reconocimiento de voz

Julius

Es un software basado en el modelo de N-Gramas para el reconocimiento de voz muy eficiente en tiempo real y ha sido creado como software de investigación y actualmente se encuentra en desarrollo a cargo de la Interactive Speech Technology Consortium (ISTC). [69].

Características principales [18]:

- Usa diccionarios de pronunciación
- Se puede usar en varias plataformas basadas en Windows, Unix y Linux
- Usa el lenguaje de programación C y C++ y es de código abierto por lo que puede ser usado académicamente y en la industria sin costo alguno
- Puede usar archivos para ejecutar el reconocimiento del contenido de los mismos.

Entre las librerías estudiadas se ha seleccionado el Web Speech API que implementa Google, ya que da un acceso sin costo alguno y los resultados son óptimos, además de que se puede usar desde diferentes lenguajes de programación, empleando por completo el API, el mismo que no implica un alto grado de complejidad al momento de ser usado.

Capítulo 4

Capítulo 4. Diseño funcional y estructural del Robot

Existen diferentes funciones que cumple un robot asistente, algunas de las más importantes son la capacidad de contar con visión artificial, reconocer comandos de voz, presentar de información solicitada y ejecutar movimientos. Para que estas funciones sean ejecutadas de manera eficiente la estructura es un punto importante, ya que en ella se define el diseño mecánico, el hardware y sistema de control y el dimensionamiento del robot [76].

4.1 Diseño modular del robot asistente

Cada módulo que posee el robot asistente es presentado en la figura 26 y posterior al mismo, se especifica el contenido de cada uno de ellos.

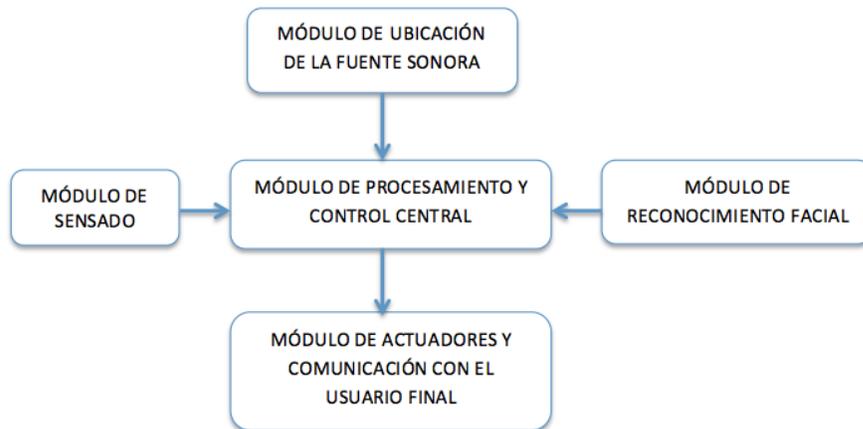


Figura 26 Diagrama Modular del Robot [83]

Arquitectura y circuitería interna del robot

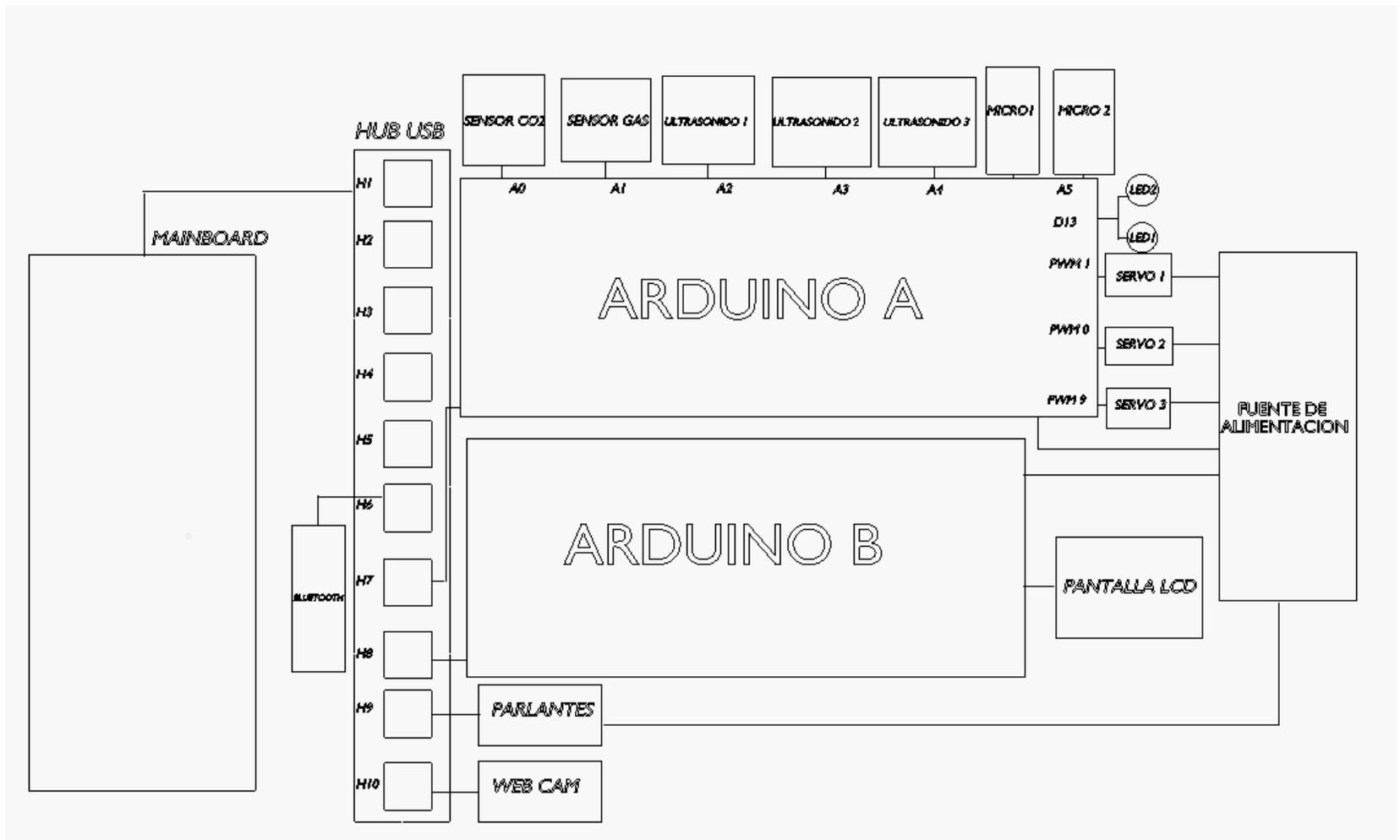


Figura 27 Arquitectura del robot asistente

4.1.1 Módulo de Procesamiento y control central

El procesamiento y control central se encarga del tratamiento de las señales que son recibidas por parte de los módulos de ubicación de la fuente sonora, reconocimiento de rostros, y censado, luego al ser tratadas las distintas señales se procede a controlar los actuadores o dispositivos electromecánicos.

Software que posee el módulo

- Sistema operativo GNU/Linux basado en Debian sobre el que se implementa cada programa.
- Algoritmos de detección y reconocimiento de rostros usando la librería OpenCV para C++.
- Script para implementación del API de Google para reconocimiento de la voz.

Hardware que posee el módulo

- **Mainboard:** Encargado del procesamiento central, aloja el sistema operativo y todos los programas informáticos y realiza la comunicación con el resto del hardware.

Funcionalidades del módulo

- Tratamiento de las señales recibidas por los sensores y envío de datos a los actuadores (a través de las tarjetas Arduino).
- Captación de la señal de video por medio de una cámara web para posteriormente ser tratada la señal para la identificación y reconocimiento de rostros.
- Controlar los dispositivos Arduino y a su vez los distintos dispositivos de hardware.

4.1.2 Módulo de reconocimiento de rostros

Este módulo hace uso de los algoritmos de Wavelets de Haar y FisherFaces para detección y reconocimiento de rostros, respectivamente. El código ha sido desarrollado usando OpenCV para C++ y está instalado en el sistema operativo.

Es importante mencionar que este módulo posee en memoria un corpus de rostros a ser reconocidos, los cuales están almacenados también en la memoria del mainboard.

Software que posee el módulo

- Algoritmo de detección y reconocimiento de rostros usando las Wavelets de Haar y FisherFaces, respectivamente. Estos algoritmos están programados en C y C++ y se usa OpenCV, como se mencionó anteriormente.

Hardware que posee el módulo

- Una cámara web de 5 Mega Pixels que se conecta al dispositivo de procesamiento (mainboard).

Funciones que posee el módulo

- Identifica y compara el rostro de una persona o varias personas usando la base de datos de rostros, de tal manera que se determina con qué persona se efectúa la interacción.
- Guarda la posición del rostro detectado en memoria para realizar un seguimiento del mismo.

4.1.3 Módulo de ubicación de la fuente sonora

Este módulo hace uso de un micrófono tipo Electret para recepción de las señales acústicas, procesa dichas señales y localiza la fuente sonora

Software que posee el módulo

- Algoritmo para localización de la fuente sonora y envío de la coordenada al módulo de control.

Hardware que posee el módulo

- Circuito de recepción, transducción y acoplo de la señal sonora contenedora del micrófono.

Funcionalidades que posee el módulo

- **Captación de la señal del micrófono:** Se usa el micrófono tipo electret para captación de la señal de sonido de la fuente sonora.
- **Filtrado de la señal:** Se usa un filtro analógico para mejorar la señal adecuando únicamente el sonido que se usará más no el ruido que está en el ambiente.
- **Amplificación de la señal:** Se usa para dar una ganancia de voltaje a la señal, con lo que se obtiene una mejoría en la misma.
- **Procesamiento mediante placas Arduino:** Se realiza el cálculo geométrico para ubicar la fuente sonora.
- **Actuadores servos:** Se usan para dar una posición al robot dependiendo de la fuente sonora.

4.1.4 Módulo de sensado

El sistema sensorial electrónico que posee el robot humanoide sirve para captar las distintas señales del entorno en el que se encuentra y procesarlas dando lugar a una respuesta rápida y de esta maneja lograr una interacción más amigable con el usuario

Software que posee el módulo

- Scripts que se encuentran en el dispositivo Arduino, los mismos que sirven para la lectura de las señales recibidas por los sensores de CO₂, gas y ultrasonido.

Hardware que posee el módulo

- **Dos sensores ultrasónicos:** Su objetivo principal es de censar la aproximación de una persona u objeto en general.
- **Sensor de CO₂:** Sirve para medir el nivel de concentración de CO₂ en el ambiente y según ello generar una alarma o aviso al usuario.
- **Sensor de gas:** Sirve para determinar la presencia de gas doméstico en el ambiente y disparar una alarma inmediata al usuario.

4.1.5 Módulo de actuadores y elementos de comunicación con el usuario

En este módulo es el encargado de la comunicación entre el robot y el usuario final, para presentar la información que se solicita se hace uso de una pantalla LCD.

También se define la manera en la que el robot ejecuta los movimientos al recibir una orden a través de comandos voz, por lo que se debe prestar atención a la naturalidad del robot al ejecutar dichos movimientos. Por esta razón, es importante definir el diseño de la estructura y la morfología que poseerá el robot asistente.

Software que posee el módulo.

- Script para definir el movimiento de la cabeza en “x” e “y” y torso en “x” del humanoide, dependiendo de la posición en la que se encuentra el usuario.

Hardware que posee el módulo.

- **Servo uno:** Sirve para el movimiento en el eje “x” de la cabeza del humanoide.
- **Servo dos:** Sirve para el movimiento en el eje “y” de la cabeza del humanoide.
- **Servo tres:** Sirve para el movimiento en el eje “x” del torso del humanoide.
- **Leds de ojos:** Sirven para indicar que el robot está encendido y dar naturalidad.
- **LCD:** Sirve para enviar mensajes y dar una respuesta visual al usuario.

4.2 Diseño estructural del robot asistente

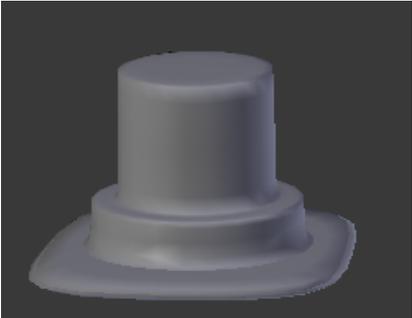
Esta sección se centra en el modelado y construcción de las partes que componen el robot, las mismas que se diseñaron en el programa Blender 3D. Dicho programa dispone de una amplia gama de herramientas para el modelado en 3 dimensiones, simulación, programación y librerías orientadas a las funciones de robótica.

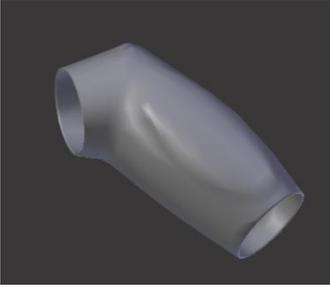
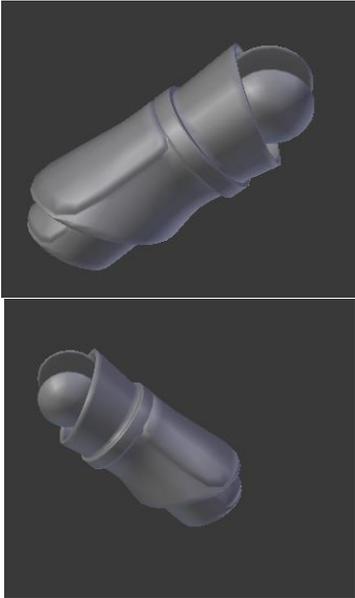
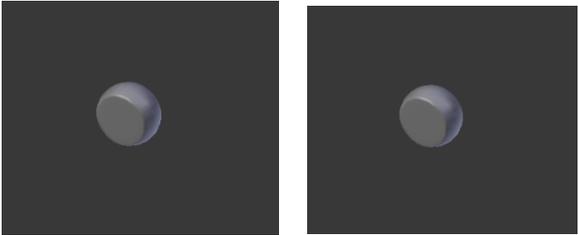
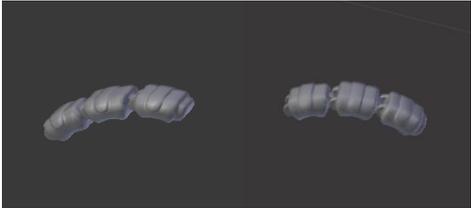
4.2.1 Construcción de las partes que conforman el robot

La elaboración de las partes que componen el robot fueron realizadas con plástico ABS (**Acrilonitrilo Butadieno Estireno**) por medio de una impresora 3D. Este plástico presenta ventajas en sus propiedades físico-mecánicas. Entre las principales características se encuentran las siguientes:

- Resistencia al impacto (200-400)
- Densidad (1,05)
- Amplio rango de temperatura de uso (de -40 a 130 °C)
- Coeficiente de fricción (0.5)

A continuación se presenta una tabla de los diseños realizados en Blender 3D, los mismos que fueron construidos en una impresora 3D Cubex Trio.

	<p style="text-align: center;">Cabeza</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none">• Cabeza del robot humanoide con ojos boca y ranura para insertar el cuello. <p>Medidas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Dimensiones: 16x15x15 cm.• Espesor: 5mm. <p>Propiedades Físicas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Masa: 800g• Material: Plástico ABS
	<p style="text-align: center;">Cuello</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none">• Cuello con base <p>Medidas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Dimensiones: 5x6x3 cm.• Espesor: 4.2mm <p>Propiedades Físicas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Masa: 52g• Material: Plástico
	<p style="text-align: center;">Brazos</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none">• Se sujeta al cuerpo del robot y sirve para dar naturalidad a los movimientos que ejerce el tórax <p>Medidas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Dimensiones: 13x8x16• Espesor: 5.1mm <p>Propiedades Físicas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Masa: 400g• Material: Plástico

	
	<p style="text-align: center;">Antebrazos</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estructuras que dan soporte a los brazos, además sirven para sujetar los dedos de la mano <p>Medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: 6.4x7x15cm • Espesor: 5.1mm <p>Propiedades Físicas :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Masa: 420g • Material: Plástico
	<p style="text-align: center;">Codos</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sirven de unión entre el brazo y antebrazo del robot para dar soporte y movilidad a estas partes. <p>Medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: 4.7x2x4.7cm • Espesor: 5.1mm <p>Propiedades Físicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Masa: 80g • Material: Plástico
	<p style="text-align: center;">Dedos</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se sujetan al antebrazo para formar la mano del robot <p>Medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: 1.5x1.5x2 cm • Espesor: 5.1mm <p>Propiedades Físicas:</p>

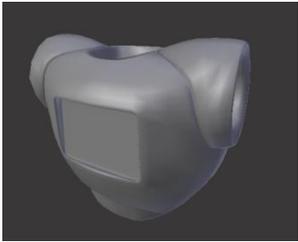
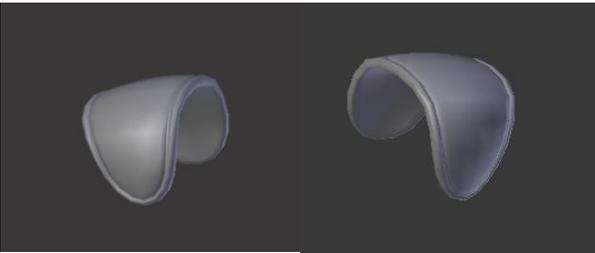
	<ul style="list-style-type: none"> • Masa: 180g • Material: Plástico
	<p style="text-align: center;">Tórax</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estructura central y principal de robot. Da soporte y estabilidad, además posee mecanismos de movimiento para el cuello. <p>Medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: 18x10x16 cm • Espesor: 5.1mm <p>Propiedades Físicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Masa: 860g • Material: Plástico
	<p style="text-align: center;">Hombros</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sirven de unión y soporte entre el brazo y el tórax, dando naturalidad al movimiento y soporte a la estructura <p>Medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: 9x13x9 cm • Espesor: 5.1mm <p>Propiedades Físicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Masa: 160g • Material: Plástico

Tabla 2 Objetos diseñados en Blender 3D y sus características.

La tabla 3 contiene los objetos que fueron construidos haciendo uso de la impresora 3D, después de impresas las piezas, se les colocó una capa de masilla plástica esperando un día entero para que estas se sequen completamente, para luego colocar una capa de adherente para pintura y finalmente dos capas de pintura de color azul y blanco de acuerdo al diseño previamente realizado.





Tabla 3 Objetos impresos y pintados.

4.2.2 Morfología del robot asistente

Muchos de los robots que existen en la actualidad ayudan a resolver tareas a las personas con discapacidad física o mental, de tal manera que la morfología del robot y las partes que lo componen deben estar bien fabricadas para brindar un buen funcionamiento y además debe ser estéticamente amigable para lograr una experimentación eficaz de interacción con el paciente [77].

La morfología del robot se detalla en los siguientes puntos.

4.2.2.1 Estructura mecánica

La estructura mecánica del robot consta de funciones que imitan el movimiento del cuello humano, limitándose a realizar el giro alrededor de los ejes "x" de 0 a 180 grados mientras que en "y" el movimiento está delimitado entre 0 y 70 grados

4.2.2.2 Elementos motores

Existen tres grados de libertad para la dinámica del robot, dos grados de libertad para el movimiento del cuello y un grado de libertad para el movimiento del torso.

Cuello

Se realiza la configuración de dos servomotores para el movimiento en X, Y de la cabeza.

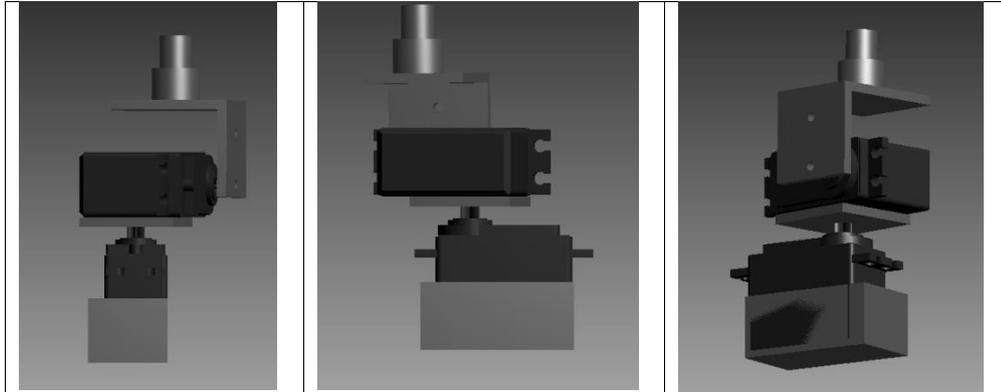


Figura 28 Configuración de los servomotores del cuello del robot

Torso

Se ensambla el servomotor a una pieza mecánica como se muestra en la figura 29.

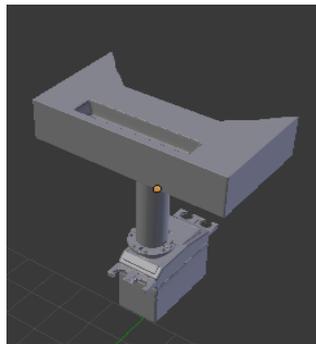


Figura 29 Mecanismo para movimiento del dorso.

4.3 Protocolo de funcionamiento e iteración con el usuario

Este protocolo se establece en base a la manera de efectuar las tareas que cumple el robot con el usuario final, para esto se diseña el protocolo usando 4 elementos fundamentales de funcionamiento e iteración con el usuario que son:

1. Funcionamiento e iteración general con el usuario.
2. Funcionamiento e iteración en base a detección y reconocimiento de rostros.
3. Funcionamiento e iteración en base a reconocimiento de comando de voz.
4. Funcionamiento e iteración en base a la asistencia personal al usuario.

4.3.1 Funcionamiento e iteración general con el usuario

A continuación se especifica la manera general de funcionamiento e iteración de el robot con el usuario final por medio del diagrama de bloques de la figura 30 y el diagrama de flujo de la figura 31.

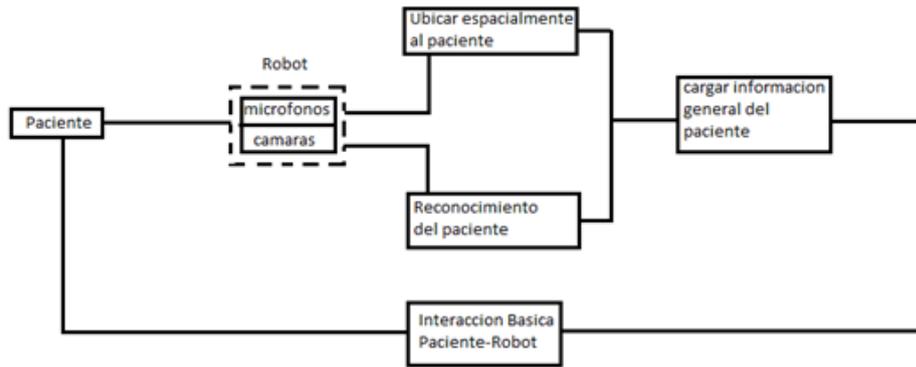


Figura 30 Diagrama a bloques general del proyecto

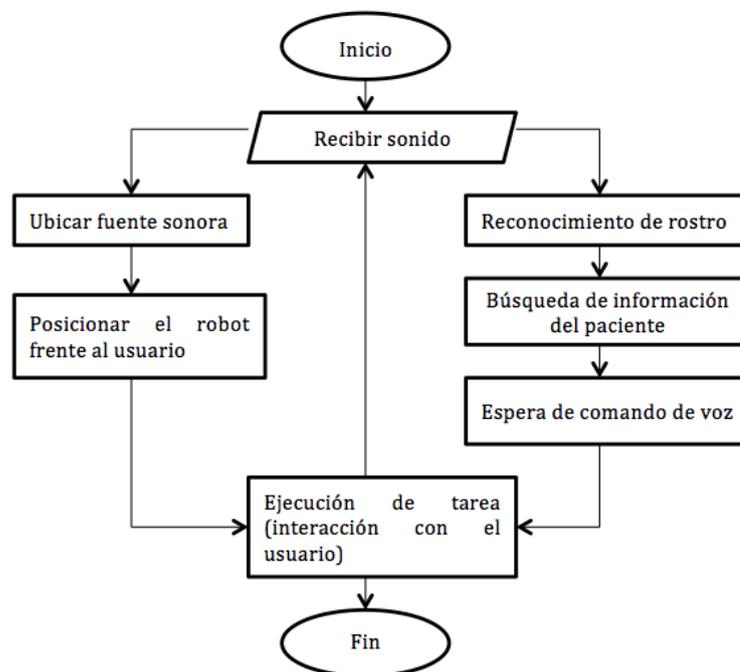


Figura 31 Diagrama de flujo general del proyecto

4.3.2 Funcionamiento e iteración en base a detección y reconocimiento de rostros

Existen diferentes pasos o iteraciones que se da en el hardware y software del robot al momento de reconocer un rostro. Para llegar a comparar un rostro existe una etapa inicial que es la de entrenamiento para posteriormente ejecutar la fase de comparación, misma que se define como fase de test.

En la fase de entrenamiento se aplica la detección del rostro y la normalización de las imágenes que han sido capturadas anteriormente desde diferentes posiciones de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo y con diferente posición e intensidad lumínica respecto al rostro de la persona como se indica en la Figura 32 [81].



Figura 32 Captura de un rostro con distintas posiciones

A continuación se indica el funcionamiento de la detección y reconocimiento mediante los siguientes diagramas de flujo.

Diagrama de flujo de la fase de entrenamiento

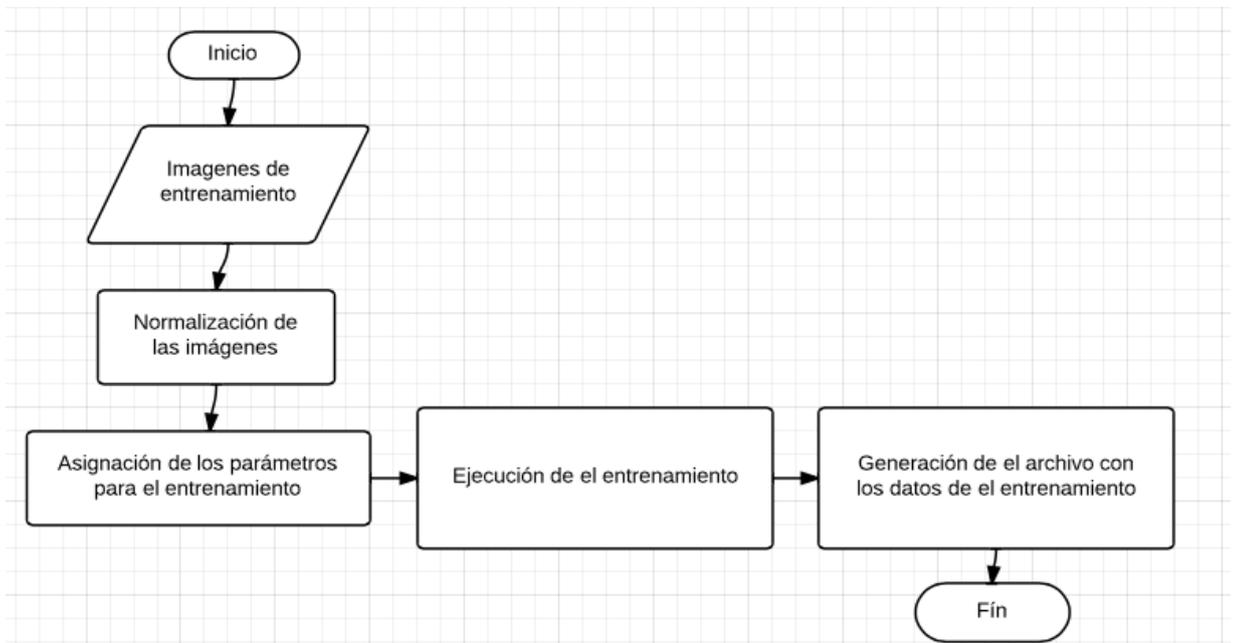


Figura 33_ Diagrama de flujo de la fase de entrenamiento de los rostros

Diagrama de flujo de la fase de pruebas o test

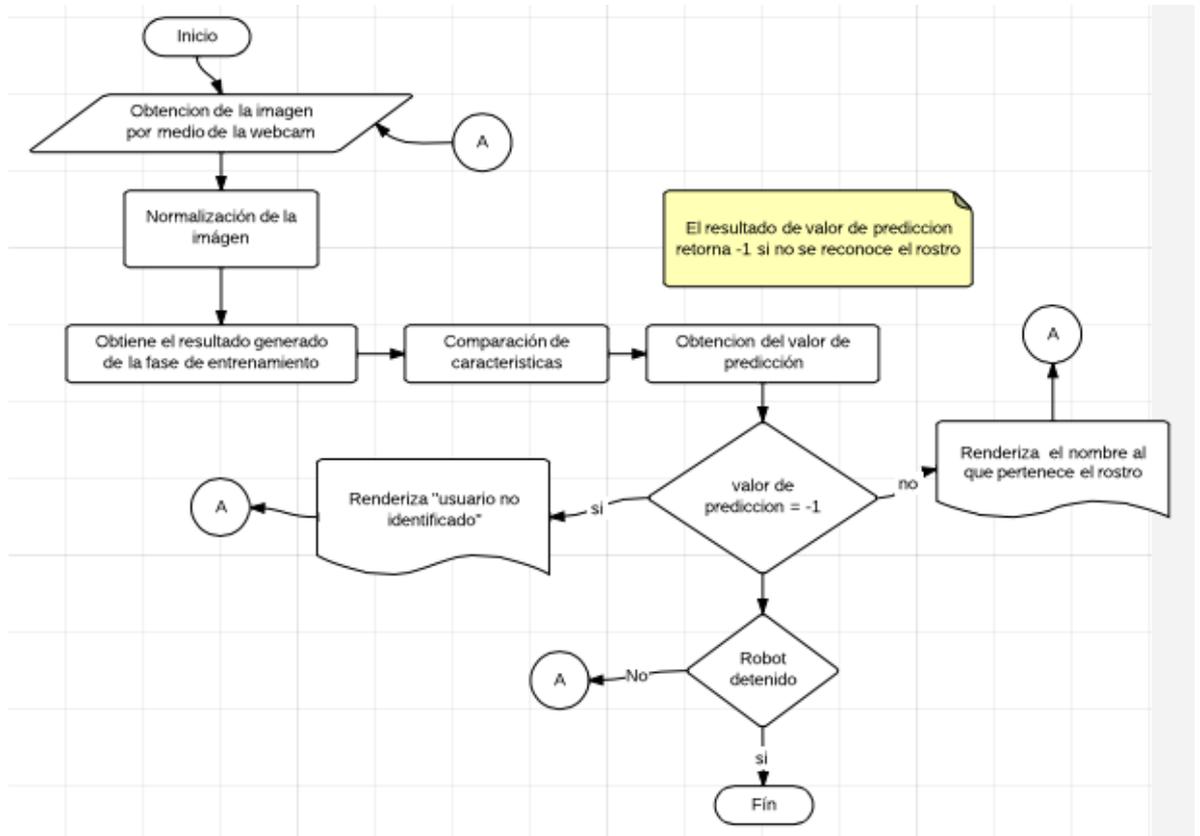


Figura 34 Diagrama de flujo de la fase de test de los rostros

4.3.3 Funcionamiento e iteración en base a reconocimiento de comandos de voz

Para el reconocimiento de un comando de voz que es receptado por el robot y emitido por el usuario final, son necesarios los siguientes pasos y modo de funcionamiento (figura 35).

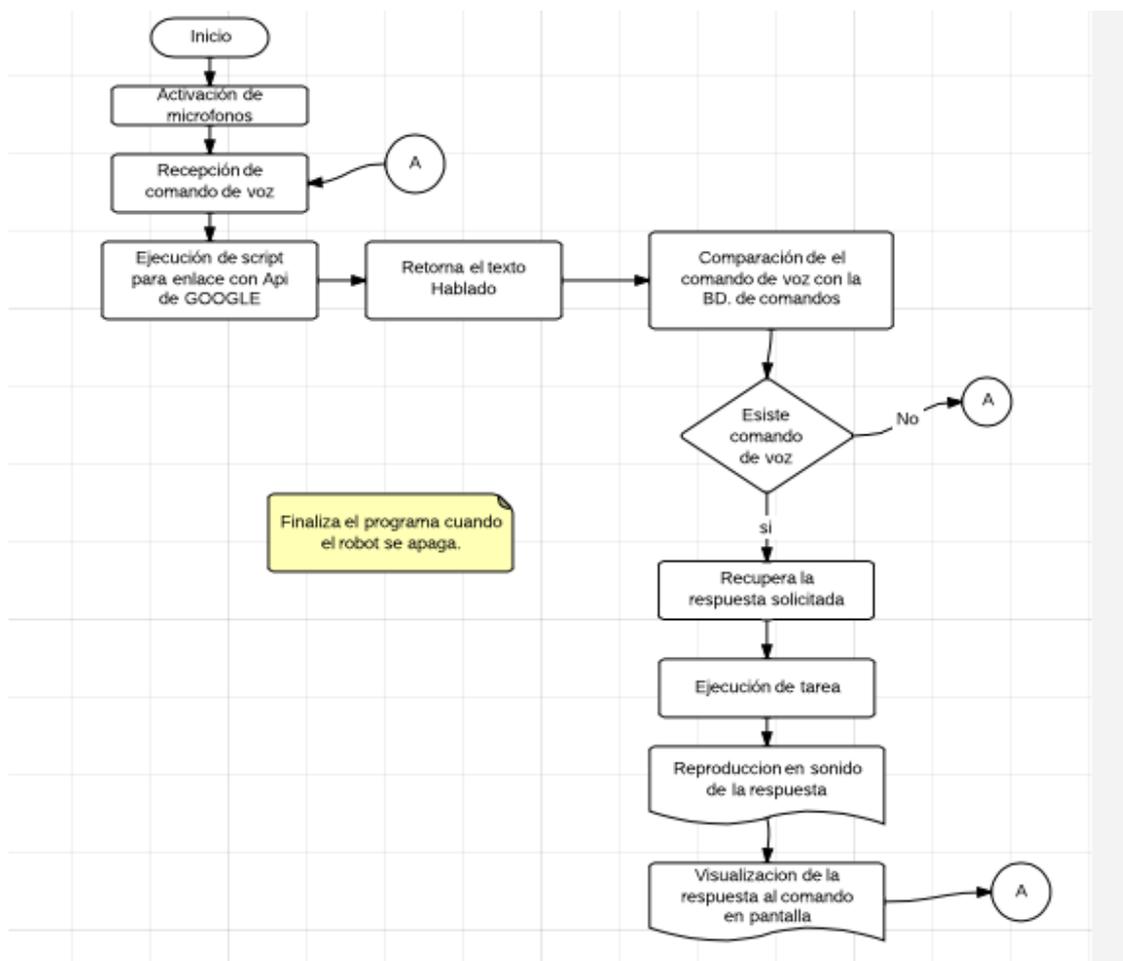


Figura 35 Diagrama de flujo del reconocimiento de comandos de voz.

4.3.4 Funcionamiento e interacción en base a la asistencia personal con el usuario.

Para la interacción del robot con el usuario final se definen cuatro modos que se especifican a continuación:

1. **Modo de reconocimiento:** Establece la detección y reconocimiento del o los usuarios que estén en el área de cobertura de visión del robot.
2. **Modo de seguimiento:** Si existe más de un usuario detectado y reconocido se dicta un comando de voz para que el robot realice el seguimiento a un solo usuario.

3. **Modo de usuario:** Se pueden dictar varios comandos por voz para que el robot ejecute una respuesta, algunos de estos comandos se ejecutan si es que el usuario está en la base de datos de usuarios mientras que otros comandos son generales para cualquier usuario, como por ejemplo la petición de la hora o la fecha. A continuación se indican estos comandos.
4. **Modo de ubicación de la fuente sonora:** En este modo el robot se posiciona de manera frontal hacia el ruido generado por una fuente sonora.

Con respecto a la interacción con el usuario existen varias funciones las cuales se especifican y detallan a continuación:

- **Agenda personalizada:** Se programa un recordatorio de tareas básicas que el usuario desea realizar y el robot se encargará de recordar las mismas o cuando se solicite la información por medio de el comando “agenda”, para ejecutar este comando es necesario que el usuario esté almacenado en la base de datos.
- **Recordatorio de números de teléfonos:** El usuario puede preguntarle al robot que le recuerde el número de teléfono de una persona y este responderá de manera hablada y también escribirá el número telefónico, mostrandolo en la pantalla que tiene en la parte delantera.
- **Recordatorio de receta médica:** El robot indicará de manera hablada y visual cuál es el nombre de un medicamento y la hora de consumir el mismo.
- **Órdenes básicas por medio de comando de voz:** El robot puede contestar de manera hablada y visual los siguientes comandos dictados:
 - Preséntate: con lo que el robot dice su nombre y objetivo principal
 - Funciones: El robot indica que funciones posee
 - Música: El robot reproduce un tipo de música pudiendo ser ambiental, rock o música nacional del Ecuador.
 - Número de teléfono: Recuerda el número de teléfono de una persona
 - Fecha: Reproduce la fecha actual
 - Dirección [lugar]: Reproduce la dirección de un lugar en específico que se haya configurado.
 - Próximos chequeos: Indica el lugar la fecha y hora de un chequeo médico que deba hacer el usuario.

Los cuatro modos antes mencionados son clarificados mediante un diagrama de flujo el cual se indica en la figura 36.

A continuación se presenta imágenes de las respuestas que el robot proporciona por medio de la pantalla LCD a los comandos solicitados:

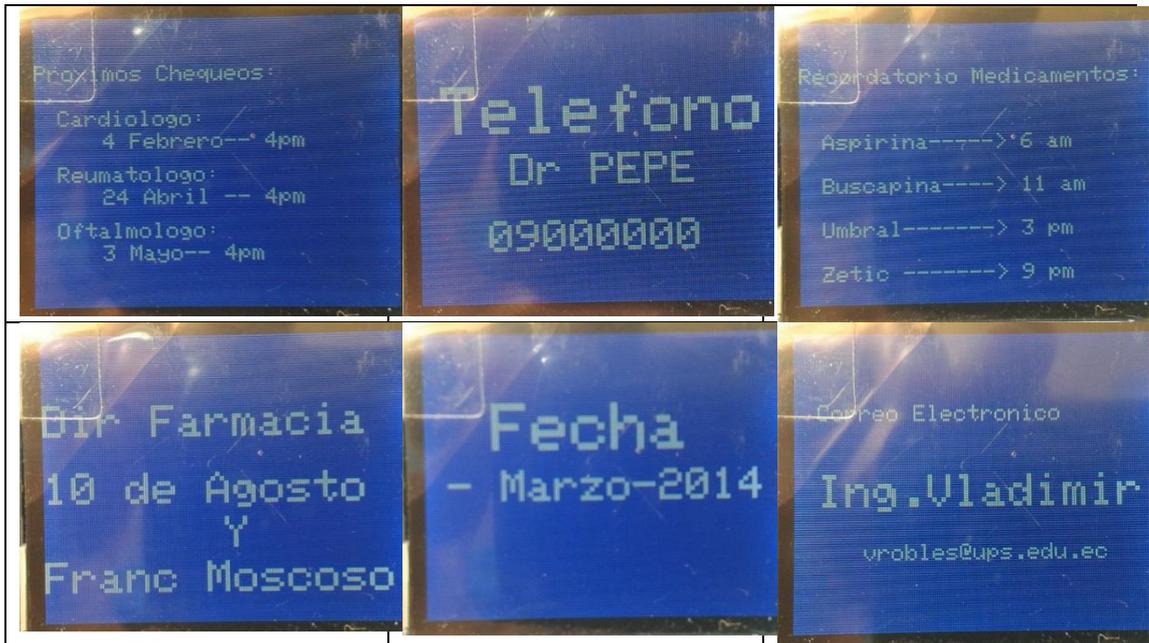


Figura 37 Resultado de los comandos por voz en la pantalla LCD

4.4 Diseño del plan de pruebas

El propósito de este plan de pruebas es verificar que las diferentes funciones trabajen acuerdo a las necesidades del paciente de manera correcta y segura. Además de definir los lineamientos que deben cumplir el software y hardware perteneciente al robot y registrar los posibles errores que se detecten en el funcionamiento.

Las fases en las que se realizarán las pruebas son:

1. **Planificación de las pruebas:** Identificar los requisitos para las pruebas
2. **Diseño de las pruebas:** Identificar los casos de prueba
3. **Implementación de las pruebas:** Establecer los entornos de prueba, desarrollar las clases de prueba, componentes y datos de prueba.
4. **Ejecución de las pruebas:** Ejecutar los casos de prueba. Investigar los resultados no esperados y registrar los defectos.
5. **Evaluación de las pruebas:** Analizar los defectos, determinar si se han alcanzado los criterios de las pruebas. Crear informes de evaluación de las pruebas.

Alcance de las pruebas

Las pruebas que se ejecutaran con respecto a los modos de funcionamiento del robot (modo reconocimiento, modo seguimiento y modo usuario) corresponden a los procesos que se llevan mediante el software y hardware del robot, en el caso de software se incorpora algoritmos de visión artificial para la detección y reconocimiento y algoritmos de comunicación de datos entre la recepción de video y comandos por voz con los dispositivos

electromecánicos, como son la pantalla y servos para ejecución del movimiento. También se llevarán a cabo pruebas de hardware en las que se verificará la ejecución de los distintos componentes que posee el robot.

Pruebas de software

Interacción visual robo-usuario	
Unidades a ser probadas	Detección y reconocimiento de rostro
Objetivos de las pruebas	<ul style="list-style-type: none"> • Validar el correcto trazado del recuadro en uno o varios rostros y la visualización del nombre al que pertenece el rostro u rostros. • Determinar la intensidad de luminosidad para el correcto funcionamiento.
Detalle de la ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobar que el funcionamiento sea correcto • Verificar que el nombre de la persona reconocida sea el correcto • Comprobar el correcto trazo de recuadro en el rostro • Comprobar que el rostro se detecta y reconoce en distintos grados de luminosidad

Tabla 4 Prueba de interacción visual robot-usuario.

Validación de voz a texto del API de Google	
Unidades a ser probadas	Resultado retornado del API de Google
Objetivos de las pruebas	Validar la correcta respuesta que retorna el API de Google de un comando de voz
Detalle de la ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobar que el funcionamiento sea correcto • Verificar que el comando hablado sea el mismo que retorna el API de Google en una variable • Verificar que el tiempo de respuesta del API de Google este entre 1- 3 segundos

Tabla 5 Prueba de voz a texto con el API de Google.

Validación de ubicación de la fuente sonora	
Unidades a ser probadas	Resultado de la ubicación de fuente sonora
Objetivos de las pruebas	Validar el correcto cálculo de ubicación de la fuente sonora
Detalle de la ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobar que el funcionamiento sea correcto • Verificar que el cálculo de la fuente sonora sea correcto

Tabla 6 Prueba de ubicación de la fuente sonora.

Validación del funcionamiento en paralelo del seguimiento y ordenes por comando de voz	
Unidades a ser probadas	Programa del seguimiento y recepción de comandos por voz
Objetivos de las pruebas	Validar que el seguimiento y la recepción de comandos por voz se ejecuten en paralelo correctamente
Detalle de la ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobar que el funcionamiento sea correcto • Verificar que el seguimiento del rostro sea en tiempo real y que la recepción de comandos por voz este entre 1-3 segundos.

Tabla 7 Prueba de paralelismo entre seguimiento y recepción por comandos de voz.

Posicionamiento robot-usuario “Seguimiento del rostro del usuario”	
Unidades a ser probadas	Detección y reconocimiento de rostro
Objetivos de las pruebas	Validar el correcto trazado del recuadro en uno o varios rostros y la visualización del nombre al que pertenece el rostro u rostros.
Detalle de la ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobar que el funcionamiento sea correcto • Verificar que el nombre de la persona reconocida sea el correcto • Comprobar el correcto trazo de recuadro en el rostro

Tabla 8 Prueba de seguimiento del rostro del usuario

Pruebas de hardware

Funcionamiento de la cámara web	
Unidades a ser probadas	Cámara
Objetivo de las pruebas	Validar el adecuado funcionamiento de la cámara ubicada en la frontal de la cabeza del robot
Detalle de ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar el correcto funcionamiento del equipos en distintos ambientes de luminosidad • Verificar que sea de fácil conexión, tanto para los programadores

Tabla 9 Prueba de validación de la cámara web

Visualización de información en la pantalla LCD	
Unidades a ser probadas	Pantalla LCD
Objetivo de las pruebas	Validar el adecuado funcionamiento y programación de la pantalla LCD
Detalle de ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar el correcto funcionamiento de la pantalla LCD luego de lapsos de tiempo superior a las 5 horas de trabajo continuo • Verificar si permite una fácil re-programación de código • Verificar si la visualización de mensajes en la pantalla es correcta, clara y corresponden a la orden solicitada • Verificar que sea de fácil conexión, para los programadores

Tabla 10 Prueba de visualización en la pantalla LCD

Validación de micrófonos laterales(recepción de la fuente sonora)	
Unidades a ser probadas	Micrófonos laterales (cabeza)
Objetivo de las pruebas	Validar el adecuado funcionamiento de los micrófonos ubicados en las partes laterales de la cabeza del robot destinados para la ubicación de la fuente sonora
Detalle de ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar la sensibilidad del micrófono y su respuesta a estímulos acústicos • Verificar que no existan componentes indeseables de ruido o cualquier otra señal acústica indeseable

Tabla 11 Prueba de validación de los micrófonos

Funcionamiento de micrófono frontal(recepción de comandos de voz)	
Unidades a ser probadas	Micrófono Frontal
Objetivo de las pruebas	Validar el adecuado funcionamiento del micrófono ubicado en la partes frontal del robot, destinado para la recepción de comandos por voz

Detalle de ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar la sensibilidad del micrófono y su respuesta a estímulos acústicos • Verificar la claridad y nitidez de los comandos de voz dictado al robot • Verificar que sea de fácil conexión, para los programadores
-----------------------------	--

Tabla 12 Prueba de funcionamiento del micrófono frontal

Funcionamiento de los parlantes	
Unidades a ser probadas	Parlantes
Objetivo de las pruebas	Validar el adecuado funcionamiento de los 2 parlantes ubicados en la parte inferior del robot, destinado para reproducir los archivos de audio que el robot brinda como respuesta
Detalle de ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar la nitidez, volumen y calidad de sonido • Verificar que sea de fácil conexión, para los programadores, y usuarios

Tabla 13 Prueba de funcionamiento de los parlantes

Movimiento de los servomotores	
Unidades a ser probadas	Servo-Motores
Objetivo de las pruebas	Validar el adecuado funcionamiento de los 3 servomotores ubicados en el cuello y torax del robot, que permiten los giros y movimiento
Detalle de ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que el servo motor encargado del movimiento del tórax, gire libremente 180° • Verificar que el servo motor encargado del movimiento del cuello en x, gire libremente 140° • Verificar que el servo motor encargado del movimiento del cuello en y, gire libremente 70°

Tabla 14 Prueba de movimiento de los servomotores

Iluminación de los LEDS(ojos)	
Unidades a ser probadas	LEDS
Objetivo de las pruebas	Validar el adecuado funcionamiento de los 4 leds ubicados en los ojos del robot
Detalle de ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar el brillo y temperatura de los 4 leds (ubicados en pares) en los ojos • Verificar el correcto funcionamiento de los leds luego de periodos prolongados de tiempo

Tabla 15 Prueba de iluminación de los leds

4.4.1 Pruebas alfa y beta

4.4.1.1 Pruebas alfa

Para validar al robot se procederá a realizar las pruebas con miembros del centro de investigación que han tenido un contacto previo con el robot en su etapa de construcción.

Participantes: En estas pruebas participarán personas del Grupo de Investigación en Sistemas Informáticos e Inteligencia Artificial (GI-SIIA), los cuales brindarán soporte en la verificación del funcionamiento completo del robot en sus diferentes modalidades.

4.4.1.2 Pruebas beta

Para validar al robot se procederá a realizar las pruebas en presencia del usuario y de los desarrolladores del robot, simulando un entorno cotidiano de manejo del sistema

Participantes: Los participantes de esta prueba nunca habían visto en robot en etapas previas. Se selecciona aleatoriamente personal de la Universidad Politécnica Salesiana para desarrollar estas pruebas.

4.4.2 Encuesta para medición de resultados

Para tabular y medir los resultados se procederá con una encuesta que se realizará al final de la prueba a los participantes. Dicha encuesta se presenta a continuación.

ENCUESTA

Pruebas de funcionalidad

PRUEBAS POR PARTE DE LOS USUARIOS			
FUNCIONAMIENTO DE LA DETECCIÓN Y RECONOCIMIENTO DEL USUARIO			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
Al establecer al robot en modo de detección, enmarca los rostros de la personas que está en frente de el?			
Las personas que se identifican son correctamente reconocidas por el robot?			

Pruebas de localización de fuente sonora

PRUEBAS POR PARTE DE LOS USUARIOS			
FUNCIONAMIENTO DE LA UBICACIÓN DE LA FUENTE SONORA			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
Al receptor un sonido el robot ubica de manera correcta la fuente sonora			

Pruebas de reconocimiento de órdenes de voz

PRUEBAS POR PARTE DE LOS USUARIOS			
FUNCIONAMIENTO DE LA INTERACCIÓN ROBOT-USUARIO			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
El comando Música ambiente fue reconocido correctamente			
El comando Música Nacional fue reconocido correctamente			
El comando Hola fue reconocido correctamente			
El comando Preséntate fue reconocido correctamente			
El comando funciones fue reconocido correctamente			
El comando Teléfono Luis fue reconocido correctamente			
El comando Teléfono Doctor fue reconocido correctamente			
El comando Saluda fue reconocido correctamente			
El comando Reconocer fue reconocido correctamente			
El comando Recordatorio fue reconocido correctamente			
El comando Que Hora es fue reconocido correctamente			
El comando Descansa fue reconocido correctamente			
El comando Despierta fue reconocido correctamente			
Se realiza de manera correcta la respuesta a el comando de voz y se visualiza en pantalla dicha respuesta			

Pruebas de funcionamiento mecánico

PRUEBAS POR PARTE DE LOS USUARIOS			
FUNCIONAMIENTO DEL SEGUIMIENTO DEL USUARIO			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
La cabeza y tórax del robot ejecuta un correcto seguimiento del usuario una vez dictado el comando			

2 Pruebas de usabilidad

PRUEBAS POR PARTE DE LOS USUARIOS			
Usabilidad del robot			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
La estructura del robot es amigable para la interacción con el usuario?			

PRUEBAS POR PARTE DE LOS USUARIOS			
ASPECTO ESTÉTICO DEL ROBOT			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
Estéticamente el robot es agradable?			

PRUEBAS POR PARTE DE LOS USUARIOS			
Movimientos del robot			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
Los movimientos se consideran naturales y sutiles?			

PRUEBAS POR PARTE DE LOS USUARIOS			
Voz del robot			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
La voz que implementa el robot es comprensible?			

PRUEBAS POR PARTE DE LOS USUARIOS			
Comandos del Robot			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
Los comandos de voz considera que son los adecuados?			

PRUEBAS POR PARTE DE LOS USUARIOS			
Volumen de la voz			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
El volumen de las respuestas por voz es el adecuado?			

Que aspectos mejoraría al Robot ?

4.4.3 Formato de validación para el robot asistente

Para llevar a cabo un registro de las validaciones de los distintos procesos que ofrece el robot asistente se ha desarrollado varios formularios de validación, los mismos que servirán para identificar y corregir los errores que no han sido detectados en el proceso de desarrollo del robot asistente. La recopilación de la información se realizará en el capítulo 6 correspondiente a implementación del plan de pruebas.

FORMULARIO DE VALIDACIÓN DEL ROBOT ASISTENTE			
FUNCIONAMIENTO DE LA DETECCIÓN Y RECONOCIMIENTO DEL USUARIO			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
En modo de detección, el algoritmo identificó y enmarcó en un cuadrado de color verde los rostros de las personas que está en frente de el?			
La etiqueta asignada al usuario reconocido corresponde al correcto en base al corpus de usuarios			

Tabla 16 Formulario de validación de la detección y reconocimiento del usuario

FORMULARIO DE VALIDACIÓN DEL ROBOT ASISTENTE			
FUNCIONAMIENTO DEL SEGUIMIENTO DEL USUARIO			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
La cabeza y tórax del robot ejecuta un correcto seguimiento del usuario final			

Tabla 17 Formulario de validación del seguimiento de usuario

FORMULARIO DE VALIDACIÓN DEL ROBOT ASISTENTE			
FUNCIONAMIENTO DE LA INTERACCIÓN ROBOT-USUARIO			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	

Se realiza de manera correcta la respuesta a un comando de voz y se visualiza en pantalla dicha respuesta			

Tabla 18 Formulario de validación de la detección y reconocimiento del usuario

FORMULARIO DE VALIDACIÓN DEL ROBOT ASISTENTE			
FUNCIONAMIENTO DE LA UBICACIÓN DE LA FUENTE SONORA			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
Al recibir un sonido el robot ubica de manera correcta la fuente sonora			

Tabla 19 Formulario de validación de ubicación de la fuente sonora

Capítulo 5

Capítulo 5. Implementación de los Módulos de Control y Construcción del Prototipo del Robot Asistente

5.1 Implementación del sistema de visión artificial.

El algoritmo de detección y reconocimiento de rostro al estar programado en el lenguaje C y C++ posee la gran ventaja de bajo consumo de recursos, con lo que se optimiza la velocidad del procesamiento de información recibida por la webcam que está colocada en la frente del robot. La configuración de la webcam en el robot se indica en la figura 38.



Figura 38 Configuración de la webcam en el robot

Especificación técnica de configuración de los componentes del sistema de visión artificial.

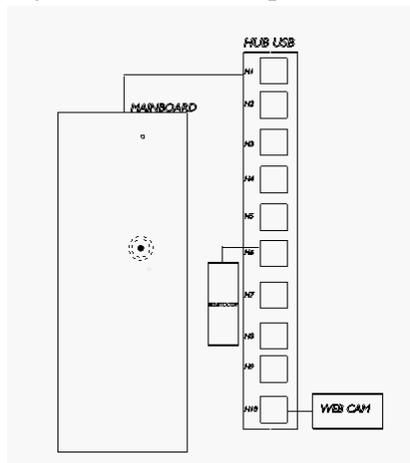


Figura 39 Configuración de la webcam en el robot

Los elementos que se incorporan en la implementación del sistema de visión artificial son los siguientes:

- **Mainboard:** Dispositivo que posee el puerto USB en el que se conecta un HUB USB para mayor disponibilidad de conexión de dispositivos.

- **HUB USB:** Dispositivo con capacidad de 10 conectores USB en el cual el puerto #10 es el de uso de la webcam
- **Webcam:** Dispositivo que sirve para captar el rostro de una persona para posteriormente comparar dicho rostro con los rostros del corpus en memoria.

5.2 Creación del corpus de imágenes y la base de datos de los usuarios.

La tarea de detectar y reconocer el rostro para saber a qué persona pertenece dicho rostro tiene mucho que ver con un proceso de selección y captura de las imágenes, lo que constituye el primer paso siendo este muy importante, ya que a partir de estas imágenes se conducirán las siguientes etapas como procesado, segmentación y extracción de características. Es importante mencionar que los factores como son la luz o la calidad de la imagen tomada son importantes al momento de capturar las imágenes

El corpus con los usuarios que le robot podrá reconocer está conformado por 12 personas, a continuación se presenta una muestra de imágenes que conforman el corpus

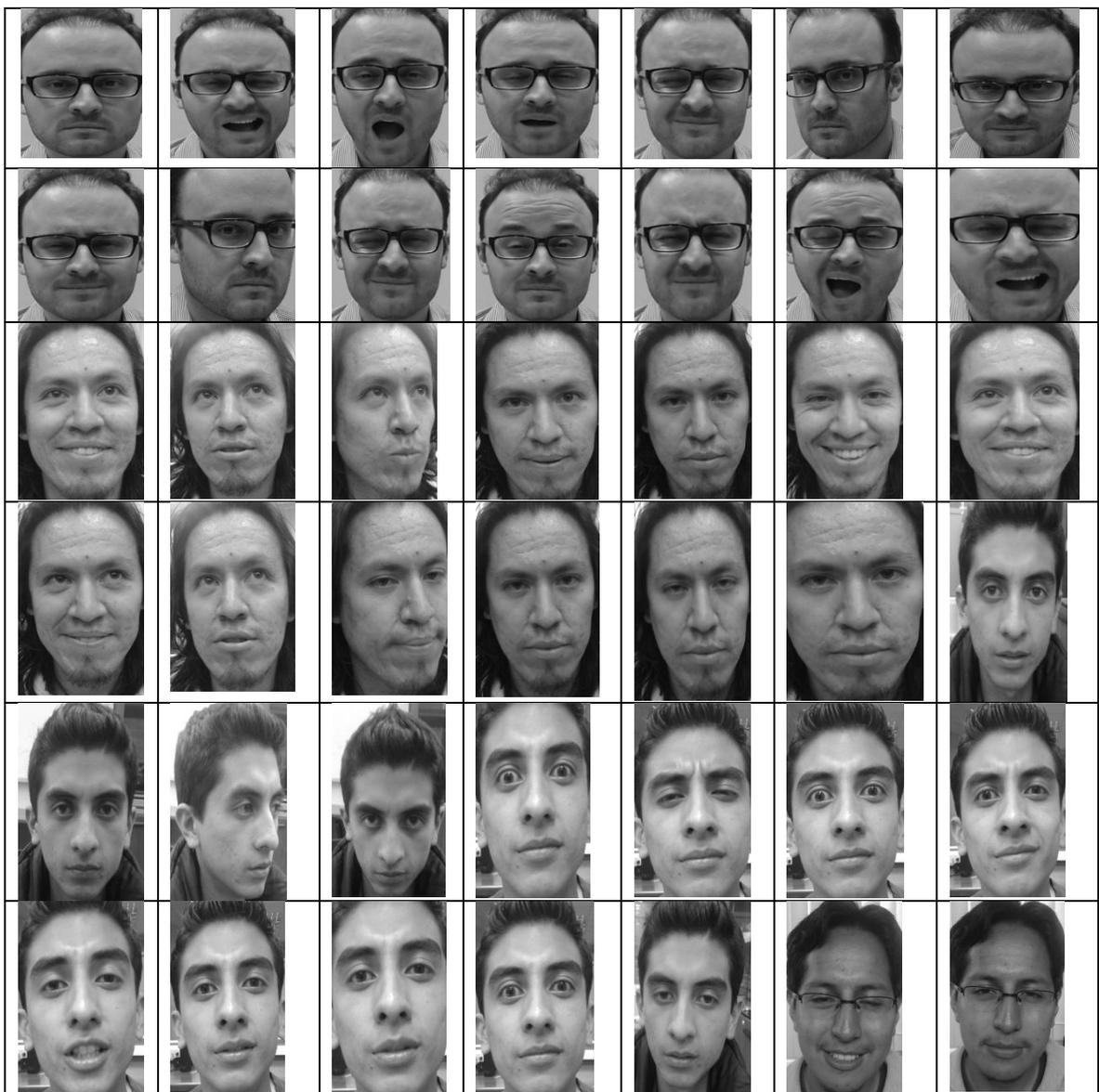




Figura 40 Corpus de imágenes con 4 de los 12 usuarios disponibles

5.3 Implementación del sistema de localización de fuentes sonoras.

El sistema de localización de fuente sonora consta de dos componentes importantes que interactúan entre sí, siendo estos la tarjeta electrónica para el tratamiento de la señal de audio que se recibe y el algoritmo que realiza el cálculo matemático para ubicación de la fuente sonora.

La especificación técnica de configuración de los componentes del sistema de localización de la fuente sonora se muestra en la figura 41.

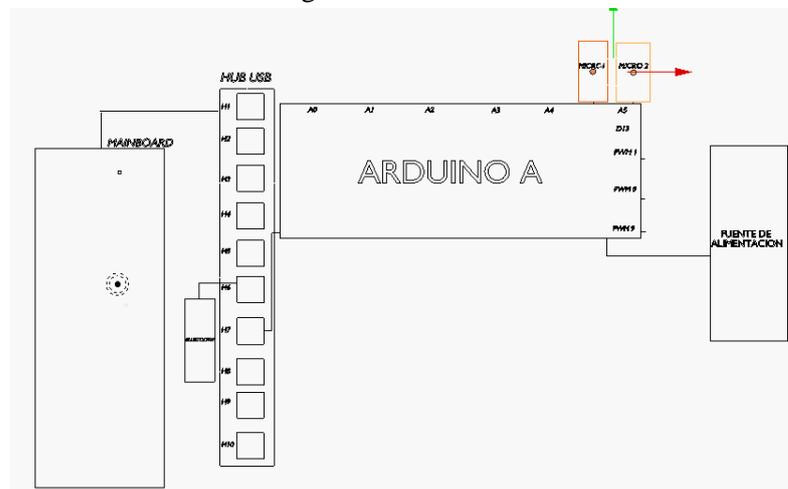


Figura 41 Configuración de los micrófonos en el sistema electrónico del robot

A continuación se presenta las placas electrónicas que se usan para la recepción de la fuente sonora.



Figura 42 Componentes electrónicos para la captación del sonido.

Los elementos que se incorporan en la implementación del sistema de localización de fuente sonora son los siguientes:

- **Mainboard:** Dispositivo que posee el puerto USB en el que se conecta un HUB USB para mayor disponibilidad de conexión de dispositivos de entrada y salida como parlantes, micrófonos.
- **Dos Tarjetas electrónicas independientes con micrófonos tipo electred:** Cada tarjeta electrónica sirve para la recepción de sonido usando un micrófono tipo electred el cual envía el flujo de datos a la tarjeta Arduino. En dicha tarjeta se mide la diferencia de tiempo de llegada de cada señal de sonido y posteriormente se calcula la ubicación de la fuente sonora como un ángulo, el mismo que sirve para que los elementos servomotores ejecuten el movimiento en el eje “x”, tanto de la cabeza como el torso del robot humanoide. De esta manera se obtiene mayor naturalidad de movimiento del robot.
- **Una fuente de alimentación:** Sirve para proveer de energía al dispositivo Arduino.

5.4 Implementación del sistema de control rotacional.

El sistema de control rotacional consta del software que provee de los parámetros de movimiento, siendo estos ángulos de movimiento tanto de la cabeza como el tórax y los elementos electromecánicos servomotores que ejecutan dichos parámetros de movimiento.

La configuración del sistema de control rotacional de la cabeza se indica en la figura 43.

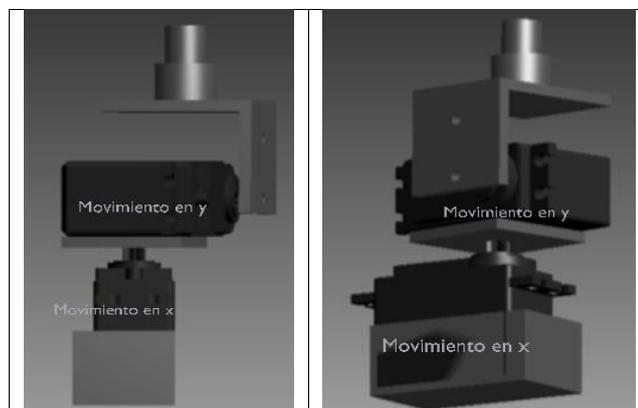


Figura 43 Implementación mecánica de los servomotores para el movimiento de la cabeza

La figura 44 especifica el movimiento del torso.

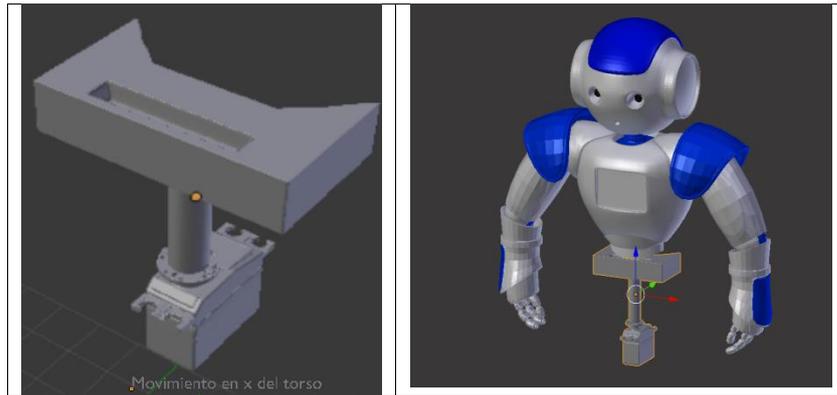


Figura 44 Implementación mecánica del servomotor para el movimiento del torso

Los elementos que se incorporan en la implementación del sistema de control rotacional son los siguientes

- **Mainboard:** Dispositivo que posee el puerto USB en el que se conecta un HUB USB para mayor disponibilidad de conexión de dispositivos.
- **HUB USB:** Dispositivo con capacidad de 10 conectores USB en el cual el puerto #7 es el de uso de el dispositivo Arduino Duemilanove, el cual contiene el cálculo de ubicación de fuente sonora. Este código se ha desarrollado en el lenguaje de programación Processing.
- **Un servomotor MG995 con engranajes de metal:** Este servomotor sirve para ejecutar el movimiento del torso de 0-180 grados siendo 90 grados la posición de inicio del robot como se indica en la figura 44.
- **Una pieza de encaje de el dorso con el servo:** Sirve para sujetar el dorso con el servo y dar la estabilidad necesaria para ejecutar el movimiento, además este servo posee un torque de 10kg con lo que se garantiza el movimiento fluido del torso

5.5 Implementación del protocolo de funcionamiento e interacción

En esta sección se pone en práctica todo lo especificado en la sección 4.3 donde se detallan el protocolo en base a 4 elementos fundamentales de funcionamiento e iteración con el usuario que son:

1. Funcionamiento e iteración general con el usuario.
2. Funcionamiento e iteración en base a detección y reconocimiento de rostros.
3. Funcionamiento e iteración en base a reconocimiento de comando de voz.
4. Funcionamiento e iteración en base a la asistencia personal con el usuario.

La implementación de este protocolo hace uso varios scripts que se detallan a continuación:

5.5.1 Script de reconocimiento de comando de voz, iteración general con el usuario, y asistencia personal.

Este script realiza el reconocimiento de comandos de voz que sirve para la iteración con el usuario y además brinda una asistencia personalizada a través de las diferentes respuestas almacenadas en su memoria.

```
"música electrónica"|"Música electrónica"|"MÚSICA") echo "reproduce música"
amixer set Master 65%
echo 14 > /dev/ttyACM0
mpg123 /home/robotsan/Escritorio/m1.mp3 &
;;

"música ambiente"|"Música Ambiente"|"MÚSICA AMBIENTE") echo "reproduce música"
amixer set Master 65%
echo 14 > /dev/ttyACM0
mpg123 /home/robotsan/Escritorio/m2.mp3 &
;;

"música rock"|"Música Rock"|"MÚSICA ROCK") echo "reproduce música"
amixer set Master 65%
echo 14 > /dev/ttyACM0
mpg123 /home/robotsan/Escritorio/m5.mp3 &
;;
```

Figura 45 Fracción de código de reconocimiento de comandos de voz

Elementos principales que posee el script:

- Conexión a un servicio web que brinda Google para acceder a su API de reconocimiento de voz.
- Lista de 33 comandos programados para asistencia personal.
- Envío de un dato numérico al archivo de comunicación, para indicar que rutina debe ejecutarse. Este archivo almacena datos dependiendo del tipo de comando que se le dicte al robot y el programa de detección y reconocimiento de rostros mediante la lectura de este archivo puede realizar la operación de reconocer al usuario

5.5.2 Script de detección y reconocimiento de rostros y comunicación con el hardware de el robot

Este programa realiza la detección y el reconocimiento de rostros siempre y cuando el dato del archivo comunicación sea el indicado para esta tarea. Este script también envía las coordenadas de la ubicación del rostro del usuario al programa de ejecución de los movimientos de el robot que están programados en un dispositivo Arduino. La figura 46 muestra en extracto del código programado

```

// a los usuarios guardados y etiquetas como no identificado a los usuarios desconocidos
// el valor de K es leido de un archivo de texto escrito por el apl de google
//K=1 es modo RECONOCIMIENTO FACIAL

    if(k==1)
    {
        rectangle (captureFrame, face_i, CV_RGB(0, 255, 0), 3); // genera el rectangulo q enmarca el rostro

        short int pos_x =std::max(face_i.tl().x, 0); //valor de la cordenada en x del rostro
        short int pos_y =std::max(face_i.tl().y, 0); //valor de la cordenada en y del rostro
        short int ubi_x =std::max(face_i.tl().x- 10, 0); //coordenada donde se escribe el nombre del usuario en pantalla
        short int ubi_y =std::max(face_i.tl().y- 1, 0);

        if (prediction==1)
        {
            string box_text =format ("David");
            putText(captureFrame,box_text, Point(ubi_x, ubi_y), FONT_HERSHEY_PLAIN, 1.0, CV_RGB(0,255,0), 2.0);
            //enviosoloxxy(pos_x,pos_y); //metodo q envia las cordenadas xy
        }
        else if (prediction==2)
        {
            string box_text2 =format ("Luis");
            putText(captureFrame,box_text2, Point(ubi_x, ubi_y), FONT_HERSHEY_PLAIN, 1.0, CV_RGB(0,255,0), 2.0);
            //enviosoloxxy(pos_x,pos_y);
        }
    }
}

```

Figura 46 Fragmento de código del Reconocimiento de un usuario y la obtención de coordenadas del rostro

Elementos principales que posee el programa:

- Acceso a la web cam instalada en la cabeza del robot.
- Detección y reconocimiento del rostro de una persona.
- Acceso a la base de datos de usuarios preestablecida.

5.5.3 Script de ejecución de los movimientos de la cabeza y el torso

Este programa indica a los servomotores del torso y la cabeza en qué sentido deben moverse además de controlar la velocidad de dichos movimientos.

```

}
for(pos = 135; pos>=55; pos-=1)
{
    servox.write(pos);
    delay(35);
}

for(pos = 55; pos<75; pos+=1)
{
    servox.write(pos);
    delay(35);
}
}

```

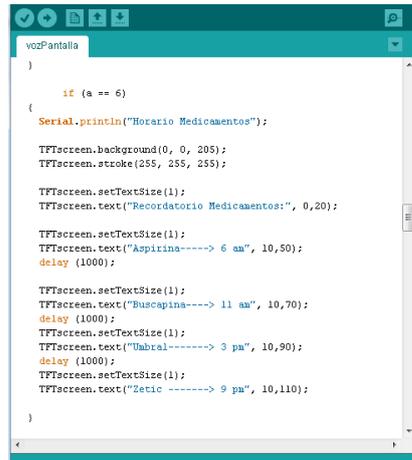
Figura 47 Fracción de código de para movimiento de servomotores

Elementos principales que posee el programa

- Recepción de las coordenadas de la ubicación del rostro de una persona enviadas desde el del programa de detección y reconocimiento de rostros.
- Envío de coordenadas a los distintos servomotores del robot

5.5.4 Script de escritura de una respuesta solicitada en la pantalla del robot.

Este programa realiza la escritura en pantalla de la respuesta que se solicite al robot



```
vozPantalla
}
{
    if (a == 6)
    {
        Serial.println("Horario Medicamentos");

        TFTscreen.background(0, 0, 205);
        TFTscreen.stroke(255, 255, 255);

        TFTscreen.setTextSize(1);
        TFTscreen.text("Recordatorio Medicamentos:", 0,20);

        TFTscreen.setTextSize(1);
        TFTscreen.text("Aspirina----> 6 am", 10,50);
        delay (1000);

        TFTscreen.setTextSize(1);
        TFTscreen.text("Bucacipina----> 11 am", 10,70);
        delay (1000);
        TFTscreen.setTextSize(1);
        TFTscreen.text("Uabral-----> 3 pm", 10,90);
        delay (1000);
        TFTscreen.setTextSize(1);
        TFTscreen.text("Zetic -----> 9 pm", 10,110);
    }
}
```

Figura 48 Fracción de código para escribir el texto en pantalla

Elementos principales que posee el programa

- Recepción de la respuesta a una solicitud por parte del script de reconocimiento de comandos de voz.
- Escritura de una respuesta solicitada en la pantalla LCD

5.6 Ensamblaje del robot

Según el término ensamblaje establecido por la Real Academia de la Lengua Española que significa “unir, juntar, ajustar, especialmente piezas de madera”, se ha llevado a cabo el procedimiento de armado de las piezas construidas por la impresora 3D. Por ello, al momento de diseñar dichas piezas, se tuvo en cuenta las dimensiones y la manera de unir las mismas, pensando que existen varias formas de realizar este proceso. Las más importantes y las que se han usado en el desarrollo de esta tesis son las siguientes [76][77]:

1. **Sujeción permanente:** Se usa para unir dos piezas que ya no se separan, por ejemplo si estas estarían soldadas o sujetas con algún tipo de pegamento.
2. **Obstrucción física:** Ejemplo de este tipo de sujeción son los anillos de sujeción o pasadores en los cuales se puede usar tornillos para que sea más fija dicha sujeción.
3. **Presión de elementos:** Los elementos o piezas que se deben unir deben ser encajados aplicando presión a los mismos para lograr un refrenado correcto y completo de las superficies.

Es importante decir que el proceso de ensamble de los robots de hoy en día se basan tanto en kits comerciales los mismos que son robots que se venden en piezas y con todos los componentes necesarios para su montaje, así también existen procesos de ensamble basados en procesos automáticos que son llevados por medio de otros robots como los robots KUKA los mismos que se usan en sectores industriales como electrónica recreativa, automoción, en la cerámica entre otras más [78].

En el desarrollo de esta tesis, para el ensamble o montaje del robot humanoide se ha optado por usar los tres métodos antes mencionados para lograr un grado óptimo de fijación del robot humanoide. A continuación se muestra la manera de sujeción de las partes del robot (figura 49).

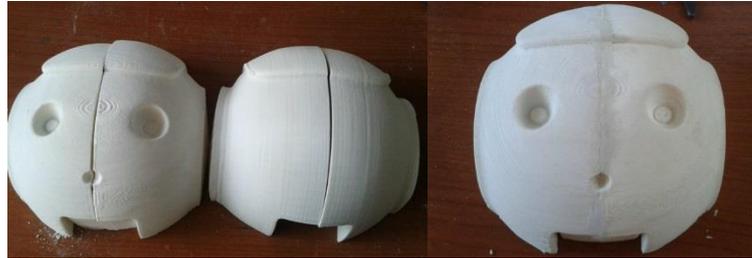


Figura 49 Sujeción de las partes frontales y traseras de la cabeza con masilla plástica.

Los brazos del robot fueron ensamblados por presión de sus elementos y para asegurar su sujeción se colocó una pequeña capa de silicón, el mismo principio se usó para unir los hombros y el tórax. Los dedos del robot fueron asegurados por presión a la mano del robot y también fueron asegurados con silicón. La cabeza del robot fue sujeta a las piezas mecanizadas del robot mediante el cuello con el uso de tornillos.



Figura 50 Sujeción de los brazos, dedos y cabeza al tórax del robot.

A continuación se muestran algunas imágenes con el prototipo finalizado

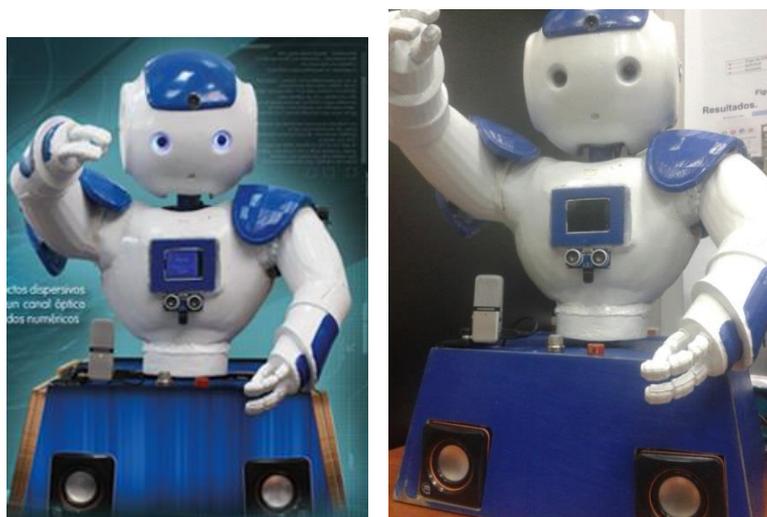


Figura 50 Prototipo terminado y ensamblado

Capítulo 6

Capítulo 6. Ejecución del plan de pruebas y análisis de resultados

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas y los resultados obtenidos en los distintos algoritmos implementados en el Robot, además del análisis de funcionamiento de los componentes electrónicos y mecánicos

Para probar la eficacia y robustez del sistema, se desarrollaron pruebas en distintos ambientes de luminosidad y ruido. Las pruebas consisten en avalar el correcto funcionamiento de todo el sistema en conjunto y determinar las condiciones máximas de funcionamiento del robot. De igual forma, también se indican las pruebas con usuario para determinar la aplicación del robot en la sociedad.

6.1 Pruebas de funcionalidad de software y hardware

En esta sección las pruebas se realizaron en base a los formularios de validación expuesta en el capítulo 4, se tiene como objetivo validar el correcto funcionamiento de todos los componentes y algoritmos que conforman el robot, para posteriormente realizar las pruebas con usuarios tanto en laboratorio como en campo.

6.1.1 Pruebas de detección y reconocimiento facial

La primera prueba realizada al robot consiste en comprobar el correcto funcionamiento de los algoritmos de visión artificial que implementa el mismo en base a lo que se explicó en los capítulos 2 y 5

Esta prueba consiste en determinar:

- El correcto funcionamiento en la detección del rostro de las personas
- La correcta identificación de usuarios que pertenecen al sistema
- La robustez del algoritmo en distintos ambientes de luminosidad

FORMULARIO DE VALIDACIÓN DEL ROBOT ASISTENTE			
FUNCIONAMIENTO DE LA DETECCIÓN Y RECONOCIMIENTO DEL USUARIO			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
En modo de detección, el algoritmo identifico y enmarco en un cuadrado de color verde los rostros de las personas que están en frente	x		

de el?			
La etiqueta asignada al usuario reconocido corresponde al correcto en base al corpus de usuarios	x		El reconocimiento se da de manera correcta, existen ciertas variaciones cuando los niveles de luminosidad son demasiados bajos

Tabla 20 Formulario de validación de la detección y reconocimiento del usuario

En la figura 47 se muestra un ejemplo de funcionamiento del sistema de visión artificial donde se ve claramente el correcto funcionamiento del algoritmo, el mismo que busca y enmarca rostro del usuario a su vez asigna una etiqueta con la identificación del mismo

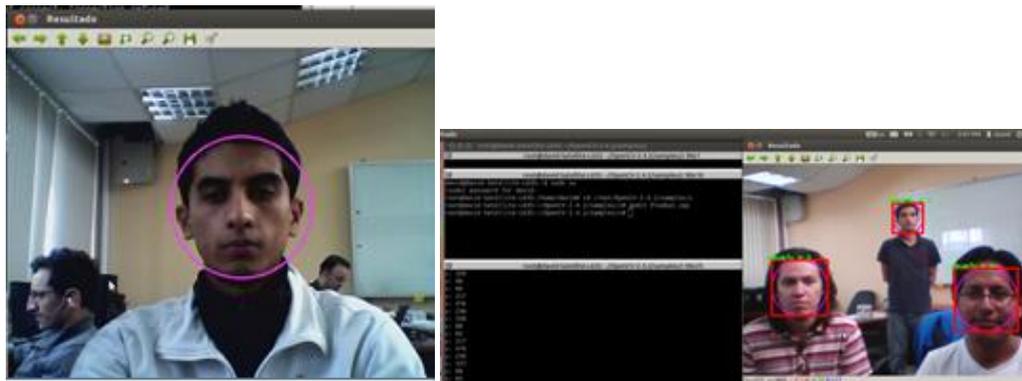


Figura 51 Algoritmo de vision artificial en funcionamiento [83]

La siguiente prueba que se realizó relacionada a la visión artificial es determinar las máximas condiciones de luminosidad donde el algoritmo funciona de manera eficiente, y de esta manera comprobar la robustez del sistema.

La tabla 21 resume las pruebas realizadas variando la luminosidad y la distancia entre el usuario y el robot

Tasa de aciertos reconocimiento facial variando luxes			Tasa de aciertos reconocimiento facial variando distancia		
Nivel de Lux	Distancia	Reconoce usuario	Nivel promedio de Lux	Distancia	Reconoce usuario
50	1m	no	700	0.5m	si
200	1m	si	700	1m	si
400	1m	si	700	1.5m	si
600	1m	si	700	2m	si
800	1m	si	700	2,5m	si
1000	1m	si	700	3m	no
1500	1m	si	700	4m	no

Tabla 21 Pruebas Modulo de visión artificial [83]

6.1.2 Pruebas de localización de fuente sonora

Esta sección se detalla las pruebas en el módulo de localización sonora, es decir, si el algoritmo cumple con su propósito de ubicar correctamente la fuente que origina el sonido.

FORMULARIO DE VALIDACIÓN DEL ROBOT ASISTENTE			
FUNCIONAMIENTO DE LA UBICACIÓN DE LA FUENTE SONORA			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
Al receptor un sonido el robot ubica de manera correcta la fuente sonora	SI x	NO	

Tabla 22 Formulario de validación de la ubicación de la fuente sonora

La prueba consiste en realizar 20 sonidos fuertes para verificar y registrar si el robot gira al lugar de donde provienen dichos sonidos. La figura 48 resume los resultados obtenidos



Figura 52 Resultado en pruebas de localización sonora

6.1.3 Pruebas de reconocimiento de órdenes de voz

Las pruebas en este módulo consisten en determinar la eficiencia del sistema de órdenes por voz y registrar la tasa de aciertos en distintas condiciones de ruido y distancia de trabajo.

FORMULARIO DE VALIDACIÓN DEL ROBOT ASISTENTE			
FUNCIONAMIENTO DE LA INTERACCIÓN ROBOT-USUARIO			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
Se realiza de manera correcta la respuesta a un comando de voz y se visualiza en pantalla dicha respuesta	SI x	NO	

Tabla 23 Formulario de validación de la interacción robot-usuario

La prueba consiste en probar la eficacia y robustez el algoritmo variando el nivel de ruido en el ambiente y la distancia de trabajo

A fin de determinar la precisión del algoritmo, se ha llevado a cabo un experimento piloto para determinar la cantidad de comandos reconocidos bajo distintos ambientes de ruido. La prueba consiste en dictar 10 comandos diferentes de voz al robot e ir variando el nivel de ruido del ambiente desde 50 hasta 100 dB, con incrementos de 5 dB (14 en total). Es importante mencionar que el ruido generado por una aspiradora está alrededor de los 70 dB, mientras que una perforadora eléctrica llega a los 100 dB. Como se puede apreciar en la Figura 49, al emplear el sistema propuesto se reconocen más comandos de voz a pesar de los diferentes niveles de ruido[84].

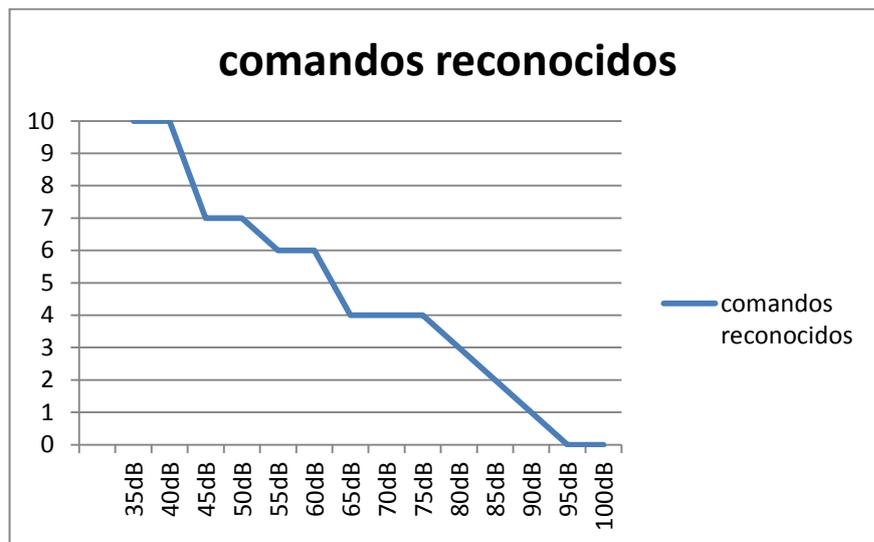


Figura 53 número de comandos reconocidos variando nivel de ruido ambiente [84]

La siguiente prueba realizada consiste en variar la distancia entre el usuario y el robot, con el fin de determinar la máxima distancia de trabajo. La prueba consiste en variar la distancia en 0,5 metros comenzando desde 0,5 m hasta los 4 m. La tabla 24 registra las pruebas realizadas en este módulo.

Tasa de aciertos reconocimiento voz variando distancia		
Nivel de dbs	Distancia	Reconoce comando
35	0.5m	si
35	1m	si
35	1.5m	si
35	2m	si
35	2,5m	si
35	3m	si
35	4m	si

Tabla 24 Pruebas Comandos de voz variando distancia de trabajo[83]

6.1.4 Pruebas de funcionamiento mecánico

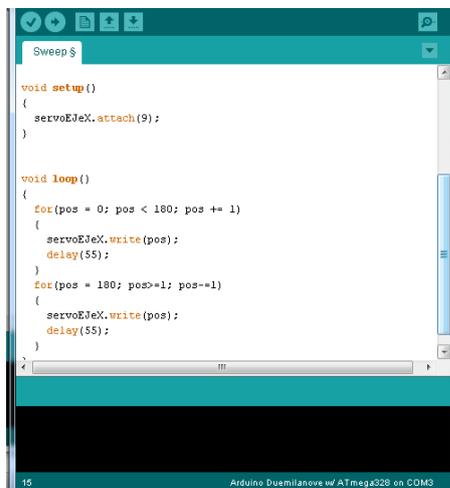
FORMULARIO DE VALIDACIÓN DEL ROBOT ASISTENTE			
FUNCIONAMIENTO DEL SEGUIMIENTO DEL USUARIO			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
La cabeza y tórax del robot ejecuta un correcto seguimiento del usuario final	x		

Tabla 25 Formulario de validación del seguimiento de usuario

Las pruebas realizadas en este módulo consistieron en determinar el correcto funcionamiento de los 3 servomotores que componen el sistema mecánico. Como se explicó en el capítulo 4 los 3 grados de libertad que componen el robot están dados por 2 grados destinados para mover la cabeza y 1 grado para mover el tórax

Se realizaron dos tipos de pruebas:

La primera consistió en programar en la tarjeta Arduino que se encarga del movimiento de estos actuadores, una rutina de movimientos para los 3 servomotores de acuerdo a su máximo valor de giro, es decir, de 0 a 180 grados para los motores de giro sobre el eje X, de 0 a 70 para el que gira sobre el eje Y. El objetivo de esta prueba es verificar el libre giro de los motores, y que no existan saltos o vibraciones que pueden afectar el funcionamiento del robot



```
void setup()
{
  servoEjeX.attach(9);
}

void loop()
{
  for(pos = 0; pos < 180; pos += 1)
  {
    servoEjeX.write(pos);
    delay(55);
  }
  for(pos = 180; pos >= 1; pos -= 1)
  {
    servoEjeX.write(pos);
    delay(55);
  }
}
```

Figura 54 programación utilizada para comprobar el giro de los motores

La segunda prueba consistió en validar el movimiento de los 3 servomotores pero de manera autónoma, es decir el seguimiento de usuario conforme a la programación del algoritmo y el envío de coordenadas a los servo-motores



Figura 55 Seguimiento facial de manera autónoma en base al algoritmo programado

6.2 Pruebas de usabilidad e interacción con el usuario

Una vez comprobado el correcto funcionamiento de todos los componentes y algoritmos que conforman el robot, se procedió a las pruebas con usuarios. Estas pruebas se han dividido en pruebas alfa y beta. Se realizaron las pruebas a un grupo de 13 personas, los 10 primeros corresponden a las pruebas de laboratorio, los usuarios son conocedores del área de investigación y han tenido un contacto previo con el robot. Los 3 restantes son usuarios que no han tenido un contacto previo con el robot, además uno de ellos es un adulto mayor cuya edad supera los 60 años.

1. Prueba alfa, (Miembros del GI-SIIA del CIDII- UPS)

	<i>Pruebas de laboratorio</i>	
<i>Nombre</i>	<i>Edad</i>	<i>Ocupación</i>
Marco Capón	24	Estudiante/ Investigación
Edisson Guñansaca	24	Estudiante/ Investigación
Deysi Arévalo	28	Investigación
Esteban Cajamarca	24	Estudiante/ Investigación
Diana Monje	24	Estudiante/ Investigación
Fredy Quintuña	24	Estudiante/ Investigación
Elisabeth Andrade	24	Estudiante/ Investigación
Marco Molina	24	Estudiante/ Investigación
Luis Serpa	32	Ingeniero Electrónico
Pablo Portocarrero	26	Estudiante/ Investigación

Tabla 26 Recolección de datos de los usuarios pertenecientes al grupo de investigación

A continuación se presentan las imágenes de los usuarios teniendo una interacción con el robot. Estas imágenes fueron captadas haciendo uso de una cámara de Gesell y las cámaras de video que posee la misma.

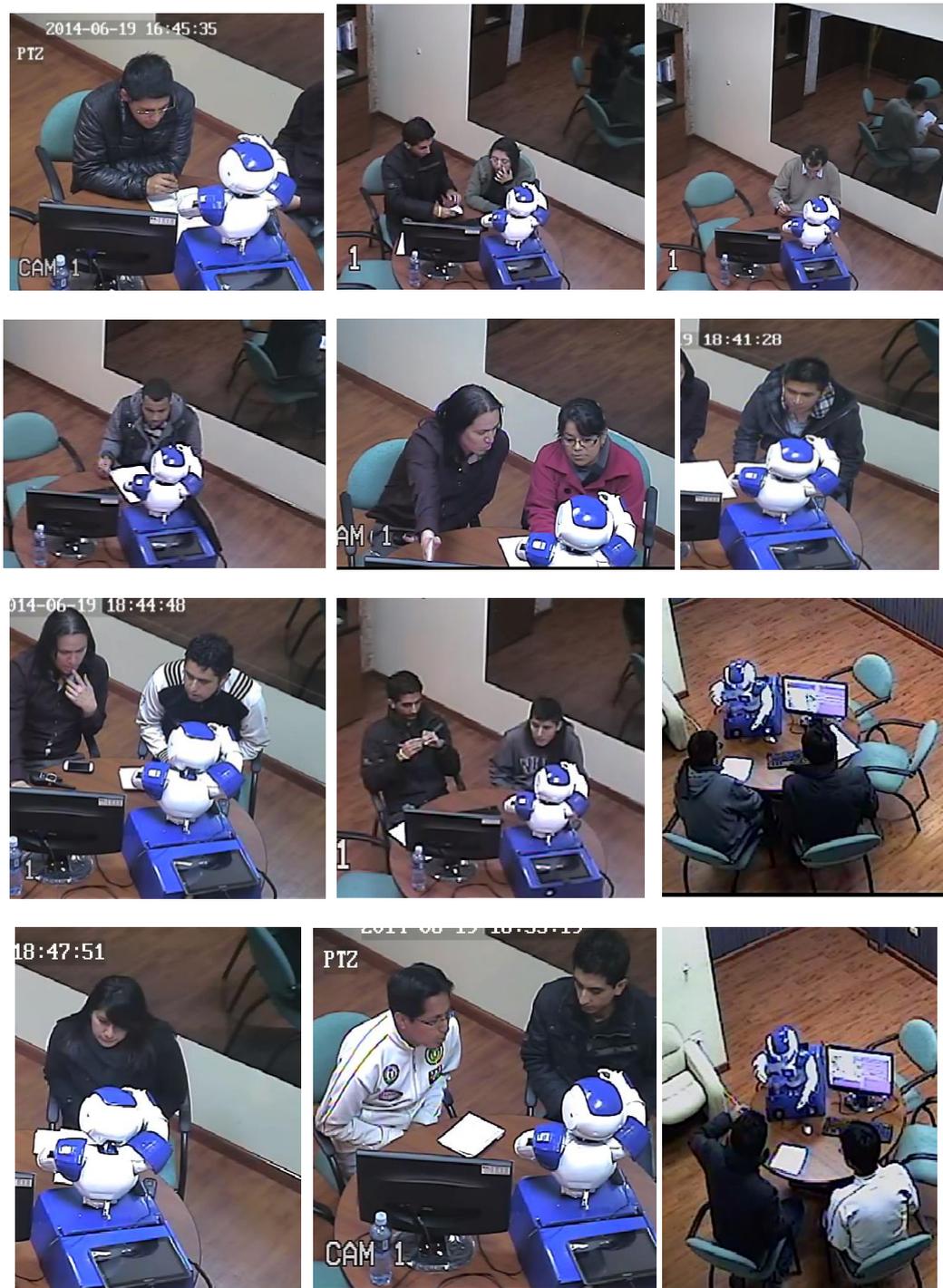


Figura 56 Pruebas de usabilidad con miembros del grupo de investigación en la cámara de Gesell de la UPS

2. Prueba beta (Miembros externos al centro de investigación)

	<i>Pruebas de laboratorio</i>	
<i>Nombre</i>	<i>Edad</i>	<i>Ocupación</i>
Fernando Urguilés	36	Ingeniero Electrónico
Nancy Chumbay	44	Área administrativa UPS
Enrique Arias	67	Área de coordinación UPS

Tabla 27 Recolección de datos de los usuarios externos al grupo de investigación





Figura 57 Pruebas de usabilidad con miembros externos al grupo de investigación en la cámara de Gesell de la UPS

6.3 Análisis de resultados

En esta sección se analizan los resultados obtenidos en las múltiples pruebas realizadas en el robot, tanto a nivel de funcionalidad como de usabilidad del sistema.

El desarrollo de estas pruebas permitió constatar que existió un gran interés en el robot por parte de los usuarios, en especial en aquellos usuarios que interactuaban por primera vez con el mismo.

6.3.1 Análisis de resultados en pruebas de funcionalidad de software y hardware

6.3.1.1 Análisis de detección y reconocimiento facial

En base a los resultados obtenidos en la tabla 21, el módulo de reconocimiento facial programado en el robot detecta e identifica el rostro del usuario con precisión cuando se encuentre dentro del rango de visibilidad de la cámara, la luminosidad del lugar se encuentre dentro del rango de 200 lux en adelante y la distancia paciente-robot no supere los 3 metros. Bajo estas condiciones la tasa de aciertos en la detección del rostro humano es superior las 95% y un 85% en la identificación del usuario. Fuera de estas condiciones el sistema tiene variaciones y fluctuación en el reconocimiento del usuario.

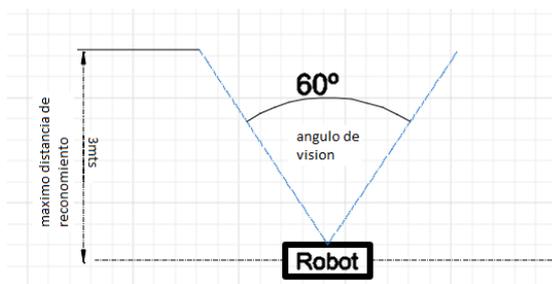


Figura 58 Angulo de visión de la cámara del robot y distancia máxima de trabajo

6.3.1.2 Análisis de localización de fuente sonora

En base a los resultados obtenidos en la figura 48 se puede ver que el módulo de localización sonora tiene una precisión del 65%. Uno de los problemas detectados al realizar esta prueba es que muchas veces la señal de audio rebota en varios lugares (paredes techos muebles e inclusive en las partes del robot) antes de llegar a los micrófonos, lo cual provoca confusiones en el cálculo matemático que implementa el módulo.

6.3.1.3 Análisis de reconocimiento de órdenes de voz

En base a los resultados obtenidos en la figura 49, el sistema de reconocimiento de comandos de voz basado en el API de Google reconoce con precisión el comando dictado cuando el usuario se encuentre en un ambiente cuyo rango de decibeles esté entre 30 y 85. Pasado este rango el sistema da varios errores o hay que repetir varias veces el comando.

Cuando el nivel de ruido en el ambiente supera los 100 dbs se carece de tasa de aciertos en los comandos de voz, volviendo totalmente ambiguo al sistema.

De igual manera, en base a la tabla 24 en un ambiente silencioso (35 db) el robot responde con gran precisión. A un radio de $R1= 1m$ se puede dictar el comando en un área de 360° alrededor del robot. Con un $R2= 2$ se puede dictar el comando 240° alrededor del robot. Con un $R3= 2.5$ se puede dictar el comando 200° alrededor del robot y con un $R4= 3$ se puede dictar el comando 180° alrededor del robot

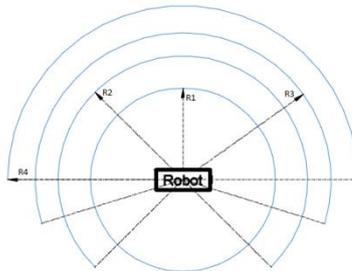


Figura 59 Distancia y cobertura de funcionamiento del sistema de reconocimiento de órdenes de voz

6.3.1.4 Análisis de funcionamiento mecánico

En lo referente a los resultados obtenidos en las pruebas del funcionamiento mecánico se pudo apreciar que los servomotores giran libremente sin mayor problema, los dos motores que giran sobre el eje X (cuello y tórax) cubren los 180° de giro y el servo encargado del movimiento en Y de igual manera gira sin ningún problema los 70° .

El seguimiento del usuario de manera automática se dio sin ningún problema, la velocidad de envío de datos con las coordenadas de ubicación es el adecuado (9600 baudios/s), ya que los movimientos son sutiles y se asemejan mucho al movimiento natural del cuello humano

El consumo de corriente por parte de los 3 servomotores no supera los 0,4 amperios a un voltaje de 5 voltios, lo cual indica que los servomotores no están exigidos a cargas superiores para las cuales están diseñados.

6.3.2 Análisis en pruebas de usabilidad e interacción con el usuario

El desarrollo de las pruebas permitió constatar que existió un gran interés en el sistema, sobre todo por parte de los usuarios que interactuaban por primera vez con el robot. Los resultados obtenidos en las pruebas alfa y beta fueron satisfactorios y arrojaron los resultados que esperábamos.

La interacción usuario-robot se dio de manera óptima, la respuesta que dicta el robot pudo ser entendida por todos los sujetos de pruebas. De igual manera el texto presentado en la pantalla del robot pudo ser leído. Finalmente, la lista de órdenes a las cuales el robot responde es fácil de pronunciar y recordar por parte de los usuarios.

A partir de la encuesta realizada a los usuarios al final de cada prueba se obtuvieron las siguientes graficas estadísticas

Pregunta #1

Al establecer al robot en modo de detección, enmarca los rostros de la persona que está en frente de el?

El 93% de los encuestados respondió positivamente a esta pregunta. Lo que nos indica que el algoritmo de visión artificial para la detección de un rostro es correcto. Existieron dificultades cuando la presencia de luz fue escasa y cuando el usuario inclina la cabeza o salía del rango de visibilidad de la cámara. Dichos problemas se solucionarán aumentando la cantidad de luz en el ambiente y explicando al usuario las condiciones de funcionamiento del algoritmo

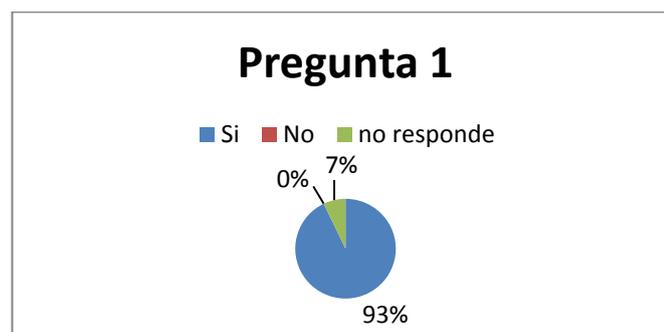


Figura 60 Resultado de la pregunta 1 planteada a los usuarios

Pregunta #2

Las personas que se identificaron son correctamente reconocidas por el robot

Un 79 % del total de los usuarios que probaron el robot afirman que la etiqueta que asigna el robot fue correcta. Es decir, si el usuario está en la base de datos muestra en pantalla su nombre, caso contrario indica como usuario no identificado. Nuevamente los problemas de

identificación se deben a las condiciones de luminosidad del ambiente donde se encuentra el robot

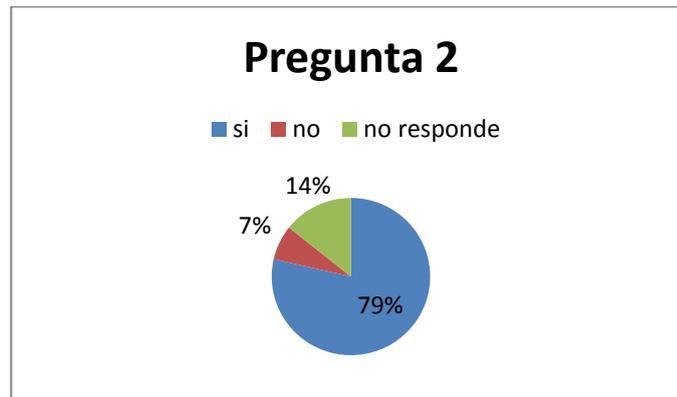


Figura 61 Resultado de la pregunta 2 planteada a los usuarios

Pregunta #3

Al reconocer un sonido el robot ubica de manera correcta la fuente sonora

El 86% de los encuestados dijeron que el robot reconoce y ubica un sonido en el espacio.



Figura 62 Resultado de la pregunta 3 planteada a los usuarios

Pregunta # 4

La lista de los siguientes comandos fueron reconocidos correctamente?

El robot cuenta con 32 comandos de voz, pero para esta prueba se tomaron al azar 13 comandos siendo estos: "música ambiente, música nacional, hola, preséntate, funciones, teléfono Luis, teléfono Doctor, Saluda, reconocer, recordatorio, que hora es, descansa y despierta". Como se puede ver en la siguiente grafica la tasa de aciertos para los comandos de voz dictados es alta, superando el 80%. Entre los inconvenientes que se suscitaron en esta prueba está que en ocasiones el usuario se debía obligado a repetir el comando por segunda o hasta por tercera vez hasta obtener la respuesta deseada, esto se debe a la sensibilidad de micrófono, debe estar en un punto donde se pueda percibir con claridad el comando, y otro punto importante es la velocidad de conexión de internet, ya que de la misma depende el tiempo de respuesta a cada comando dictado.

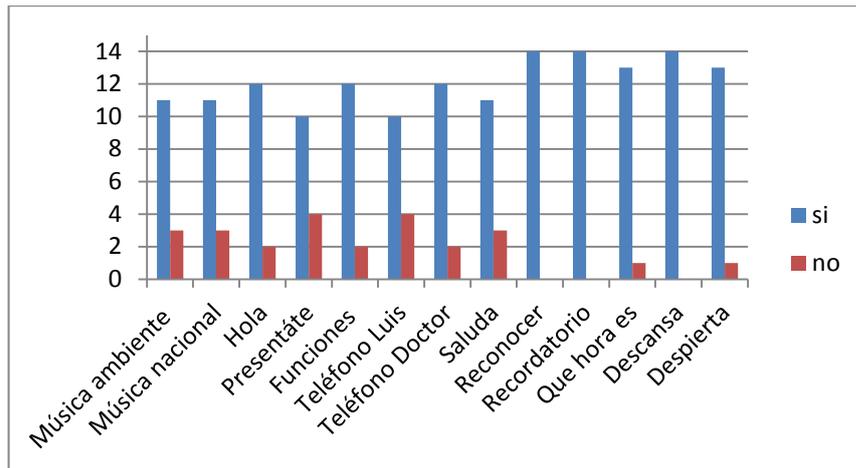


Figura 63 Resultado de la pregunta 4 planteada a los usuarios

Pregunta # 5

Se realiza de manera correcta la respuesta al comando de voz y se visualiza en pantalla dicha respuesta?

El 72% de los encuestados da una valoración positiva a esta pregunta y manifiesta que la información proporcionada por el robot es la correcta. Los usuarios en desacuerdo manifiestan que el tamaño de la letra en la pantalla es muy pequeño y no se legible, ventajosamente la información presentada en pantalla también es pronunciada por el robot de manera clara y esto ayuda al usuario si no logra leer correctamente el texto planteado

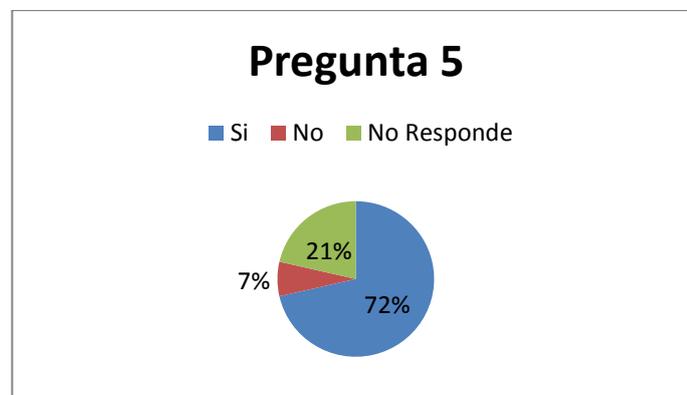


Figura 64 Resultado de la pregunta 5 planteada a los usuarios

Pregunta #6

La cabeza y tórax del robot ejecuta un correcto seguimiento de usuario una vez dictado el comando?

El 86% de los encuestados afirman que el robot hace un correcto seguimiento de sus rostros, entre los problemas que se detectaron al realizar esta prueba está que muchas veces el usuario sale del rango de visibilidad de la cámara y por ende se pierde el rostro del usuario, lo que ocasiona no poder hacer el seguimiento facial.

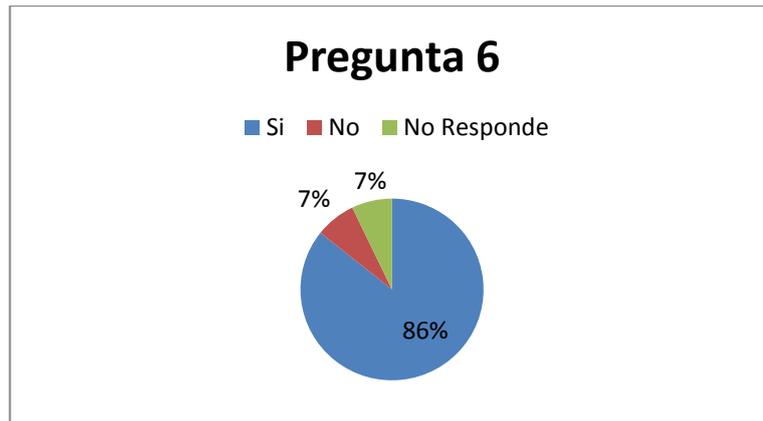


Figura 65 Resultado de la pregunta 6 planteada a los usuarios

Pregunta #7

La estructura del robot es amigable para la interacción con el usuario?

El 93% de los encuestados afirman que el robot es amigable para una interacción humano máquina, entre la observaciones que nos supieron manifestar están aspectos como aumentar la movilidad en brazos y manos.

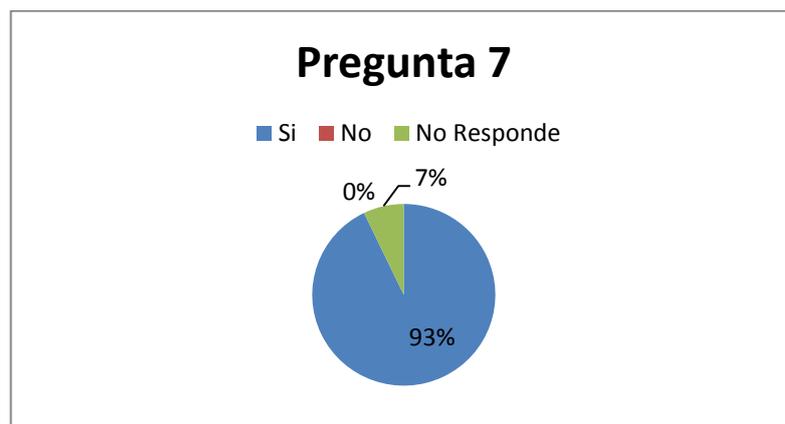


Figura 66 Resultado de la pregunta 7 planteada a los usuarios

Pregunta #8

Estéticamente el robot es agradable?

De igual manera, en esta pregunta el 93% de los usuarios está de acuerdo en la apariencia física que tiene el robot. Afirman que la combinación de colores y luces en los ojos son muy agradables estéticamente.



Figura 67 Resultado de la pregunta 8 planteada a los usuarios

Pregunta #9

Los movimientos se consideran naturales y sutiles

Un 72% de los encuestados indican que los movimientos del robot son naturales y sutiles en especial en los comandos donde se le ordena al robot levantar e inclinar la cabeza.

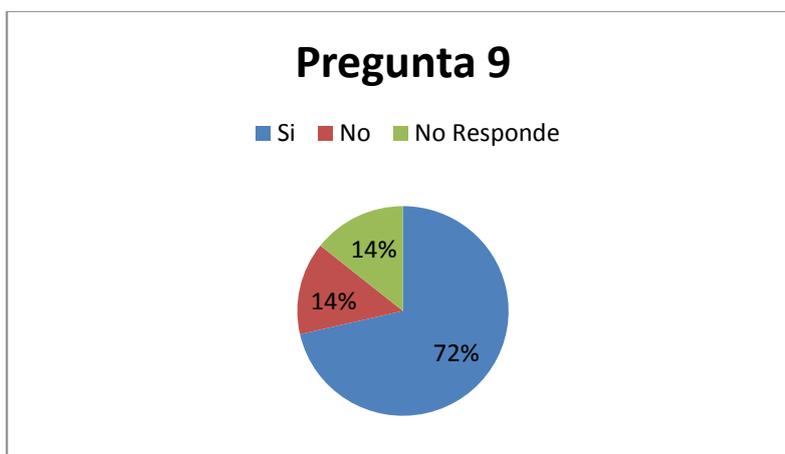


Figura 68 Resultado de la pregunta 9 planteada a los usuarios

Pregunta #10

La voz que implementa el robot es comprensible?

Nuevamente en esta décima pregunta un 72% de los encuestados afirman que la voz del robot es entienda a cabalidad, entre la observaciones que nos plantearon está mejorar la voz del robot ya que algunos usuarios consideran que la voz es muy “robótica” y es necesario hacerla más humana y amigable



Figura 69 Resultado de la pregunta 10 planteada a los usuarios

Pregunta #11

Los comandos de voz considera que son los adecuados

El 100% de los usuarios escogidos para estas pruebas consideran que los comandos son los adecuados para este prototipo de un robot asistente



Figura 70 Resultado de la pregunta 11 planteada a los usuarios

Pregunta #12

El volumen de las respuestas por voz es el adecuado?

De igual manera el 100% de los encuestados afirma que el volumen al cual el robot dicta las respuestas solicitadas es el adecuado

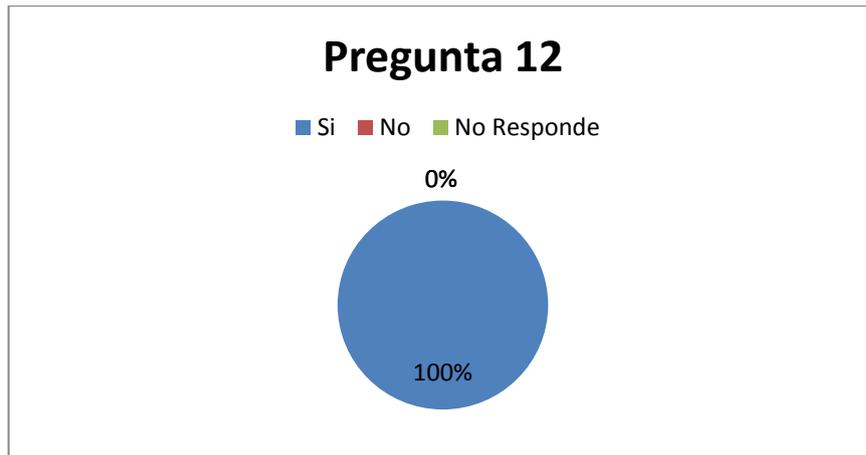


Figura 71 Resultado de la pregunta 12 planteada a los usuarios

CONCLUSIONES

- ❖ Durante el desarrollo de este prototipo, bautizado como SA³M se obtuvieron importantes y variados conocimientos en múltiples áreas, ramas como la electrónica, la informática, la robótica, la mecánica e inclusive ramas del campo social fueron utilizadas en la creación de este prototipo. SA³M es el resultado del trabajo conjunto entre las carreras de Electrónica y Sistemas, pero adicionalmente se contó con criterios y consejos de expertos en área de investigación, mecánica, accesibilidad, robótica, y el resultado es evidente, un prototipo de calidad que abre la puerta a seguir la investigación en este campo.
- ❖ En base a la investigación del estado del arte que se realizó, es evidente que el cuidado del adulto mayor en el Ecuador todavía no es una prioridad, existen limitados centros para el cuidado y atención de este sector de la sociedad. En el aspecto de la robótica al cuidado del adulto mayor, todos los robot asistentes que existen hasta la fecha están en países asiáticos o europeos, y su costo es extremadamente alto, en el país no existen robots para el cuidado del adulto mayor siendo SA³M el primero en su clase a un costo muy económico que no supera los 1300 dólares en su fabricación.
- ❖ En el aspecto de construcción del robot, se usó una tecnología nueva y en auge como es la impresión 3D. Haciendo uso de la impresora Cubex Trio se logró formar cada una de las partes que componen el robot. Esta tecnología al estar de cierta forma en desarrollo todavía, en ocasiones generaba un proceso demorado y algo tedioso, pero los resultados son sumamente satisfactorios y se puede llegar a construir cualquier pieza o equipo que sea pueda imaginar, sin la necesidad de mandar a manufacturar las piezas o componentes que desembocaría en una elevación el costo de construcción.
- ❖ En cuanto a la librería OpenCV, se concluye que es una herramienta muy funcional, potente y con mucha información, lo cual facilita el proceso de investigación y desarrollo. Con respecto a los algoritmos de visión artificial implantados en el robot, los resultados son los esperados, ya que el proceso de reconocimiento e identificación facial se da con precisión. Cabe mencionar que los algoritmos implementados no son perfectos, tienen una gran dependencia a la luz ambiente y en la calidad de las imágenes que forman el corpus de los usuarios. En base a las pruebas y el desarrollo que realizamos, otros aspectos como la calidad de imagen que devuelve la cámara y la capacidad computacional juegan un gran papel en estos algoritmos, por tal motivo se utilizó el procesador CORE i3 con 4Gb de memoria RAM y no un dispositivo de menor gama como minicomputadoras o dispositivos relacionados
- ❖ Las diferentes herramientas y avances tecnológicos con los que se cuenta hoy en día tales como la inteligencia artificial, robótica, sistemas difusos, reconocimiento de imágenes entre otros, son de gran ayuda para satisfacer necesidades básicas para un adulto mayor, en esta tesis se ha hecho uso de dichas herramientas para solventar las necesidades básicas que una persona adulta mayor requiere. Una de las principales tareas es el reconocimiento de los comandos de voz para lo cual el uso de un api bien establecido como lo es el API de Google, el cual presentó óptimos resultados en la fase

de pruebas, es ideal para diferentes entornos en donde puede existir ruido más fuerte o más débil. El sistema de reconocimiento de ordenes por voz que implantamos no fue optimo en primera instancia presentando resultados erróneos en ciertos casos, por lo que se optó por mejorar la solicitud de un comando de voz agregando posibles opciones de comandos que el usuario dicta al robot. Una gran dependencia de este sistema es que siempre necesita de una conexión a internet, y con un ancho de banda muy aceptable, de lo contrario el sistema se vuelve muy lento y defectuoso.

- ❖ Entre los aspectos más importantes y uno de los problemas más complejos que tuvimos en el desarrollo de este robot, fue la codificación del algoritmo para localización sonora, el mismo que se implementó usando la plataforma electrónica Arduino por su fácil programación y rápido manejo de los puertos analógicos de entrada,. Al usar esta plataforma se logró identificar un diferencial de amplitud sonora de entrada en cada uno de los micrófonos implementados en la cabeza del robot, con lo cual se obtiene de manera aceptable, pero no eficiente, la ubicación de la fuente sonora proveniente del entorno en el que se encuentra el robot. Inicialmente se usó el tórax para ubicación de los micrófonos obteniendo resultados menos óptimos. El principal problema en este módulo radica inicialmente en el análisis de la señal que recibe el micrófono producto de los rebotes de la señal acústica en diferentes objetos cercanos al robot inclusive en las mismas partes del robot como son los hombros y los brazos.
- ❖ Toda la programación que lleva incorporada en robot esta en software libre, usa un sistema operativo basado en GNU/Linux y los dispositivos de control son Arduino. Con esto, pretendemos que los algoritmos desarrollados sean de libre distribución con el fin que más investigadores puedan modificar los códigos y de esta manera aportar a las mejoras del robot
- ❖ Finalmente concluimos este trabajo de grado mencionando el gran impacto que tuvo este prototipo tanto a nivel de investigadores como de la comunidad en general. Con el tiempo este prototipo se proyecta a convertirse en una herramienta de gran ayuda para adultos mayores y personas con algún tipo de discapacidad. Construir este robot no fue fácil pero tampoco imposible y esperamos que SA³M se convierta en el inicio de algo grande y por qué no, soñar algún día que el Ecuador se convierta en un país desarrollador y líder en robótica

RECOMENDACIONES

- ❖ Para mejorar el sistema de órdenes por voz, y solucionar el problema de la sensibilidad en el micrófono recomendamos un sistema de auto calibración de la sensibilidad del micrófono. Hemos probado este sistema y las mejoras son notables con el uso del controlador difuso, ya que con el sistema difuso AGC se obtiene un porcentaje promedio de acierto de 69.2% (97 comandos reconocidos) frente al 45.7% (64 comandos reconocidos) del sistema estándar (sin control de ganancia). Las mejoras del sistema son notables (más de 20 puntos porcentuales), en especial en ambientes muy ruidosos donde el nivel de decibeles promedia un valor superior a los 70. El sistema propuesto se fundamenta en un principio simple y fácil de ajustar y modificar. Por ejemplo, si se requiriese incorporar más criterios para determinar el nivel de ganancia del micrófono, bastaría con añadir más entradas al sistema difuso. Por otra parte, también se brinda una solución que busca trabajar en ambientes donde los usuarios tienen problemas con el nivel de volumen de sus voces [84]. Este mismo principio de auto calibración basado en lógica difusa puede ser usado en distintos sensores y aplicaciones, como por ejemplo, calibrar de manera automática el contraste de la imagen tomada por el módulo de visión artificial con el que cuenta el robot, tomando como entrada para el sistema difuso la intensidad lumínica que existe en el ambiente
- ❖ Uno de los aspectos más importantes en los que se recomienda llevar a cabo un estudio profundo es en el módulo de ubicación de la fuente sonora. Para esto se ha estudiado entre 5 métodos para lograr ubicar una fuente sonora, de los cuales el que presenta mejores resultados es el que usa la DIT Diferencia Interaural de Tiempo que hace uso de dos micrófonos, sin embargo existen estudios nuevos los cuales se han llevado como desarrollo de tesis usando un solo micrófono. El método usado en el desarrollo de esta tesis puede implementarse en otras áreas de trabajo y ser usado en funciones diferentes a la robótica, como por ejemplo en la seguridad, incluso es recomendable la evaluación de esta metodología en el ámbito de la oceanografía en donde es interesante conocer la fuente de la que provienen distintas señales sonoras y el comportamiento de las diferentes especies en base al origen de las distintas señales sonoras que genera el ser humano[82]
- ❖ El prototipo que entregamos cuenta con una muy buena capacidad computacional, una cámara de alta resolución y sensores de distancia y proximidad, bajo lo expuesto recomendamos trabajar en algún algoritmo que sea capaz de hacer una reconstrucción 3D del lugar donde se encuentre el robot
- ❖ Con los diferentes esquemas, diseños y protocolos que proporciona en esta tesis de manera libre se pueden identificar de manera fácil cuales son los elementos electrónicos, electromecánicos y mecánicos, con la proporción de esta información se recomienda estudiar dicha información sobre todo para la incorporación de nuevas funcionalidades como la dinámica de los brazos o piernas para estudios posteriores.

- ❖ Finalmente, recomendamos seguir con el estudio y mejoramiento de este prototipo dándole movilidad, aumentando los grados de libertad, incluir baterías, etc. En definitiva, la puerta a la investigación queda abierta.

- [1] Estadísticas presentadas en página oficial de CONADIS, sección estadística por provincia, disponible en http://www.conadis.gob.ec/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=69. Fecha de consulta 09/09/2013
- [2] Artículo. Alzheimer “El amor no se borra” por Gabriela Valenzuela. Revista Cosas, Disponible en <http://www.cosas.com.ec/2085-alzheimer.html> Fecha de consulta 09/10/2013
- [3] Página oficial de Fundación de desarrollo social integral FUNDES, Sección servicios. Disponible en www.fundesiecuador.org/index.html. Fecha de consulta 07/10/2013
- [4] Artículo. Tecnología, tecnología médica y tecnología de la salud: algunas consideraciones básicas. Julio C. Guerrero Pupo, Ileana Amell Muñoz y Rubén Cañedo Andalia disponible bvs.sld.cu/revistas/aci/vol12_4_04/aci07404.htm. Fecha de consulta 19/09/2013
- [5] Artículo. Guía para conseguir una prevención de riesgos laborales inclusiva en las organizaciones - Comunidad de Madrid. Disponible en www.fundacionprevent.com/app/webroot/news/Infounomas/n45/Docs/pdf. Fecha de consulta 17/09/2013
- [6] Jonathan R. Wolpaw, Niels Birbaumer, Brain-Computer Interfaces for communication and control, Laboratory of Nervous System Disorders, Albany USA. 2008
- [7] Luckasson, R. y cols (2002): Mental Retardation: Definition, Classification, and Systems of Supports. 10th Edition. Washington: AAMR. Edición en castellano: Retraso mental: definición, clasificación y sistemas de apoyo. Madrid: Alianza Editoria
- [8] Definición y objetivos de la especialidad de geriatría. Tipología de ancianos y población diana M.^a José Robles Raya Ramón Miralles Basseda Imma Llorach Gaspar Antón M.^a Cervera Alemany. Capitulo 1. Fecha de consulta 04/08/2013
- [9] Las personas con discapacidad en América Latina: del reconocimiento jurídico a la desigualdad real. Maria Fernanda Stang Alva . Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía. Chile 2011. Disponible en www.eclac.org/publicaciones/xml/6/43186/lc13315-P.pdf. Fecha de consulta 23/09/2103
- [10] Cinteco. Área de asistencia Psicológico para adultos mayores. Marzo 2013. Disponible en www.cinteco.com/profesionales/adultos-mayores/. Fecha de consulta 27/08/2103
- [11] IEEE Spectrum autor Evan Ackerman, 2012. Fecha de consulta 17/09/2013
- [12] Página oficial de Honda. Sección Explore Asimo disponible en <http://asimo.honda.com/> Fecha de consulta 02/08/2103
- [13] Laboratory for Perceptual Robotics Computer Science Building <http://www-robotics.cs.umass.edu/index.php/Robots/UBot-5> , fecha de consulta Fecha de consulta 01/07/2103
- [14] Página oficial de centro de robótica de Aldebaran. Sección robótica. Disponible en <http://www.aldebaran-robotics.com/en/>, fecha de consulta Fecha de consulta 01/09/2103
- [15] Ubot Asistente personal robótico <http://www.neoteo.com/ubot-asistente-personal-robotico-15518>. Fecha de consulta 01/09/2103
- [16] Página oficial centro de robotica del MIT, sección PRG. Disponible en <http://robotic.media.mit.edu/projects/robots/huggable/overview/overview.html>, Fecha de consulta 01/09/2103
- [17] Organización Mundial de la Salud. Informe mundial sobre la discapacidad 2011 ISBN 978924068823. Disponible en http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/summary_es.pdf Fecha de consulta 09/10/2103
- [18] Caracterización de la gerontología en colombia una mirada desde las competencias laborales, Servicio Nacional De Aprendizaje, 2008. Fecha de consulta 01/09/2103

- [19] American College of Clinical Engineering, 2000, ‘The role of health care technology in enhancing patient safety by reducing medical errors in medicine’, ACCE White Paper: Draft 2, ACCE, Plymouth Meeting, Estados Unidos de America. Fecha de consulta 01/09/2103
- [20] Introducción a la gerontología definiciones y conceptos básicos, Lic Victoria GonzalezGarcia Fecha de consulta 01/09/2103
- [21] Discapacidad e inclusión social. Colección de estudios sociales, numero 33. Coletivo loe, Carlos Pereda, Miguel Angel de Prada, Walter Actis Fecha de consulta 11/08/2103
- [22] Situación de la tercera edad en el Ecuador. Master Julieta Baquerizo Freile Directora Nacional de Gerontología Ministerio de Bienestar Social, disponible en http://www.cepal.org/celade/noticias/paginas/4/23004/JBaquerizo_p.pdf
- [23] Grupo Saludalia. Disponible en <http://www.saludalia.com/salud-familiar/que-es-geriatria>. Fecha de consulta 11/23/2103
- [24] Discapacidad: evolución de conceptos. José Martínez Pérez Facultad de Medicina Centro Regional de Investigaciones Biomédicas – Universidad de Castilla La Mancha Castilla-
- [25] Ley Orgánica de igualdad y defensa de las personas con discapacidad. República del Ecuador Asamblea general, 2011. Disponible en http://www.derechoambiental.org/Derecho/Legislacion/Ley_Defensa_Derechos_Igualdad_Oportunidades_Personas_Discapacidad.pdf. Fecha de consulta 09/10/2013
- [26] Tesis. “Adquisición de señales electroencefalograficas para el movimiento de un prototipo de silla de ruedas en una sistema BCI”. Sergio Daniel Guevara Mosquera. 2012. Disponible en dspace.ups.edu.ec. Fecha de consulta 09/10/2103
- [27] Aproximación al concepto de la discapacidad. Concepto de Discapacidad según la oms. Disponible en <http://www.cai.es/sestudios/pdf/discapac/3.pdf>. Fecha de consulta 09/10/2103
- [28] Clasificación de Tipo de Discapacidad. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Disponible en www.inegi.org.mx/.../clasificadoresycatalogos/?...tipo_de_discapacidad.pdf. Fecha de consulta 09/10/2103
- [29] Kobian, el robot que expresa emociones humanas. Qué.es 25 de junio de 2009. Disponible en <http://www.que.es/tecnologia/noticias/200906251234-kobian-robot-que-expresa-emociones.html>. Fecha de consulta 09/10/2103
- [30] Asimo. AVANCES DE ASIMO, por Jhonatan Stiv Sierra Peña. Disponible en <http://www.myasimo.blogspot.com/>. Fecha de consulta 09/09/2103
- [31] Tesis. “Estudio de factibilidad para la creación de un centro gerontológico de integración para el adulto mayor CIDAM”. Nieto Edison, Parra Elizabeth. 2013 disponible en dspace.ups.edu.ec. Fecha de consulta 09/10/2103
- [32] La medicina y su proximidad con la persona mayor dependiente. Servicios Sociales. Ayuntamiento de Logroño. Eulen www.logroño.es/wps/wcm/connect/.../MEDICO1.pdf?MOD=AJPERES.... Fecha de consulta 09/10/2103
- [33] Generate real-time Alerts using Highly Accurate Face, Nec. Disponible en <http://www.necam.com/Docs/?id=c8a08fd5-e79c-4f00-9f37-9919318cc772>. Fecha de consulta 10/10/2013
- [34] Holistic Processing of Faces: Bridging Paradigms, Jennifer J. Richler, Isabel Gauthier, Michael J. Wenger y Thomas J. Palmeri, Vanderbilt University- Department of Psychology. Disponible en http://tdlc.ucsd.edu/research/publications/Richler_HP_revised_Aug2007_FINAL.pdf. Fecha de consulta 10/10/2013
- [35] Reconocimiento facial mediante visión artificial, César Reyes López, Universidad de Sevilla , departamento de sistemas y automática. Disponible en http://tdlc.ucsd.edu/research/publications/Richler_HP_revised_Aug2007_FINAL.pdf Fecha de consulta 10/10/2013

- [36] Identificación de características relevantes para reconocimiento de emociones en el rostro, Richard Nolberto RojasBello, Universidad Autónoma de Madrid. Disponible en http://www.eps.uam.es/esp/alumnos/trabajos_fin_master/Rojas_Bello_Richard_Nolberto.pdf. Fecha de consulta 10/10/2013
- [37] Diseño e implementación de una herramienta de detección facial, Lic. María Esther García Chang, Instituto Politécnico Nacional, Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo. 2009. Disponible en <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/6111/1/DISENOIMPLEMFACIAL.pdf>. Fecha de publicación 10/10/2013
- [38] Reconocimiento de rostros en video, Yoanna Martínez Díaz, HeydiMendez Vázquez, Edel García Reyes, Centro de aplicaciones de tecnologías avanzadas. 2012 Disponible en http://www.cenatav.co.cu/doc/RTecnicos/RT%20SerieAzul_045web.pdf. Fecha de consulta 11/10/2013
- [39] Detección de Rostros por medio de las Wavelets de Morlet, Jorge Guevara Días, Maestría en ciencias de la computación, Universidad nacional de Trujillo. Disponible en <http://vision.ime.usp.br/~jorjasso/files/WaveletMorlet.pdf>. Fecha de consulta 11/10/2013
- [40] Introducción a la librería LTI-LIB Librería de visión por computadora, Pablo Alvarado, Peter Doerfler, UlrichCanzler, RWTH Aachen University. 1999-2003. Disponible en <http://www.ie.itcr.ac.cr/palvarado/ltilib-2/homepage/index.html>. Fecha de consulta 11/10/2013
- [41] Documentación de OpenCV 2.4.6.0 online, opencvdev team. 2013. Disponible en <http://docs.opencv.org/modules/core/doc/intro.html>. Fecha de publicación 11/10/2013
- [42] Artículo. Representación de caras mediante eigenfaces Luis Lorente Giménez Proyeclista del Dpto. de Teoría del Setia/y Comunicaciones, Grupo de Procesado de Imagen, Universidad Politécnica de Catalunya
- [43] 'Eigenfaces de Imagen Reducida' para el Reconocimiento Automático de Rostros, Franco Chichizola Armando De Giusti, Marcelo Naiouf, Instituto de Investigación en Informática LIDI, Facultad de Informática. Universidad Nacional de La Plata
- [44] VISION COMPUTACIONAL L. Enrique Sucar, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, México
- [45] J. Gibson. The Ecological Approach to Visual Perception. Boston: Houghton Mifflin, 1979.
- [46] Luis Enrique Sucar, Vision Computacional. Instituto nacional de astrofisica, optica y electronica, Mexico. 1982. Disponiblen en <http://ccc.inaoep.mx/~esucar/Libros/vision-sucar-gomez.pdf>
- [47] Vision por computador, Propiedades y aplicaciones, Andres Bernardo Hernandez, Universidad de Cundinamarca. Disponible en <http://www.slideshare.net/andrew9006/vision-por-computador>
- [48] Proyecto CONVA, Instituto Tecnológico de mueble, madera, embalaje. Disponible en <http://www.hurtadorivas.com/pdf/aidima.pdf>. Fecha de publicación 12/10/2013
- [49] Eye blink detection system for human-computer interaction, AlexandraKrolak, PawelStrumillo. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10209-011-0256-6#page-11>. Fecha de consulta 12/10/2013
- [50] TheVXL home page. Disponible en <http://vxl.sourceforge.net/#intro>. Fecha de publicación 12/10/2013
- [51] Localización acústica en 3D mediante DTI y DNI en un modelo biomimético usando grabaciones binaural, J.I. Galvan, G. Miramontes Universidad Autónoma de Zacatecas, 2008
- [52] Descripción y Análisis de un Modelo de localización Sonora Espacial, R Venegas. R Correa. Departamento de Acústica, Universidad tecnológica de Chile
- [53] Tesis Diseño y Construcción de una cabeza binaural. Armenta Flores Lorena. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Mexico 2011

- [54] Auralización en tiempo real: implementación del modelo del oyente. Fabia C. Tommasini, Mariano Araneda Centro de investigaciones y trasferencia en acústica. Universidad Tecnológica Nacional. Córdoba, Argentina
- [55] Técnicas de Micrófonos, Refuerzo de sonido en vivo, Publicación Educativa de Shure. ShureLegendary performance
- [56] An Investigation into Stereo Microphone Techniques and their Applications, Thomas Rawlinson, Staffordshire University, May 2011
- [57] Generación de espacios auditivos 3-D. Antonio Quintero, Pablo Ingancio D Ambrosio, VI Congreso Iberoamericano de AcusticaFIA 2008, Buenos Aires . 2008
- [58] Real- Time Sound Localization and separation for Robot Audition, Kazuhiro Nakadai, Hiroshi Okuno, Sony Computer Science Laboratories, Inc., Tokyo, Japan
- [59] Localización de Fuentes Sonoras por Multilateracion. C.Trujillo y J Garcia. Escuela de Física Universidad de Colombia
- [60] Precedencia y Espacialidad - Imagen Estéreo, Juan E. San Martín, Secretaría de Extensión – Facultad de Bellas Artes UNLP.1993
- [61] Técnicas de microfoneo de sala e instrumentos, Juan E. San Martín, Secretaría de Extensión, Facultad de Bellas Artes UNLP.1993
- [62] Técnicas de micrófonos en estéreo, Bruce Bartlet, Instituto oficial de radio television española.
- [63] Técnicas de micrófonos para sonido en vivo, Shureincorporated, 2011
- [64] Reconocimiento de voz aplicado a la domótica,FransiscoMejia, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador
- [65] A speech recognizer written entirely in the Java™ programming language, Carnegie Mellon University.2002
- [66] Web Speech API Specification,, Glen Shires, Hans Wennborg. Google Inc..2012
- [67] Web Speech API, Julius Adorf, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm.2013
- [68] Multipurpose Large Vocabulary Continuous Speech Recognition Engine, Julius,Kyoto niversity.2001
- [69] Open-Source Large Vocabulary CSR Engine Julius, Julius project team, Nagoya Institute of Technology. 2013
- [70] Implantación de un sistema de localización de sonido biaural en una cabeza robótica. Sara Tapias Sanz. Universidad de Valladolid. Octubre 2005
- [71] Active StereoSoundLocalization. Greg L. Reid, EvangelasMiliias. Department of ComputerScience. North York Ontario Canada 1999
- [72] wiseGeek, What Are the Different Types of Computer Vision Applications?.Disponible en <http://www.wisegeek.com/what-are-the-different-types-of-computer-vision-applications.htm>
- [73] Tenologias para adquisicion de imágenes Bloque 2, Profesor Manuel Rivas Perez. Disponible en [http://www.atc.us.es/descargas/Tecnologias_para_la_adquisicion_de_imagenes_\(Bloque2\).pdf](http://www.atc.us.es/descargas/Tecnologias_para_la_adquisicion_de_imagenes_(Bloque2).pdf)
- [74] Fotonostra, diccionario de fotografía y diseño. Disponible en <http://www.fotonostra.com/glosario/paralaje.htm>
- [75] Sistemas audiovisuales I.Televisiananalogica y digital. Argentina 2000 Disponible en <http://melca.com.ar/archivos/apuntes/Sistemas%20audiovisuales.%20Television%20analogica%20y%20digital/TL02209C.pdf>
- [76] Diseño detallado del sistema mecánico de un robot jugador de futbol para la competencia robocup,Escuela de ingenieria, departamento de ingenieria mecanica, Daniel Alejandro Block Bucher, Cholula, Puebla, México a 15 de diciembre de 2005.Disponible en http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/block_b_da/capitulo7.pdf
- [77] Procedimientos de Soldadura,plantas y oficinas administrativas de municipio de San Francisco,Octubre del 2020.Disponible en <http://www.revinca.com/fusion.pdf>

- [78] Automatización de el proceso de ensamblaje del soporte de el sensor de lluvia en parabrisas de automoviles, Escola tecnica superior ingenyeria, universitat rovira virgili, Angel Fernandez Vitos, junio del 2007
- [79] SISTEMA DE RECONOCIMIENTO FACIAL Y REALIDAD AUMENTADA PARA DISPOSITIVOS MÓVILES , Juan Vicente Martínez Pérez1 Jordi Linares Pellicer, Área de Innovación y Desarrollo, S.L. ,2012.Disponible en <http://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2012/06/4.Sistemas-de-reconocimiento-facial.pdf>
- [80] Robots de servicio, Rafael aracil, Carlos Balaguer, Manuel Armada, Division de ingenieria de sistemas y automatic, abril del 2008.
- [81] Reconocimiento Facial con OpenCV, Dario Lopez Padiol, junio del 2013. Disponible en <http://dariolp.blogspot.com/2013/01/reconocimiento-facial-con-opencv.html>
- [82] Discovery of Sound in the Sea, Graduate School of Oceanography University of Rhode Island. Disponible en <http://www.dosits.org>
- [83] SA3M: An Interactive Robot to Provide Support for the Elderly, David Valencia-Redrován , Luis González-Delgado, Vladimir Robles-Bykbaev, Ninfa González-Delgado, Todd Panzner, GI-SIIA, Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación en Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador (unpublished)
- [84] Fuzzy Controller for Automatic Microphone Gain Control in an Autonomous Support System for Elderly, Luis González-Delgado, David Valencia-Redrován, Vladimir Robles-Bykbaev, Ninfa González-Delgado, Todd Panzner, GI-SIIA, Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación en Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador (unpublished)