



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

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA EMBEBIDO DE “EYE TRACKING” PARA PERSONAS CON DISCAPACIDADES MOTRICES SUPERIORES”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado de académico de:  
**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**AUTOR: CRISTHIAN ANTONIO PARDO SARANGO**  
**TUTOR: ING. ALBERTO ARELLANO**

Riobamba – Ecuador

2017

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

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de titulación: DESARROLLO DE UN SISTEMA EMBEBIDO DE “EYE TRACKING” PARA PERSONAS CON DISCAPACIDADES MOTRICES SUPERIORES, de responsabilidad del señor Pardo Sarango Cristhian Antonio, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna E. <b>DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA</b>	_____	_____
Ing. Freddy Chávez V. <b>DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES</b>	_____	_____
Ing. Alberto Arellano A. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	_____
Ing. Fernando Mejía <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	_____

Yo, **PARDO SARANGO CRISTHIAN ANTONIO**, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que proviene de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación

Riobamba, 31 de Marzo del 2017

---

**CRISTHIAN ANTONIO PARDO SARANGO**

**CI. 070435323-4**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar a mi Dios que por medio de su bendición me ha dado la perseverancia para seguir en este camino hasta poder culminar mi meta y ver alcanzado este gran éxito.

A mi ejemplo más grande mi vida que son mis padres, por el apoyo incondicional y su enorme confianza que desde el comienzo de este camino me han brindado para que por medio de este logro alcanzado se sientan orgullosos.

A mis hermanos y hermana que siempre me han dado su apoyo, ofreciéndome su consejo alentando el deseo de culminar mi carrera.

A mis familiares, amigos, compañeros, etc. Que me brindaron su apoyo para poder culminar este camino, alcanzando mi meta.

A mi gran compañera Karina que ha estado en las etapas más difíciles de mi carrera brindándome ese apoyo incondicional en el transcurso de mi desarrollo como profesional.

A mi tutor de tesis Ing. Alberto Arellano, docente de la época en la facultad de informática y electrónica, gracias a su guía, sus conocimientos y consejos en el transcurso del desarrollo de mi trabajo de titulación que fueron de gran ayuda para la culminación del mismo.

**Cristhian Pardo**

## **DEDICATORIA**

El desarrollo de este trabajo de titulación está dedicado a Dios por darme la bendición de seguir en pie durante toda mi formación académica y culminar mi meta de ser un profesional.

A mis queridos padres Vicente y Carmita quienes fueron los que me ofrecieron ese apoyo incondicional y mi guía en el transcurso de mi formación profesional.

A mis hermanos, hermana, demás familiares y amigos que me ofrecieron ese apoyo con sus palabras, su apoyo moral creyendo en la capacidad de alcanzar esta meta.

**Cristhian Pardo**

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b> .....	<b>XV</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>XVI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>XVII</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1 FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Discapacidades motrices</b> .....	<b>1</b>
<i>1.1.1 Tipos de discapacidades motrices</i> .....	<i>1</i>
<i>1.1.2 Discapacidades motrices superiores</i> .....	<i>1</i>
<i>1.1.3 Causas de las discapacidades motrices superiores</i> .....	<i>1</i>
<i>1.1.3.1 Accidentes de transito</i> .....	<i>1</i>
<i>1.1.3.2 Accidentes laborales</i> .....	<i>2</i>
<i>1.1.3.3 Accidentes por enfermedades graves</i> .....	<i>2</i>
<i>1.1.3.4 Geneticas al nacer con la discapacidad</i> .....	<i>2</i>
<i>1.1.3.5 Estadísticas de discapacidad en Ecuador</i> .....	<i>3</i>
<b>1.2 Sistemas inteligentes y sistemas embebidos</b> .....	<b>7</b>
<i>1.2.1 Sistemas inteligentes</i> .....	<i>7</i>
<i>1.2.1.1 Definición de los sistemas inteligentes</i> .....	<i>7</i>
<i>1.2.1.2 Evolución de los sistemas inteligentes</i> .....	<i>7</i>
<i>1.2.1.3 Los sistemas inteligentes en la actualidad</i> .....	<i>7</i>
<i>1.2.1.4 Aplicación de los sistemas inteligentes</i> .....	<i>8</i>
<i>1.2.2 Sistemas embebidos</i> .....	<i>8</i>
<i>1.2.2.1 Definición de los sistemas embebidos</i> .....	<i>8</i>
<i>1.2.2.2 Componentes que conforman los sistemas embebidos</i> .....	<i>9</i>
<i>1.2.2.3 Beneficios de los sistemas embebidos</i> .....	<i>9</i>
<i>1.2.2.4 Área de aplicación de los sistemas embebidos</i> .....	<i>10</i>
<b>1.3 Reconocimiento de patrones oculares</b> .....	<b>10</b>
<i>1.3.1 Estructura del ojo humano</i> .....	<i>12</i>
<i>1.3.1.1 Control del movimiento y fijación del ojo humano</i> .....	<i>13</i>
<i>1.3.1.2 Técnicas de seguimiento en movimientos oculares</i> .....	<i>14</i>
<b>1.4 EYE TRACKING</b> .....	<b>16</b>
<i>1.4.1 Introducción</i> .....	<i>16</i>
<i>1.4.2 Descripción del eye tracking</i> .....	<i>16</i>
<i>1.4.2.1 Desarrollo de la tecnología del eye tracking</i> .....	<i>17</i>

1.4.2.2	<i>Eye tracking para personas con discapacidades motrices superiores</i> .....	18
<b>1.5</b>	<b>Software para el desarrollo del sistema embebido de eye tracking</b> .....	<b>20</b>
1.5.1	<i>Visual Studio C# 2010</i> .....	20
1.5.2	<i>Matlab</i> .....	20
1.5.3	<i>Open CV</i> .....	21
<b>1.6</b>	<b>Hardware para el desarrollo del sistema embebido de eye tracking</b> .....	<b>21</b>
1.6.1	<i>Raspberry PI</i> .....	21
1.6.2	<i>Router Nano</i> .....	23
1.6.3	<i>Módulo WIFI</i> .....	24
1.6.4	<i>Batería portátil</i> .....	24
1.6.5	<i>Cámara Raspberry RaspiCam</i> .....	25
<b>CAPITULO II</b> .....		<b>26</b>
<b>2</b>	<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEETPDMS</b> .....	<b>26</b>
<b>2.1</b>	<b>Desarrollo de la arquitectura general del SEETPDMS</b> .....	<b>26</b>
<b>2.2</b>	<b>Diseño del módulo de adquisición de datos (M.A.D)</b> .....	<b>28</b>
2.2.1	<i>Requerimiento de hardware</i> .....	28
2.2.1.1	<i>Raspberry pi 2</i> .....	28
2.2.1.2	<i>Cámara raspberry RaspiCam</i> .....	29
2.2.1.3	<i>Adaptador wifi USB</i> .....	30
2.2.1.4	<i>Gafas de soporte de la cámara RaspiCam</i> .....	31
2.2.1.5	<i>Alimentador portátil</i> .....	32
2.2.1.6	<i>Cable HDMI</i> .....	33
2.2.1.7	<i>Cable flex</i> .....	34
2.2.1.8	<i>Cable HDMI y flex ensamblados juntos</i> .....	35
2.2.1.9	<i>Memoria micro SD</i> .....	37
2.2.1.10	<i>Construcción finalizada de la estructura de la cámara RaspiCam</i> .....	38
2.2.2	<i>Requerimiento de software</i> .....	39
2.2.2.1	<i>Panasonic_SD Formatter</i> .....	39
2.2.2.2	<i>Win32 Disk Imager</i> .....	40
2.2.2.3	<i>Rasbian Wheezy versión 2015</i> .....	41
2.2.3	<i>Esquema de conexión del M.A.D</i> .....	41
2.2.4	<i>Representación de los elementos del M.A.D en conjunto</i> .....	42
<b>2.3</b>	<b>Diseño del módulo de comunicación inalámbrica (M.C.I)</b> .....	<b>43</b>
2.3.1	<i>Requerimiento de hardware</i> .....	43
2.3.1.1	<i>Router Nano</i> .....	43
2.3.1.2	<i>Alimentador inalámbrico</i> .....	44

2.3.1.3	<i>Cable USB/Micro USB</i> .....	45
2.3.1.4	<i>Cable de RED</i> .....	46
2.3.2	<b>Requerimiento de software</b> .....	46
2.3.2.1	<i>Software para configuración de Nano router</i> .....	46
2.3.3	<b>Esquema de conexión del M.C.I.</b> .....	47
2.3.4	<b>Representación de los elementos del M.C.I en conjunto</b> .....	48
2.4	<b>Diseño del módulo de procesamiento de datos (M.P.D)</b> .....	48
2.4.1	<b>Requerimiento de hardware</b> .....	48
2.4.1.1	<i>Computador portátil</i> .....	48
2.4.2	<b>Requerimiento de software</b> .....	49
2.4.2.1	<i>Matlab R2014A</i> .....	49
2.4.2.2	<i>Putty_0.65</i> .....	50
2.4.2.3	<i>VNC-Viewer-5.2.3-Windows-64 bit</i> .....	51
2.4.2.4	<i>Advanced-IP-Scanner</i> .....	52
2.4.2.5	<i>Winsdk_web</i> .....	53
2.4.2.6	<i>Máquina virtual de java actualizada</i> .....	53
2.4.3	<b>Esquema de conexión del M.P.D</b> .....	53
2.4.4	<b>Representación de los elementos del M.P.D en conjunto</b> .....	53
2.4.5	<b>Esquema general de conexión física del prototipo SEETPDMS</b> .....	55
2.5	<b>Descripción del algoritmo desarrollado para el prototipo de SEETPDMS</b> .....	56
2.5.1	<b>Diagrama de flujo del algoritmo para el prototipo del SEETPDMS</b> .....	56
2.5.2	<b>Funciones que integran el algoritmo del prototipo del SEETPDMS</b> .....	58
2.5.2.1	<i>Inicio de los parámetros del mouse</i> .....	58
2.5.2.2	<i>Configuración de la RASPICAM</i> .....	58
2.5.2.3	<i>Captura del movimiento de la pupila</i> .....	59
2.5.2.4	<i>Movimiento del cursor en la pantalla</i> .....	60
2.5.2.5	<i>Calculo del centroide de la pupila para el seguimiento ocular</i> .....	61
2.5.3	<b>Algoritmo del prototipo del SEETPDMS</b> .....	64
<b>CAPITULO III</b> .....		<b>66</b>
3	<b>EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO SEETPDMS</b> .....	<b>66</b>
3.1	<b>Introducción</b> .....	<b>66</b>
3.2	<b>Representación del prototipo embebido desarrollado</b> .....	<b>66</b>
3.3	<b>Desarrollo de pruebas del prototipo SEETPDMS Software-Hardware</b> .....	<b>67</b>
3.3.1	<i>Experimento de validación del movimiento del cursor hacia arriba</i> .....	<b>67</b>
3.3.2	<i>Experimento de validación del movimiento del cursor hacia abajo</i> .....	<b>68</b>
3.3.3	<i>Experimento de validación del movimiento del cursor hacia la derecha</i> .....	<b>70</b>

3.3.4	<i>Experimento de validación del movimiento del cursor hacia la izquierda.....</i>	<i>71</i>
3.3.5	<i>Promedio de posicionamiento del cursor sobre el icono.....</i>	<i>73</i>
3.3.6	<i>Experimento de validación de retardo del cursor al movimiento de la pupila.....</i>	<i>77</i>
3.3.7	<i>Promedio de retardo del movimiento del cursor con respecto a la pupila.....</i>	<i>85</i>
3.4	<b>Análisis de resultados de la pruebas de validación del SEETPDMS .....</b>	<b>87</b>
3.5	<b>Análisis económico del prototipo SEETPDMS.....</b>	<b>88</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>89</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>90</b>
<b>GLOSARIO</b>		
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Personas con discapacidades por provincia .....	4
Figura 2-1	Tipo de discapacidad actual en Ecuador.....	4
Figura 3-1	Porcentaje por género con discapacidad actual en Ecuador .....	5
Figura 4-1	Descripción de iris y pupila .....	11
Figura 5-1	Estructura básica del ojo.....	12
Figura 6-1	Ejes de Fick .....	13
Figura 7-1	Imágenes de Purkinje .....	15
Figura 8-1	Pupila.....	16
Figura 9-1	Dispositivo de eye tracking.....	17
Figura 10-1	Sistema PC Eye Go .....	19
Figura 11-1	Sistema Serie I de Tobii.....	19
Figura 12-1	Sistema Eye Mobile.....	20
Figura 13-1	Raspberry Pi 1 .....	22
Figura 14-1	Raspberry Pi B+ .....	22
Figura 15-1	Raspberry Pi 2 .....	23
Figura 16-1	Router Nano .....	23
Figura 17-1	Módulo Wifi para Raspberry Pi.....	24
Figura 18-1	Batería Portátil .....	25
Figura 19-1	RaspiCam .....	25
Figura 1-2	Adaptador wifi USB .....	30
Figura 2-2	Adaptador wifi USB conectado.....	31
Figura 3-2	Gafas normales .....	31
Figura 4-2	Cable HDMI.....	33
Figura 5-2	Cable flex.....	34
Figura 6-2	Conexión cable flex raspicam-raspberry pi 2 .....	34
Figura 7-2	Memoria micro SD .....	37
Figura 8-2	Panasonic_SD Formatter .....	40
Figura 9-2	Win32 Disk Imager.....	40
Figura 10-2	Interfaz gráfica de Raspbian Wheezy 2015 .....	41

## INDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1-1	Técnicas de reconocimiento ocular.....	11
Grafico 1-2	Arquitectura general del SEETPDMS.....	26
Grafico 2-2	Diagrama de bloques para desarrollar el prototipo .....	26
Grafico 3-2	Diagrama manipulación de variables .....	27
Grafico 4-2	Raspberry Pi 2.....	28
Grafico 5-2	RaspiCam .....	29
Grafico 6-2	Soporte de RaspiCam .....	30
Grafico 7-2	Gafas de soporte.....	32
Grafico 8-2	Alimentador portátil.....	33
Grafico 9-2	Corte del cable HDMI.....	35
Grafico 10-2	Hilos del cable HDMI.....	35
Grafico 11-2	Pulido del extremo cable flex.....	36
Grafico 12-2	Distribución pines para soldar .....	36
Grafico 13-2	Cable de extensión FLEX-HDMI-FLEX.....	37
Grafico 14-2	Elementos de la cámara RaspiCam 1 .....	38
Grafico 15-2	Elementos de la cámara RaspiCam 2 .....	38
Grafico 16-2	M.A.D.....	39
Grafico 17-2	Conexiones del M.A.D.....	41
Grafico 18-2	Elementos internos del M.A.D.....	42
Grafico 19-2	Soporte cámara RaspiCam.....	42
Grafico 20-2	Router Nano .....	43
Grafico 21-2	Parámetros del Router Nano.....	44
Grafico 22-2	Alimentación portátil del Router Nano .....	44
Grafico 23-2	Cables USB/Micro USB .....	46
Grafico 24-2	Cable de Red RJ-45.....	46
Grafico 25-2	Nombre de la red wifi para la red local .....	47
Grafico 26-2	Conexiones del M.C.I.....	47
Grafico 27-2	Módulo de Comunicación Inalámbrica .....	48
Grafico 28-2	Computador portátil del proyecto .....	49
Grafico 29-2	Interfaz gráfica del M.P.D.....	50
Grafico 30-2	Interfaz gráfica de Putty.....	51
Grafico 31-2	Interfaz gráfica de VNC-Viewer .....	52
Grafico 32-2	Interfaz gráfica de Advanced-IP-Scanner .....	52
Grafico 33-2	Conexiones del M.P.D.....	53

<b>Grafico 34-2</b>	<b>Hardware y Software del M.P.D .....</b>	<b>54</b>
<b>Grafico 35-2</b>	<b>Conexión y comunicación física del prototipo completo SEETPDMS .....</b>	<b>55</b>
<b>Grafico 36-2</b>	<b>Diagrama de flujo del algoritmo para el SEETPDMS .....</b>	<b>56</b>
<b>Grafico 1-3</b>	<b>Diagrama del prototipo SEETPDMS .....</b>	<b>66</b>
<b>Grafico 2-3</b>	<b>Posicionamiento del cursor hacia arriba .....</b>	<b>68</b>
<b>Grafico 3-3</b>	<b>Posicionamiento del cursor hacia abajo .....</b>	<b>70</b>
<b>Grafico 4-3</b>	<b>Posicionamiento del cursor hacia la derecha .....</b>	<b>71</b>
<b>Grafico 5-3</b>	<b>Posicionamiento del cursor izquierda .....</b>	<b>73</b>
<b>Grafico 6-3</b>	<b>Experimento de posicionamiento del cursor de los 10 Usuarios .....</b>	<b>75</b>
<b>Grafico 7-3</b>	<b>Promedio experimentos de los 10 Usuarios .....</b>	<b>76</b>
<b>Grafico 8-3</b>	<b>Movimiento del cursor hacia abajo de 1 Usuario .....</b>	<b>79</b>
<b>Grafico 9-3</b>	<b>Movimiento del cursor hacia arriba de 1 Usuario .....</b>	<b>80</b>
<b>Grafico 10-3</b>	<b>Movimiento del cursor hacia la derecha de 1 Usuario.....</b>	<b>81</b>
<b>Grafico 11-3</b>	<b>Movimiento del cursor hacia la izquierda de 1 Usuario .....</b>	<b>83</b>
<b>Grafico 12-3</b>	<b>Promedio de retardo con los 4 tiempos del Usuario 1.....</b>	<b>84</b>
<b>Grafico 13-3</b>	<b>Promedio de tiempo de retardo pupila- cursor de los 10 Usuarios.....</b>	<b>86</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	<b>Tipo de discapacidades en Ecuador .....</b>	<b>5</b>
<b>Tabla 2-1</b>	<b>Personas con discapacidades por género actual en Ecuador .....</b>	<b>6</b>
<b>Tabla 3-1</b>	<b>Personas con discapacidades RIOBAMBA, CHIMBORAZO .....</b>	<b>6</b>
<b>Tabla 1-3</b>	<b>Movimiento del cursor hacia arriba. ....</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 2-3</b>	<b>Movimiento del cursor hacia abajo.....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 3-3</b>	<b>Movimiento del cursor hacia la derecha.....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 4-3</b>	<b>Movimiento del cursor hacia la izquierda .....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla 5-3</b>	<b>Promedio de posicionamiento del cursor del Usuario 1.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 6-3</b>	<b>Experimento de posicionamiento del cursor de los 10 Usuarios .....</b>	<b>74</b>
<b>Tabla 7-3</b>	<b>Promedio de posicionamiento del cursor de los 10 Usuarios.....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 8-3</b>	<b>Retardo del cursor al movimiento de la pupila. ....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 9-3</b>	<b>Movimiento del cursor hacia abajo.....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 10-3</b>	<b>Movimiento del cursor hacia arriba. ....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 11-3</b>	<b>Movimiento del cursor hacia la derecha.....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 12-3</b>	<b>Movimiento del cursor hacia la izquierda. ....</b>	<b>82</b>
<b>Tabla 13-3</b>	<b>Tiempo promedio del cursor con respecto a la pupila del Usuario 1.....</b>	<b>84</b>
<b>Tabla 14-3</b>	<b>Tiempo de retardo de los 10 Usuarios.....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 15-3</b>	<b>Promedio de tiempo de retardo de los 10 Usuarios.....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 16-3</b>	<b>Componentes y costos de cada elemento que integran el prototipo.....</b>	<b>88</b>

## INDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A</b>	<b>Algoritmo de Viola-Jones .....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO B</b>	<b>Pruebas de funcionamiento del prototipo SEETPDMS.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO C</b>	<b>Soporte de la cámara RaspiCam.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO D</b>	<b>Adquisición de datos con las RaspiCam .....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO E</b>	<b>Estructura interna del M.C.I.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO F</b>	<b>Estructura interna del M.P.D .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO G</b>	<b>Gafas de soporte de la cámara Raspicam.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO H</b>	<b>Pruebas de movimiento del cursor.....</b>	<b>102</b>

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se propuso desarrollar e implementar una plataforma embebida de eye tracking para personas con discapacidades motrices superiores. Luego de analizar y evaluar varios prototipos eye tracking con sus diferentes técnicas y algoritmos de programación, se realizó una investigación minuciosa y detallada del porcentaje de personas con esta discapacidad, a quienes se les dificulta tener una educación normal y mucho menos acceso a la información de distinta índole, como: acceso a internet, acceso a repositorios de libros electrónicos, etc., este sistema se desarrolló para facilitar el acceso a la lectura de libros electrónicos desde un repositorio establecido en el computador. Su función principal fue realizar el seguimiento del ojo humano específicamente la pupila. El seguimiento ocular fue realizado por una cámara RASPICAM, este dispositivo va conectado a una tarjeta RASPBERRY PI 2 que captura los datos de la pupila, luego envía los datos a través de un módulo de comunicación inalámbrico hacia un computador. Se instaló un software basado en librerías de MATLAB que procesa los datos y ejecuta el movimiento del cursor, denominado MOUSE VIRTUAL, debido a que no interactúa físicamente con el usuario, el cursor se ubica sobre el icono, ejecutando el documento teniendo acceso a la información. En la validación de la plataforma se tomaron 20 pruebas al azar obteniendo resultados esperados llegando a la conclusión que es un prototipo capaz de cumplir con las expectativas establecidas para mejorar el estilo de vida de personas con la discapacidad anterior mencionada. Como recomendación general del prototipo, realizar una calibración sencilla antes de su uso, debido a la particularidad de cada persona.

**Palabras claves:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <ROBÓTICA>, <VISIÓN ARTIFICIAL>, <DISCAPACIDADES MOTRICES SUPERIORES>, <RASPBERRY PI 2 (SOFTWARE - HARDWARE)>, <SISTEMAS EMBEBIDOS>, <EYE TRACKING>, <MOUSE VIRTUAL>

## SUMMARY

This study proposed to develop and implement an embedded eye-tracking platform for people with upper limbs motor disabilities. After having analyzed and evaluated several eye-tracking prototypes with their different techniques and programming algorithms, a comprehensive and detailed research was conducted in order to determine the percentage of people suffering this disability. Upper limbs motor disabilities cause them difficulties for accessing a normal education system, as well as a very limited access to several information sources such as: internet access, access to e-book repositories, etc. The Embedded Eye Tracking platform was developed to facilitate the access to reading of electronic books from a repository set up in the computer. Its main function was to follow the human eye specifically the pupil. Eye Tracking was performed by a RASPICAM camera, this device is connected to a RASPBERRY PI 2 card that captures the pupil data, then, it sends the data through a wireless communication module to a computer. It was installed a software based on MATLAB libraries, which processes the data and executes the cursor movement, called VIRTUAL MOUSE since it does not interact physically with the user, the cursor is located on the icon by executing the document and accessing information. In the validation of the platform, 20 randomized tests were taken consequently, the expected outcomes were obtained, which leads to conclude that the embedded eye-tracking platform is a prototype capable of meeting the established expectations to improve the lifestyle of people with this type of disabilities. As a general recommendation, it is advisable to perform a simple calibration of the prototype before using it, according to the particularity of each individual.

**Key words:** < TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES >, <ROBOTICS>, <ARTIFICIAL VISION>, <UPPER MOTOR DISABILITIES>, <RASPBERRY PI 2 (SOFTWARE - HARDWARE)>, <EMBEDDED SYSTEMS>, <EYE TRACKING>, <VIRTUAL MOUSE >

## **INTRODUCCIÓN**

El avance de nuevas tecnologías y el gran interés de la sociedad por la inclusión a personas con discapacidad, es un tema importante que está creciendo mucho en el desarrollo de instrumentos que ofrezcan autonomía en actividades diarias a personas con discapacidad.

En la actualidad una de la herramientas más utilizadas es el computador, donde los periféricos más utilizados son el ratón o el teclado, la manipulación de estos periféricos es muy difícil para personas con discapacidades motrices llegando a la frustración de las mismas sintiendo que no tienen lugar en la sociedad. El manejo de un computador, el uso continuo del internet y la accesibilidad a la información para una persona con algún tipo de discapacidad es un verdadero reto. Por lo tanto, es de gran importancia el combatir estas barreras, desarrollando tecnologías de inclusión, con el fin de colaborar en su proceso de integración en el ámbito social y laboral.

De aquí la importancia del desarrollo de este sistema para mejorar la vida diaria de estas personas para que se sientan incluidas y útiles en la sociedad, se encuentren informados y en constante desarrollo intelectual con el acceso a la lectura de documentos electrónicos.

## **ANTECEDENTES**

El desarrollo de nuevas tecnologías en los últimos años ha impulsado el campo de la robótica y los sistemas inteligentes, el reconocimiento de patrones oculares facial es una herramienta muy importante, evolucionando notablemente, dando a este campo de investigación una línea de desarrollo activa que describe diversas áreas, como procesado de imágenes, reconocimiento de patrones oculares, visión por computadora y redes neuronales.

De manera global se ha tomado los sistemas inteligentes como un tema muy importante, ya que el desarrollo de la tecnología avanza día a día. Chile desarrolló un software para personas que padezcan de algún tipo discapacidad, se llama Lifeware Integra, software que permite utilizar el ordenador a personas con algún tipo de discapacidad, integrada por una de serie de herramientas que brindan las posibilidades de entrar en el mundo digital, el prototipo viene siendo desarrollado por estudiantes de ingeniería de Informática de la Universidad Técnica Federico Santa María (Peres Lopez, 2011).

El país ha desarrollado nuevas tecnologías para personas con discapacidades en la Universidad de Cuenca, se implementó una propuesta de prototipo de turismo respecto a señalización para

personas con dificultades visuales, para ayudar a las personas con esta discapacidad (Hidalgo Córdova, 2011).

En la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo, Ecuador, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se realizó un prototipo de automatización para un ascensor que ayudará a las personas discapacitadas del mirador del parque Guayaquil en el 2013. Con la finalidad de acceder al mirador del “Parque Infantil” (Maldonado Ibarra, 2014).

Las personas con discapacidades motrices superiores tienen muchas limitaciones en su vida, una de estas limitaciones o problemas es la educación, el poder acceder a un computador e informarse con artículos científicos, paper, entre otros documentos electrónicos. De aquí la importancia de solucionar el problema de las personas con este tipo de discapacidad.

En consecuencia, las investigaciones anteriores muestran claramente que el área de la robótica y los sistemas inteligentes es muy amplia, este trabajo de titulación se va a centrar específicamente al reconocimiento de patrones de movimiento oculares para el desarrollo de un sistema embebido en base a la tecnología de “eye tracking” para personas con discapacidades motrices.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿De qué manera un sistema de reconocimiento y procesamiento de movimientos oculares ayudará a las personas con discapacidades motrices superiores en la lectura de documentos electrónicos?

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es el tiempo de retardo entre el movimiento del ojo y el puntero del mouse?

¿Cuál es el nivel de efectividad de los movimientos del ojo respecto al desplazamiento del puntero del mouse?

¿Cuántos movimientos del ojo son necesarios para el desplazamiento del mouse en el eje vertical?

¿En qué medida el desarrollo del sistema embebido de “EYE TRACKING” ayudará a las personas con discapacidades motrices superiores?

## **MÉTODOS Y TÉCNICAS**

### **MÉTODOS**

En el desarrollo del presente trabajo de grado el método que se va a utilizar es el método inductivo; en vista que este nos presta facilidades para realización de la investigación ya que parte de verdades previamente establecidas como principios generales, para luego aplicarlo a casos individuales y comprobar así su validez en el desarrollo de la investigación en el sistema, como se detalla a continuación:

- Identificación del tema planteado para el proyecto.
- Recolección de información y bibliografía.
- Aprobación del tema.
- Investigación sobre las técnicas de reconocimiento de movimientos oculares.
- Indagar sobre los dispositivos de adquisición de datos.
- Procesar los datos obtenidos con el EYE TRACKER.
- Almacenamiento y procesado de la información del usuario.
- Pruebas y consideraciones finales.
- Verificación y entrega de resultados.
- Realizar pruebas con el sistema completo.
- Elaborar el documento de tesis.

### **TÉCNICAS**

Para el desarrollo de la investigación se ha establecido las técnicas citadas a continuación:

- Recopilación de información.
- Estudio de la información.
- Manejo de manuales.
- Implementación de la aplicación.
- Documentación de los resultados obtenidos.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Desarrollar un sistema embebido de “eye tracking” para personas con discapacidades motrices superiores.

### **Objetivo específicos**

- Analizar los distintos sistemas de eye tracking.
- Evaluar los tipos de algoritmos para la detección del movimiento de los ojos.
- Diseñar el prototipo del sistema embebido de eye tracking.
- Implementar el sistema embebido de eye tracking.
- Validar el adecuado funcionamiento del sistema implementado.

## **CAPITULO I**

### **1 FUNDAMENTO TEÓRICO**

#### **1.1 Discapacidades motrices**

Las personas al tener alguna discapacidad afecta directamente en el control y movilidad del cuerpo, teniendo numerosos problemas y complicaciones en el habla, el desplazamiento, el equilibrio, la manipulación, truncando el desarrollo personal y en la sociedad. Las discapacidades motrices se manifiestan cuando hay alteraciones en la fisionomía muscular, estructura ósea, medula espinal, etc. Esta discapacidad afecta directamente a nivel cerebral suprimiendo el movimiento motriz (Veracruz, 2008).

##### ***1.1.1 Tipos de discapacidades motrices***

La discapacidad motriz, se la denomina así por la limitación motora del cuerpo, no existe respuesta de los miembros superiores o inferiores, el sector del cerebro que organiza los estímulos sensoriales se halla atrofiada; como contracciones musculares, movimientos de los miembros del cuerpo.

Las discapacidades motrices encontramos dos grupos importantes:

- Discapacidades motrices superiores
- Discapacidades motrices inferiores

##### ***1.1.2 Discapacidades motrices superiores***

Los individuos desde su nacimiento llevan un problema motriz no tienen la misma habilidad en todos sus sentidos a falta de control cefálico, también muestran dificultad para manipular los objetos e incluso permanecen sin poder hacerlo. Su discapacidad motora lleva una incidencia sobre el lenguaje del menor, La articulación de palabras dificulta la comunicación su medio. (Infantil, 2008).

##### ***1.1.3 Causas de las discapacidades motrices superiores***

###### ***1.1.3.1 Accidentes de tránsito***

En relevancia de accidentes de tránsito se nombra la tercera causa de discapacidades que se genera en el país por los accidentes de tránsito. El 7% de personas con discapacidades son

afectados por este tipo de incidentes, otro porcentaje muy elevado de 61% es provocado por enfermedades sistémicas y un 11% de accidentes en el entorno de accidentes dentro de los hogares. Alrededor de 15 mil personas tienen discapacidades físicas en referencia a los porcentajes de accidentes. La Organización Mundial de la Salud (OMS) manifiesta que los traumatismos provocados por el accidentes de tránsito siguen siendo un problema de salud con mucha relevancia hacia las discapacidades (NACIONAL, 2013).

#### *1.1.3.2 Accidentes laborales*

Una descripción general sobre accidentes laborales, se dice que es un evento imprevisto u ocasional, causa daño en un individuo tanto físico como mental, dejando estragos a corto o largo plazo. En el sector industrial hay un nivel alto de riesgo de sufrir accidentes en el área de trabajo, de acuerdo a estos accidentes se han implementado medidas de seguridad industrial. Las personas que sufren de cualquier clase de accidente laboral quedan marcadas de por vida, si el accidente se presenta muy violento las lesiones corporales y psicológicas son muy notables, terminando con amputaciones en los miembros superiores o inferiores, incluso llegar a la muerte. Si se llega a amputar uno de sus miembros, el empleado o trabajador queda con algún tipo de discapacidad sea de tipo superior o de tipo inferior lo que lleva a una vida de limitaciones (Rodríguez, 2005).

#### *1.1.3.3 Accidentes por enfermedad grave*

Otro grupo de discapacidades motrices superiores encontramos por traumas fisiológicos como se manifiestan en los siguientes ítems:

- Enfermedad renal
- Epilepsia
- Dolor crónico
- Discapacidades por enfermedad crónica

Este grupo de enfermedades son un causante importante en las discapacidades motrices, su efecto no es tan relevante pero son un causante destacado en algún tipo de discapacidad.

#### *1.1.3.4 Genéticas al nacer con la discapacidad*

En genética existen varias causantes que ocasionan algún tipo de discapacidad motriz en el individuo. Entre las cuales se detallan a continuación (Robles, 2011):

Causas Prenatales.- se adquieren antes del nacimiento o durante el embarazo, se diagnostica esta causa determinando los siguientes problemas:

- Enfermedades infecciosas o metabólicas, tiene la madre en el embarazo.
- Incompleto desarrollo de las células cerebrales.
- Complicaciones patológicas en la madre las cuales podrían ser: convulsiones, enfermedades de riñones, rubeola, desnutrición, incompatibilidad de factor RH, fumar, beber alcohol y consumir drogas.

Causas Perinatales.- aparecen en el mismo momento de nacimiento y manifiesta los siguientes síntomas (Robles, 2011):

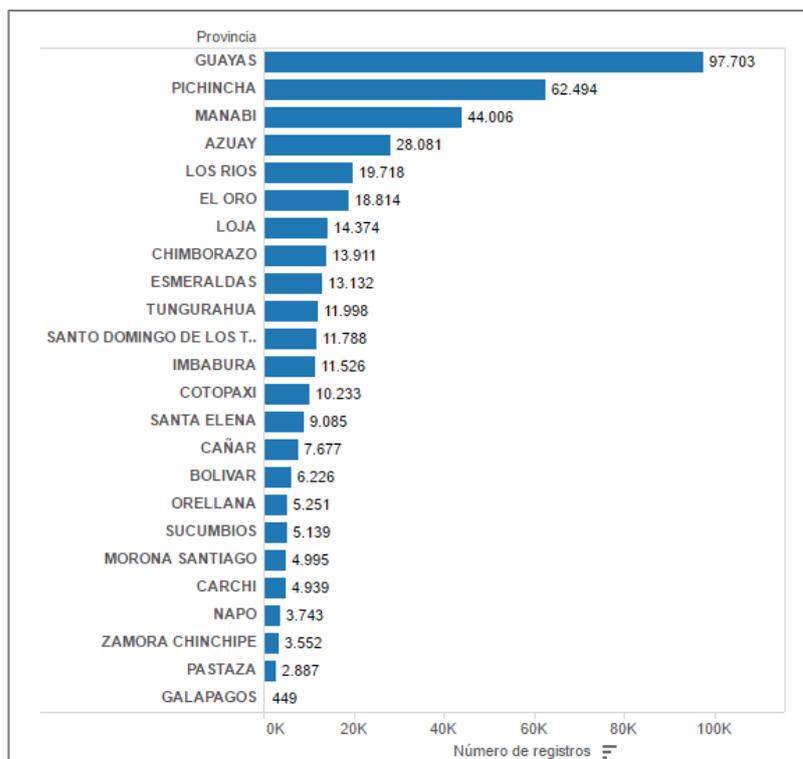
- Deficiencia de oxígeno prolongado u obstrucción de las vías respiratorias.
- Complicación en el parto, se prolonga el nacimiento.
- Atrofias en el cerebro al momento del parto.
- Parto prematuro, adelanto de la fecha de nacimiento.

Causas Posnatales.- aparecen una vez que el bebé ya ha nacido, se presentan distintos síntomas como (Robles, 2011):

- Infecciones de la infancia, acompañadas de altas temperaturas.
- Deficiencia de oxigenación, descrito como ahogamiento.
- Traumatismo craneoencefálico, complicaciones al nacer.
- Golpes ocasionados al niño.
- Envenenamiento con sustancias tóxicas una de las mortales como el plomo.

#### *1.1.3.5 Estadísticas de discapacidades en Ecuador*

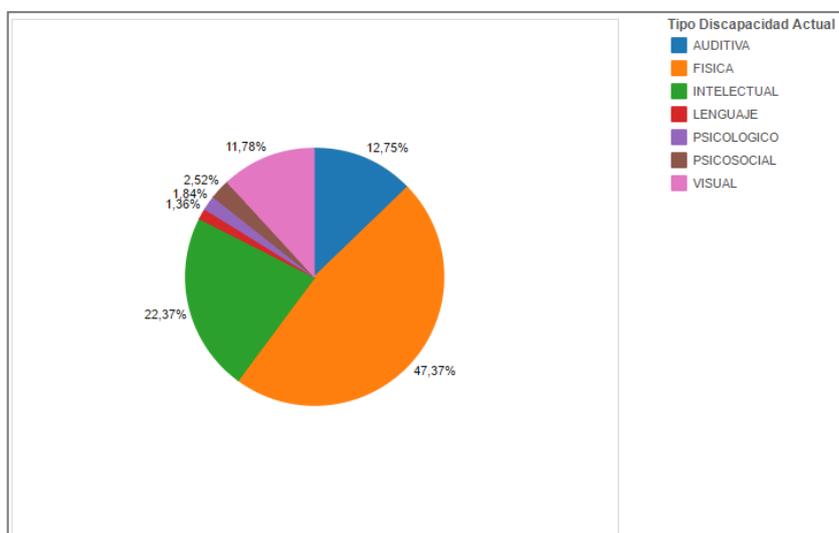
En la figura 1-1, muestra las estadísticas de discapacidad a nivel Nacional, visualizado por provincias, donde se encuentra la mayor cantidad de personas con discapacidades es la provincia del Guayas con 97703 individuos, seguido de la provincia de Pichincha con 62494. El trabajo de titulación se enfoca principalmente en la provincia de Chimborazo, donde detalla 13911 individuos con algún tipo de discapacidad.



**Figura 1-1 Personas con discapacidades por provincia**

Fuente: CONADIS, Junio del 2016.

En la figura 2-1, muestra en detalle de porcentaje a nivel de discapacidad en Ecuador, se destaca las discapacidades físicas con un porcentaje del 47% a nivel del país. Quiere decir que en el país se encuentra un alto porcentaje de discapacidad física ya sea por accidente o por nacimiento.



**Figura 2-1 Tipo de discapacidad actual en Ecuador**

Fuente: CONADIS, Junio del 2016.

En la tabla 1-1, muestra los datos en estadísticas numéricas de las discapacidades en el Ecuador, evidenciando que el tipo de discapacidad con un mayor número es la física con 195046 individuos.

Tabla 1-1: Tipo de discapacidades en Ecuador.

TIPO DISCAPACIDAD ACTUAL EN ECUADOR	
TIPO	NUMERO DE INDIVIDUOS
AUDITIVA	52.508
<b>FISICA</b>	<b>195.046</b>
INTELECTUAL	92.121
LENGUAJE	5.615
PSICOLOGICO	7.560
PSICOSOCIAL	10.355
VISUAL	48.516
<b>Total general</b>	<b>411.721</b>

Fuente: Concejo de Nacional para la Igualdad y Discapacidades (CONADIS). Junio del 2016.

En la figura 3-1, se muestra el porcentaje de individuos tanto en género masculino como femenino con algún tipo de discapacidad, representando con un mayor porcentaje de 55.80 % a los individuos de género masculino seguido con un porcentaje de 44.20 % al género femenino, esto quiere decir que los individuos de género masculino son los que sufren más con algún tipo de discapacidad sea causada por accidentes o que haya nacido con esta.

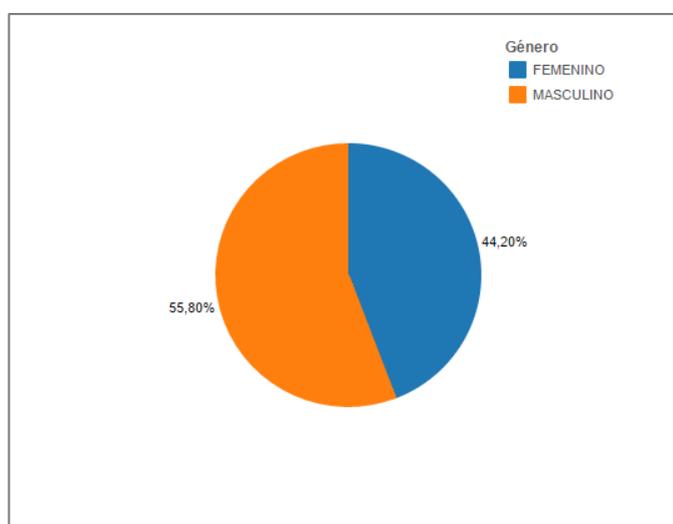


Figura 3-1 Porcentaje por género con discapacidad actual en Ecuador

Fuente: CONADIS, Junio del 2016.

En la tabla 2-1 se visualiza los datos de personas con algún tipo de discapacidad en números tanto género masculino como femenino, el género masculino con detalla 229726 individuos y del género femenino con 181995 individuos.

Tabla 2-1: Personas con discapacidades por género actual en Ecuador.

<b>PERSONAS CON DISCAPACIDADES POR GENERO ACTUAL EN ECUADOR</b>	
<b>GENERO</b>	<b>NUMERO DE INDIVIDUOS</b>
FEMENINO	181.995
MASCULINO	229.726
<b>Total general</b>	<b>411.721</b>

**Fuente:** Concejo de Nacional para la Igualdad y Discapacidades (CONADIS). Junio del 2016.

En la siguiente tabla 3-1, se aprecia el número de individuos con discapacidades en Riobamba perteneciente a la provincia de Chimborazo; se toma como principal campo las discapacidades físicas ya que en ellas se encuentra las discapacidades motrices superiores, que son a las que va dirigido el trabajo de titulación, integrado por el género masculino con 1460 individuos y género femenino con 1449 individuos.

Tabla 3-1: Personas con discapacidades en RIOBAMBA, CHIMBORAZO.

<b>Provincia</b>	<b>Cantón</b>	<b>Tipo Discapacidad</b>	<b>FEMENINO</b>	<b>MASCULINO</b>	<b>Total general</b>
<b>CHIMBORAZO</b>	<b>RIOBAMBA</b>	AUDITIVA	626	653	1.279
		FISICA	1.449	1.460	2.909
		INTELECTUAL	570	675	1.245
		LENGUAJE	29	34	63
		PSICOLOGICO	13	26	39
		PSICOSOCIAL	65	70	135
		VISUAL	335	382	717
<b>Total general</b>			<b>3.087</b>	<b>3.300</b>	<b>6.387</b>

**Fuente:** Concejo de Nacional para la Igualdad y Discapacidades (CONADIS). Junio del 2016.

## **1.2 Sistemas inteligentes y sistemas embebidos**

### ***1.2.1 Sistemas inteligentes***

#### *1.2.1.1 Definición de los sistemas inteligentes*

Los S.I (sistema inteligente) son denominados como un software de computadora que tiene características y comportamientos muy parecidos a los seres vivos en inteligencia y razonamiento, cuentan con la destreza de tomar sus propias decisiones, procedimientos a seguir para alcanzar sus objetivos creando sus propias herramientas en percepciones, conocimientos y experiencias. En un S.I debe existir un ambiente donde se incluye los sentidos, que permitan recibir comunicaciones de dicho entorno y transmitir. Su función es continua y cuenta con almacenamiento en memoria para archivar los resultado de sus acciones, para llegar a su objetivo deberá escoger el camino más adecuado (TICS, 2011).

#### *1.2.1.2 Evolución de los sistemas inteligentes*

La I.A (Inteligencia Artificial) tuvo sus inicios por el año de 1956. Los primeros científicos McCarthy, Minsky, Shannon y Rochester realizaron un seminario de dos meses en el Darmouth College. Los expositores Newell y Simón, presentan el Logic Theorist (LT) que demostró los teoremas del principio matemático. Llegando a tener la idea de duplicar capacidades de razonamiento humanas, basándose en la creatividad, la manifestación de lenguaje y mejora automática. En esa época se destacó como la única tecnología de desarrollo de máquinas que tengan autonomía en ambientes complicados y entornos variables (Lara, 2014).

#### *1.2.1.3 Los sistemas inteligentes en la actualidad*

Al paso del tiempo se ha desarrollado avances tecnológicos hasta llegar a la inteligencia artificial. Desarrollando sistemas inteligentes con la capacidad de razonar y de establecer sus propias decisiones, son capaces de almacenar conocimiento como reconocer, percibir imágenes o sonidos y sobre todo la característica más relevante de aprender de su experiencia. Los ordenadores y los dispositivos móviles poseen la capacidad de interpretar patrones con detallada precisión, como imágenes de diagnóstico médico y reconocimiento de rasgos faciales en redes sociales (Ayala, 2015).

Uno de los ejemplos más relevantes son las aplicaciones web enlazadas a las redes sociales que automáticamente recomiendan adquirir una variedad de productos de forma personalizada y ayudan efectuando una búsqueda inteligente de los varios recursos en la red. El ejemplo más

destacado fue en el juego Jeopardy cuando la computadora Watson fue capaz de comprender las preguntas que le hacían sino también de responder correctamente anticipando al contrincante llegando ganarle (Ayala, 2015).

La I.A tiene múltiples e importantes aplicaciones adaptándose más y más a los seres humanos. Actualmente se llevan a cabo eventos de innovación, investigación, y desarrollo de sistemas inteligentes con un impacto socio económico relevante. Las áreas que están en desarrollo se encuentran los de seguridad informática, diagnóstico médico, finanzas, efectos especiales en películas, interfaces inteligentes y personalizadas, comprensión de sentimientos y opiniones, aprendizaje basado en el análisis de datos para la toma de decisiones inteligentes, etc. Y muchas más áreas de investigación que los sistemas inteligentes encuentren la manera de automatizar (Ayala, 2015).

#### *1.2.1.4 Aplicación de los sistemas inteligentes*

El ser humano y los animales son sistemas inteligentes naturales, donde los sistemas artificiales tratan progresivamente de emular sus capacidades. Se caracterizan por su capacidad de adaptarse a situaciones cambiantes, aprenden de su entorno, pero todavía no logran simular los sistemas artificiales (Sistema inteligente, 2016).

Para apreciar cuanto han avanzado los sistemas inteligentes se destacadas algunas características (Villalobos Alcaraz, 2015):

- Aplicación de razonamiento simbólico mediante modelos computacionales.
- Aplicación de técnicas de búsqueda y solución de problemas
- Análisis de características cualitativas del problema para plantear su solución.
- Sistemas difusos han desplazado a las tecnologías convencionales en muchas aplicaciones científicas y sistemas de ingeniería, especialmente en los sistemas de control y el reconocimiento de patrones.

### *1.2.2 Sistemas embebidos*

#### *1.2.2.1 Definición de los sistemas embebidos*

Un sistema embebido está adaptado para realizar múltiples funciones, frecuentemente en un sistema de computación a tiempo real. Al contrario de lo que ocurre con los computadores de

propósito general, estos sistemas están diseñados para satisfacer necesidades específicas de acuerdo al problema generado (NORKA, 2012).

Un S.E parte de componentes que se encuentran incluidos en la placa base, como una la tarjeta de vídeo, sonido, procesamiento de datos, etc. Algunas veces los dispositivos resultantes no tienen el aspecto que se suele apreciar en un computador. En el mercado actualmente existen varios tipos de sistemas embebidos ya sea un dispositivo de cobros como un taxímetro, control de acceso de personal en empresas, el sistema de control de una registradora entre otras múltiples aplicaciones (Correa, 2015).

Los S.I tiene características especiales para incrementar el desarrollo tecnológico, teniendo en cuenta esto, se aprecia algunas características básicas:

- Desarrollados para la solución de problemas.
- Instalación sobre un sistema anfitrión.
- Los S.I dotan con módulos específicamente necesarios para su función.
- Brindan soluciones únicas en el mercado.

Los sistemas embebidos proporcionas a un producto un valor añadido importante que lo distingue claramente de los productos de la competencia dándole una característica única para la función que desempeñe.

#### *1.2.2.2 Componentes que conforman los sistemas embebidos*

Un sistema embebido lo integran algunos componentes que están incluidos en la placa, los dispositivos resultantes Para construir un sistema embebido, se toma en cuenta dos factores importantes como son el hardware y el software (Castillo Robledo, 2014):

#### *1.2.2.3 Beneficios de los sistemas embebidos*

Actualmente los sistemas embebidos se encuentran en cualquier lugar que se observe, ayudan a la sociedad a realizar tareas de una manera eficiente para optimizar recursos como materia prima, tiempo y dinero, lo cual hoy en día es fundamental para las empresas que quieren tener un desarrollo sostenible. En los últimos años han surgido herramientas que permiten a las personas interesadas en crear sistemas digitales desarrollar desde los más sencillos hasta los más complejos a un costo muy accesible y con conocimientos básicos de circuitos y programación, algunos ejemplos de esas herramientas son los Arduinos y los Raspberry pi, la gente ahora

puede hacer desde sistemas de seguridad que detecten cuando alguien entra a un cuarto, hasta sistemas que prendan o apaguen las luces de un edificio mediante sensores de luz solar. Esto demuestra el crecimiento que están teniendo los sistemas embebidos y el gran potencial que podrían llegar a tener en un futuro no muy lejano (Castillo Robledo, 2014).

#### *1.2.2.4 Área de aplicación de los sistemas embebidos*

Los S.I abarcan varias áreas en el entorno de los seres humanos para mejorar su calidad de vida, donde se aprecia en los siguientes ítems (Sistema Embebido, 2016):

- Controlar procesos de producción.
- Puntos de servicio (POS, Point Of Service). Las cajas registradora de ventas en un supermercado son es un ejemplo de un sistema
- Centros de información al ciudadano. Oficinas de turismo, almacenes, bibliotecas, etc.
- Decodificadores televisión pagada.
- Sistemas de radar de aviones.
- Equipos de apoyo en el área de la medicina.
- Equipos de revelado de fotos automáticos.
- Cajeros automáticos para sacar dinero.

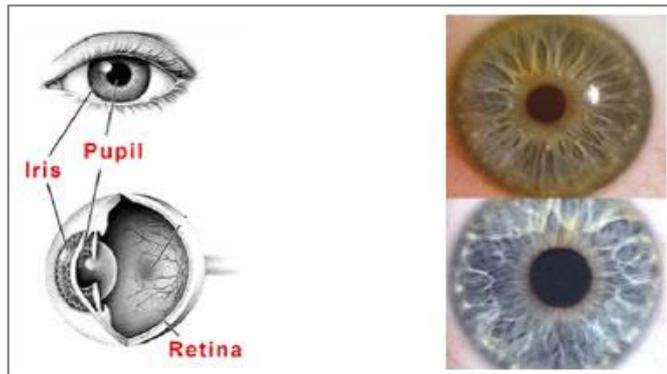
### **1.3 Reconocimiento de patrones oculares**

Los modelos de autenticación biométrica basados en patrones oculares se dividen en dos tecnologías diferentes (RED IRIS, 2008):

- Técnica en análisis de patrones retínales.
- Técnica en análisis de movimiento del iris.

Estas técnicas se las considera las más efectivas en seguridad, para una población de 200 millones de potenciales usuarios la probabilidad de coincidencia es casi 0, y además una vez muerto el individuo, los tejidos del ojo se degeneran rápidamente, esto dificulta la falsa aceptación de personas atacantes que puedan hurtar este órgano de un cadáver. La desventaja más relevante de los métodos basados en la técnica de patrones oculares es su escasa aceptación por los usuarios; el hecho de mirar a través de un binocular, no es cómodo para los usuarios, ni aceptable otra razón es que los usuarios no se fían de un haz de rayos analizando su ojo, pero por otro lado un examen de este órgano puede revelar enfermedades o características médicas que a muchas personas les puede interesar mantener en secreto, como el consumo de alcohol o de ciertas drogas he aquí su falta de aceptación de este sistema (RED IRIS, 2008).

En la figura 4-1, se muestra la estructura externa e interna del ojo humano, lo cual se aprecia los objetos más importantes como son la pupila y la retina, estos son de indispensable importancia ya que nos facilitan tomar los patrones sea de movimiento o de puntos de la iris para llevar el control de acceso para algún sistema determinado.



**Figura 4-1 Descripción de iris y pupila**

Fuente: [www.biometria.gov.ar/metodos-biometricos/iris.aspx](http://www.biometria.gov.ar/metodos-biometricos/iris.aspx)

Las técnicas de reconocimiento de movimiento ocular son la solución para la comunicación de personas con severos problemas de motricidad pudiendo controlar diversos periféricos electrónicos como computadoras o similares haciendo uso de la vista. Constan de varios módulos bien definidos, los cuales se visualiza en la figura 5-1, descritos ordenadamente en bloques.



**Grafico 1-1 Técnicas de reconocimiento ocular**

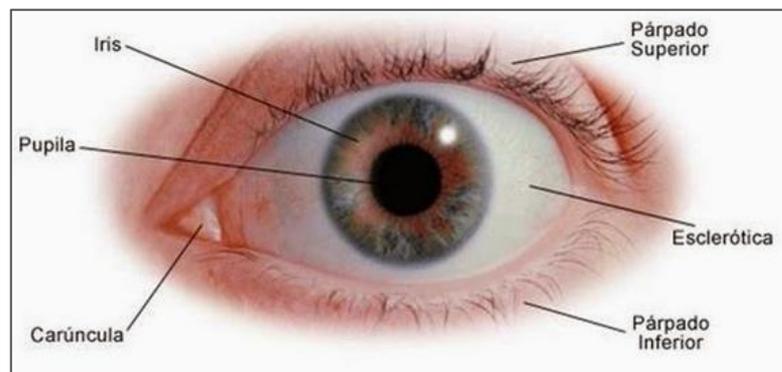
Fuente: Cristhian Pardo 2016

- *El módulo de captura:* sirve para obtener las imágenes del ojo.
- *El módulo de control dinámico de cámara o pre-procesamiento:* se encarga de mantener constante los parámetros de la imagen capturada.
- *El módulo de reconocimiento de imágenes o kernel:* es el núcleo del sistema, éste se encarga de reconocer las imágenes en tiempo real.
- *El módulo de análisis referencial:* se encarga de interpretar los parámetros obtenidos por el módulo de reconocimiento de imágenes, permitiendo determinar el lugar exacto que está mirando el ojo.
- *El módulo de control de periféricos:* es el encargado de simular las funciones de algunos periféricos de computadora, como por ejemplo el mouse, el teclado, etc.

### 1.3.1 Estructura del ojo humano

El órgano de visión denominado ojo humano es un órgano foto receptor, que consiste en recibir los rayos luminosos procedentes de los objetos existentes en el exterior, transformándolos en impulsos eléctricos que son guiados al centro nervioso de la visión ubicada en el cerebro. El sentido de la vista es de muy alta importancia para el ser humano ya que el 50 % de la información que recibimos de nuestro entorno la recibimos a través de los ojos (CLINICA VISUAL DEL CENTRO, 2014).

En la siguiente figura 6-1, se muestra las partes que forman la estructura exterior del ojo.



**Figura 5-1 Estructura básica del ojo**

Fuente: [www.caminosanquillosados.blogspot.com/2016/06/falsa-alarma.html](http://www.caminosanquillosados.blogspot.com/2016/06/falsa-alarma.html)

- **Iris:** Parte coloreada del ojo que controla la cantidad de luz que atraviesa la pupila.
- **Pupila:** La abertura en el centro del iris por la que la luz pasa a través del cristalino.
- **Esclerótica:** Llamada también blanco del ojo, es la capa externa fibrosa y de color blanco que recubre al globo ocular. Su función es la de proteger las estructuras sensitivas del ojo.

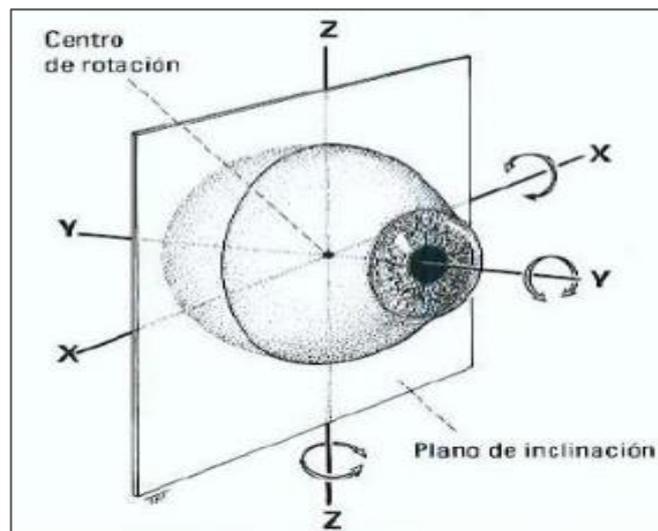
- **Carúncula Lagrimal:** Protuberancia pequeña, rojiza y carnosa que ocupa el espacio triangular que forman los bordes internos de los párpados superior e inferior.
- **Párpado superior e inferior:** Forman parte del globo ocular, pero ocupa un puesto de primera importancia en el sistema de visión. Su función más importante es la de proteger el ojo.

### 1.3.1.1 Control del movimiento y fijación del ojo humano

El movimiento ocular es una habilidad que tiene cada ojo, esto quiere decir que cada ojo puede tener una respuesta diferente ante los estímulos en movimiento, sobre todo en los ojos que no se han desarrollado de igual manera (García R. , 2010).

En relación al centro de rotación del ojo, se podría analizar en función de un sistema de coordenadas fijo y representado por tres ejes perpendiculares entre sí, denominados ejes de Fick. Estos están compuestos por un eje vertical (z), un eje frontal (x) y un eje sagital (y). Los ejes (z) y (x) determinan un plano frontal llamado plano de Listing y el eje (y) coincide con el eje visual cuando el ojo está en posición primaria de mirada (Escribano Cadena, 2013).

En la figura 7-1, se aprecia en tipo de movimientos que realiza el ojo humano, este realiza movimientos en los 3 ejes, eje "X", eje "Y" y el eje "Z" de acuerdo a estos se toma los patrones de movimientos y procesarlos.



**Figura 6-1 Ejes de Fick**

Fuente: [www.es.slideshare.net/YaliEscribanoCadena/movilidad-ocular-estrabismo](http://www.es.slideshare.net/YaliEscribanoCadena/movilidad-ocular-estrabismo)

En los movimientos oculares existen varios tipos, se los detalla a continuación:

- **La fijación:** Habilidad que tiene la fovea de mantener en dicho punto de retina la imagen de un objeto de manera estable, mediante pequeños micro movimientos imperceptibles. (García R. , 2010).
- **Los Seguimientos:** Habilidad de seguir un objeto en movimiento (García R. , 2010).
- **Los sacádicos:** Permite que nuestros ojos salten de un objeto a otro. Funciona como un "sistema ON-OFF", es decir, cuando funciona la fovea o retina central, no funciona la retina periférica y al revés (García R. , 2010).

#### *1.3.1.2 Técnicas de seguimiento en movimientos oculares*

Para el seguimiento ocular encontramos actualmente tres principales categorías:

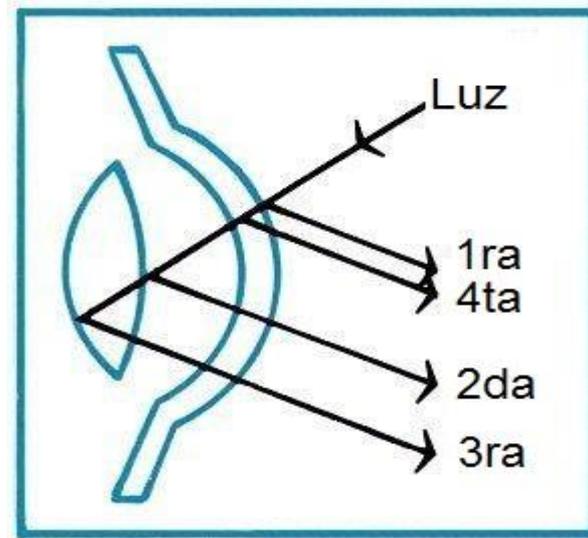
##### *a) Mediante sensado invasivo:*

Utilizando algo adjunto al ojo como una lente de contacto especial con un espejo incorporado o un sensor de campo magnético. El movimiento de la unión se mide con el supuesto que no se deslice de manera significativa cuando el ojo gire. Las bobinas magnéticas es el método que utilizan para realizar estudios sobre la dinámica y la fisiología subyacente al movimiento del ojo (El Medico Contesta, 2012).

##### *b) Mediante sensado no invasivo:*

Este tipo de seguimiento sensa sin necesidad que haya contacto con ningún dispositivo. Se aplica el sensado a través de la luz infrarroja, reflejándose en los ojos y se capta mediante una cámara de video o algún otro sensor óptico. La información recogida se analiza para extraer la rotación de los ojos y los cambios en los reflejos. Los seguidores de ojos basados en vídeo suelen utilizar el reflejo corneal (la primera imagen de Purkinje) y el centro de la pupila como características para saber el paso del tiempo. Un tipo más sensible de seguidor de ojos sería el dual-Purkinje, el cual utiliza los reflejos de la parte frontal de la córnea (la primera imagen de Purkinje) y la parte posterior de la lente (cuarta imagen de Purkinje) como características principales. Otro método que aún es más sensible es uno que extrae las características de la imagen del interior de ojo, es decir, de los vasos sanguíneos de la retina (El Medico Contesta, 2012).

En la figura 8-1 se ve identificado los tipos de imágenes de Purkinje localizados en el ojo humano.



**Figura 7-1 Imágenes de Purkinje**

Fuente: [www.medicocontesta.com/2012/09/imagenes-de-purkinje.html#.V\\_vf6TxX\\_cc](http://www.medicocontesta.com/2012/09/imagenes-de-purkinje.html#.V_vf6TxX_cc)

*c) Mediante potenciales eléctricos:*

El tercer tipo utiliza el potencial eléctrico medido con electrodos colocados alrededor de los ojos para detectar el movimiento. Los ojos son el origen de un constante campo de potencial eléctrico que también se puede detectar en total oscuridad aunque estos estén cerrados. Puede estar modelado para generar un dipolo con el polo positivo en la córnea y el polo negativo en la retina (El Medico Contesta, 2012).

*d) Método de seguimiento mediante sensado de cámara:*

En el desarrollo del proyecto se usa un método de seguimiento ocular por medio de la captura del movimiento de la pupila con una cámara de alta resolución como la RaspiCam del dispositivo Raspberry pi 2, ésta sensa el movimiento del ojo, tomando un punto de referencia y haciendo el seguimiento, obteniendo datos en “X” y en “Y” y así poder procesarlos por medio de programación en Matlab para obtener el control de periféricos.

## 1.4 EYE TRACKING

### 1.4.1 Introducción

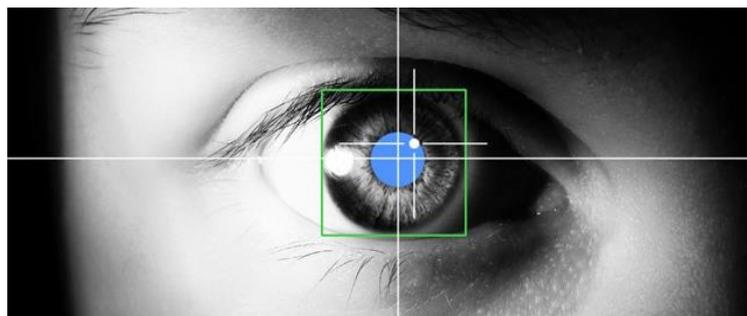
El eye-tracking se basa en un conjunto de tecnologías que permiten vigilar y registrar la forma en la que una persona mira un determinado objeto por un periodo de tiempo, durante cuánto tiempo y qué orden sigue en su exploración visual al objeto. El eye-tracking tiene un gran potencial de aplicación en una amplia variedad de disciplinas y áreas de estudio, desde el marketing hasta la investigación médica, pasando por los estudios de usabilidad. En esta última clase de estudios, el objetivo es determinar la forma en la que el usuario explora visualmente la interfaz a través de la que interactúa con el sistema (Hassan Montero, 2007).

El arte del eye tracking se originó con fines clínicos, con el objetivo específico de entender cómo funcionan los mecanismos de la visión humana, identificar lo que se está viendo en todo momento y los niveles de atención relativos. Cuando se mira hacia algo los ojos se mueven por lo menos 3 o 4 veces por segundo, siguiendo un orden aparentemente aleatorio. Cada movimiento dura alrededor de una décima de segundo, mientras que las paradas o fijaciones duran entre 2 a 4 décimas de segundo (Hassan Montero, 2007).

### 1.4.2 Descripción del eye tracking

El eye tracking se define básicamente en vigilar la forma en que una persona mira un objeto específico como una escena de película o una página web. Con la finalidad de estudiar el orden en que fija su atención en cada elemento y durante cuánto tiempo (Félix, 2014).

En la figura 9-1 se observa como se está tomando como referencia la pupila para emplear el eye tracking.



**Figura 8-1 Pupila**

**Fuente:** [www.marketingactual.es/marketing/marketing/eye-tracking-una-herramienta-objetiva-para-medir-la-eficacia-de-los-anuncios-publicitarios](http://www.marketingactual.es/marketing/marketing/eye-tracking-una-herramienta-objetiva-para-medir-la-eficacia-de-los-anuncios-publicitarios)

La mayoría de sistemas son mucho menos molestos, ya que se basan en el uso de cámaras con y sin luz de infrarrojos dirigida los ojos sin necesidad de contacto físico (Hassan Montero, 2007).

En la figura 10-1, se aprecia un ejemplo de un sistema de *eye tracking* para personas con discapacidades motrices superiores.



**Figura 9-1** Dispositivo de eye tracking

**Fuente:** [www. roseoptom.co.nz/index.php/eye-tracking-found-as-potential-tool-in-diagnosing- autism/](http://www.roseoptom.co.nz/index.php/eye-tracking-found-as-potential-tool-in-diagnosing-autism/)

Entre los sistemas basados en eye-trackers existen dos grupos (Hassan Montero, 2007):

- **Dispositivos que se colocan en la cabeza del usuario:** son adecuados para actividades en las que el participante debe tener total libertad para moverse y poder mover la cabeza.
- **Dispositivos que registran el movimiento ocular desde la distancia:** ubicados en el monitor de un computador, estos son menos intrusivos y generan menos ruido en el proceso de evaluación.

#### 1.4.2.1 Desarrollo de la tecnología del eye tracking

El EYE TRACKING o SEGUIMIENTO OCULAR es una técnica que registra movimientos de los ojos, en particular la pupila. El análisis de los movimientos oculares no es una técnica de las neurociencias propiamente dicha pero sí un tipo de medición biométrica que puede ayudar a comprender el inconsciente de las personas con discapacidades motoras. La tecnología de seguimiento ocular utiliza cámaras de alta velocidad (como por ejemplo 30 a 60 imágenes por segundo) para rastrear el movimiento de los globos oculares, la dilatación de la pupila y el parpadeo del sujeto, entre otros factores que se puede tomar como base fundamental para el desarrollo de un sistema embebido. Es una tecnología que permite seguir los movimientos oculares de una persona para inferir qué mira y qué ve. Esto se consigue actualmente mediante

un eye tracker, un monitor especial que lanza rayos infrarrojos a los ojos de quien lo usa. Estos rayos rebotan en su pupila y vuelven al aparato, permitiendo así calcular con precisión dónde está mirando (Monge, 2009).

Aunque la tecnología de eye-tracking puede parecer reciente, como advierten Jacob y Karn (2003), el estudio del movimiento ocular tiene más de un siglo de historia, y su primera aplicación en el diseño ergonómico data de los años 50 (Fitts, Jones, Milton; 1950). La creciente atención que las técnicas de eye-tracking están recibiendo por parte de los profesionales y empresas del sector de la Experiencia de Usuario. Además, aunque con menor precisión, empiezan a surgir las primeras propuestas de bajo costo (Hassan Montero & Herrero Solana, 2007).

#### *1.4.2.2 Eye tracking para personas con discapacidades motrices superiores*

Escribir documentos, lectura de documentos, navegar por internet, chatear e incluso, algo tan necesario como hablar, es impensable para una gran cantidad de personas. Discapacidades ocasionadas por enfermedades como la ELA (Esclerosis Lateral Amiotrofia), una enfermedad degenerativa neuromuscular, o por una parálisis cerebral impiden a todos los que las sufren comunicarse con su alrededor. En los últimos años, gracias a los avances tecnológicos, muchas de estas personas pueden volver a realizar muchas de estas actividades (Sánchez, 2016).

En general la tecnología eye tracking permite controlar el computador de forma sencilla y precisa, puede ser de utilidad para personas con discapacidades y para el ámbito industrial. En la actualidad existen varios sistemas de eye tracking que hacen que las personas con discapacidades motrices tengan una vida más llevadera en su día a día. Un ejemplo claro de una persona con el diagnóstico de una rara enfermedad como la Esclerosis Lateral Amiotrofia, es el famoso físico llamado Stephen Hawking. Para poder realizar actividades en su diario vivir, estas personas dependen de la tecnología del seguimiento visual para ser lo más independiente posible (Cruz Garcia, 2011).

Hay algunos proyectos de seguimiento ocular los cuales ayudan de manera muy significativa a las personas con discapacidades motrices, estas se describen:

**Dispositivo PC EYE GO:** como se muestra en la figura 11-1, realiza un seguimiento ocular periférico que mejora el acceso al computador con precisión de la interacción de la mirada. Diseñado para el uso de computadores de escritorio estándar con Windows, lo que te permite trabajar con cualquier aplicación que sea controlada por un mouse (Santiago de Chile, 2016).



**Figura 10-1 Sistema PC Eye Go**

**Fuente:** [www.thinc.cl/adultos.html](http://www.thinc.cl/adultos.html)

**Dispositivo SERIE I DE TOBII:** son dispositivos que generan voz que pueden ser controlados a través de la interacción del movimiento ocular por medio de un sistema incorporado de seguimiento ocular. Están diseñados para adaptarse a necesidades del usuario y brindarle una independencia en su comunicación. Sin ningún tipo de cables ya que propensos a quedarse enganchados y se podrían romper, además entregando mayor independencia. Cuenta con baterías de larga duración y de reemplazables (Santiago de Chile, 2016).

En la figura 12-1, muestra a una persona con un tipo de discapacidad motriz superior utilizando un sistema de *eye tracking*, el sistema está conformado por una pantalla donde se encuentra integrado el sistema para facilitar el manejo del mismo.



**Figura 11-1 Sistema Serie I de Tobii**

**Fuente:** [www.tobiidynavox.com/iseriestplus/](http://www.tobiidynavox.com/iseriestplus/)

**Dispositivo EYE MOBILE:** es una tablet como se visualiza el prototipo en la figura 13-1, cuenta con un sistema operativo Windows, además integra un sistema de seguimiento ocular que le permite controlar la tablet con el movimiento de sus ojos. Le otorga a las personas con discapacidad física la posibilidad de navegar y controlar aplicaciones como el acceso a internet, música, libros electrónicos, redes sociales, y muchas otras aplicaciones, brindando al usuario independencia, comunicación y conectividad (Santiago de Chile, 2016).



**Figura 12-1 Sistema Eye Mobile**

Fuente: [www.thinc.cl/adultos.html](http://www.thinc.cl/adultos.html)

## **1.5 Software para el desarrollo del sistema embebido de eye tracking**

### **1.5.1 Visual Studio C# 2010**

Lenguaje de programación que se implementó para ejecutar varias aplicaciones que corren en .NET Framework. Varias versiones de C# permiten implementar aplicaciones rápidas y mantener la expresión y elegancia de los lenguajes de C. Este software es una implementación del lenguaje de C# de Microsoft. Ofrece compatibilidad con Visual C# con un completo editor de código, un compilador, plantillas de proyecto, diseñadores, asistentes para código, un depurador de código de programación y de un sencillo uso. Las bibliotecas de .NET Framework da acceso a varios servicios del sistema operativo (Flores, 2014).

### **1.5.2 Matlab**

Es un software de programación de alto nivel, permite explorar y visualizar ideas, así como colaborar en procesamiento de señales e imágenes, comunicaciones de redes, sistemas de control. Es software de multiplataforma que facilita sus beneficios básicos como la manipulación de matrices, representación de datos y funciones, implementación de algoritmos, creación de interfaces de usuario y la comunicación con programas en otras plataformas de lenguajes y con distintos dispositivos hardware. El paquete dispone de dos herramientas

adicionales que expanden sus prestaciones, como Simulink que basa su diseño en bloques y GUIDE que es un editor de interfaces de usuario. (MATLAB, 1994).

### ***1.5.3 Open CV***

Es una librería software de open-source sobre la visión artificial. Provee una infraestructura para aplicaciones de visión artificial y también es muy usada a nivel comercial, Sus librerías ofrece más de 2500 algoritmos que incluye algoritmos de machine learning y de visión artificial. Estos algoritmos permiten identificar objetos, caras, clasificar acciones humanas en vídeo, hacer tracking de movimientos de objetos, extraer modelos 3D, encontrar imágenes similares, eliminar ojos rojos, seguir el movimiento de los ojos, etc. Orientado en aplicaciones como la detección de intrusos en vídeos, monitorización, manipulación de robots, revisar etiquetas en productos. Este software está desarrollado en C++ y tiene interfaces en C++, C, Python, Java y MATLAB, es multiplataforma (García L. M., 2013).

## **1.6 Hardware para el desarrollo del sistema embebido de eye tracking**

### ***1.6.1 Raspberry PI***

El dispositivo Raspberry Pi es básicamente un computador portátil de bajo costo con el objetivo principal de estimular la enseñanza de la computación en las escuelas. La fundación da soporte para las descargas de las distribuciones para arquitectura ARM, Raspbian RISC OS 5, Arch Linux ARM y Pidora. Una de las características más importantes es incentivar el aprendizaje del lenguaje de programación Python (A. F., 2013).

- **Tipos de dispositivos Raspberry:**

En el mercado encontramos varios tipos de modelos de Raspberry pi los cuales se describen a continuación:

- ✓ *Raspberry Pi 1*

Es un es un computador como se muestra en la figura 14-1. Su tamaño es de una tarjeta de crédito que se conecta a su televisor y un teclado. Es una placa que soporta varios componentes necesarios en un computador común. Es un pequeño computador capaz, que puede ser utilizado por muchas de las cosas que su PC de escritorio hace, como hojas de cálculo, procesadores de texto y juegos. También reproduce vídeo de alta definición. Posee un System on Chip que

contiene un procesador ARM que corre a 700 Mhz, un procesador gráfico VideoCore IV y hasta 512 MG de memoria RAM. Es posible instalar sistema operativo libre a través de una tarjeta SD. (A. F., 2013).

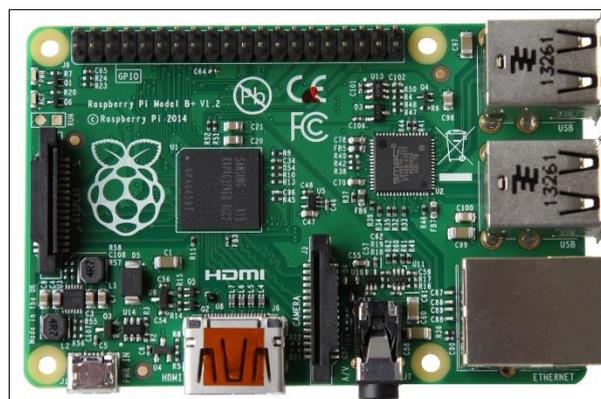


**Figura 13-1 Raspberry Pi 1**

Fuente: [www.es.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi#/media/File:Raspberry\\_Pi\\_Beta\\_Board.jpg](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi#/media/File:Raspberry_Pi_Beta_Board.jpg)

✓ *Raspberry Pi B+*

Este modelo de Raspberry Pi tiene las mismas características de los modelos antes dichos pero con algunas mejoras visualizadas en la figura 15-1, una de ellas es que lo encontraremos con más puertos USB, mejor gestión del consumo energético y tarjeta micro SD en lugar de SD, así como casi el doble de pines GPIO (A. F., 2013).

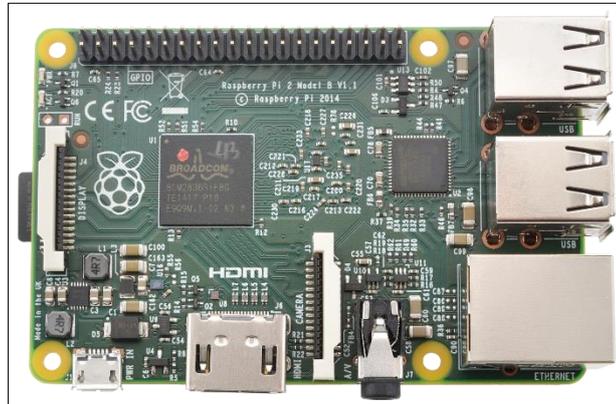


**Figura 14-1 Raspberry Pi B+**

Fuente: [www.raspberrypi.org/blog/introducing-raspberry-pi-model-b-plus/](http://www.raspberrypi.org/blog/introducing-raspberry-pi-model-b-plus/)

✓ *Raspberry Pi 2*

La Raspberry Pi 2 es aproximadamente 6 veces más rápida que los modelos anteriores en las tareas más frecuentes como se muestra en la figura 16-1. Atrás quedan también los modelos con 256 y 512 KB, ya que ahora la memoria RAM es de 1 GB (Lacort , 2014).



**Figura 15-1** Raspberry Pi 2

**Fuente:** [www.raspi.tv/2015/raspberry-pi-2-the-new-quad-core-a7-pi2](http://www.raspi.tv/2015/raspberry-pi-2-the-new-quad-core-a7-pi2)

**1.6.2 Router Nano**

Este dispositivo está diseñado para su uso con tabletas, teléfonos inteligentes, consolas de juegos computadoras portátiles y otros dispositivos portátiles inalámbricos electrónicos. El dispositivo, como se muestra en la figura 17-1 puede ser alimentado por un adaptador de corriente externo o una conexión USB a un computador, convenientemente puede conectarse a Internet y compartir la conexión en torno a una sala de tamaño medio a pequeño tamaño del dispositivo 150Mbps.



**Figura 16-1** Router Nano

**Fuente:** [www.pccomponentes.com/tp-link-tl-wr702n-nano-router-wireless-n](http://www.pccomponentes.com/tp-link-tl-wr702n-nano-router-wireless-n)

El uso de este dispositivo es de mucha importancia ya que por medio de este se realizara la red inalámbrica que tendrá como función indispensable la comunicación entre los módulos del proyecto y se pueda ejecutar inalámbricamente.

### ***1.6.3 Módulo WIFI***

Los módulos *wifi* tienen considerable importancia, debido a sus características, facilitando el manejo de los dispositivos de manera inalámbrica y no por medio de cable.

En la figura 18-1, se muestra la estructura física del dispositivo. Este módulos USB Wifi del Raspberry Pi tienen un bajo costo, pero de alta fiabilidad. Funciona excelente con las redes 802.11b/g/n. Se utiliza para las últimas distribuciones Wheezy.



**Figura 17-1 Modulo Wifi para Raspberry Pi**

**Fuente:** [www.macosas.com/archives/usar-el-adaptador-wifi-usb-tp-link-en-la-raspberry-pi/](http://www.macosas.com/archives/usar-el-adaptador-wifi-usb-tp-link-en-la-raspberry-pi/)

Todos los módulos wifi son compatibles con Raspberry Pi y contienen el mismo chipset así como un rendimiento equivalente.

Estos módulos wifi se encuentran, sea para los sistemas operativos en base Linux o en plataforma Windows, de acuerdo a la aplicación que se les vaya a dar.

### ***1.6.4 Batería Portátil***

La batería portátil es básicamente una batería externa dentro de una carcasa de plástico. Puede cargarse a través de una fuente de energía tipo computador portátil o un cargador normal de corriente, siempre utilizando un cable con entrada USB. En la figura 19-1 se muestra el modelo de batería existente en el mercado, estas son de un modelo de fácil manipulación.



**Figura 18-1 Batería Portátil**

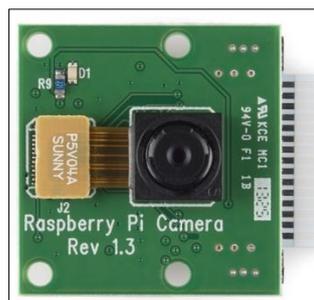
**Fuente:** [www.ohmygeek.net/2014/11/24/genius-eco-u267/](http://www.ohmygeek.net/2014/11/24/genius-eco-u267/)

Conocida técnicamente como *Power Bank* o baterías portátiles como comúnmente se las conoce, tienen diferentes capacidades que se miden en mah (miliamperio x hora) que es una unidad de medida utilizada para medir la carga eléctrica acumulada en un determinado período de tiempo. Normalmente se utiliza para indicar la capacidad de carga máxima que una batería puede almacenar de una sola vez. Una mayor capacidad en mah significa que podrá cargar aparatos con un consumo más elevado de energía. Este tipo de baterías son utilizadas para alimentar los distintos dispositivos que se emplean para el desarrollo del proyecto de eye tracking.

### **1.6.5 Cámara Raspberry RaspICam**

Esta cámara tiene un sensor Omnivision de 5 Mpíxeles que permite realizar capturas de 2.592 x 1.944 píxeles y que también captura vídeo a 1080p con una tasa de 30 fotogramas por segundo (Pastor, 2013).

En la figura 20-1 se muestra la cámara raspicam que es compatible en un 100 % con cualquier versión o modelo de tarjeta raspberry pi, ya que trae sus librerías ya preinstaladas en el sistema operativo de la tarjeta raspberry pi



**Figura 19-1 RaspICam**

**Fuente:** [www.sparkfun.com/products/retired/11868](http://www.sparkfun.com/products/retired/11868)

## CAPITULO II

### 2 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEETPDMS

#### 2.1 Desarrollo de la arquitectura general del SEETPDMS

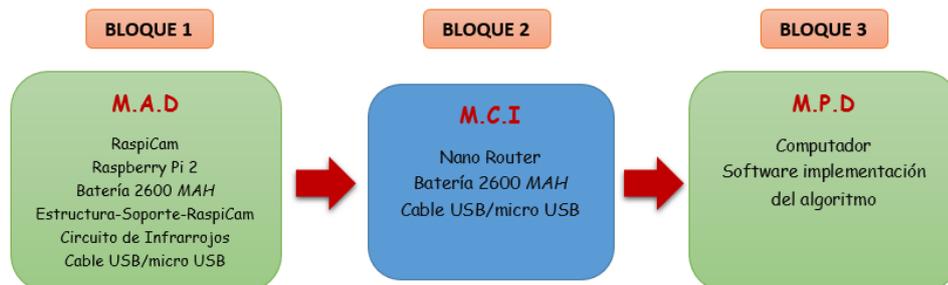
En el grafico 1-2, se observa el diseño de la arquitectura general del SEETPDMS, esta figura describe en forma general el funcionamiento del sistema embebido. Siguiendo el orden de izquierda a derecha se aprecia que primeramente realiza la adquisición de la información por medio de una cámara RaspiCam para luego entrar al bloque de procesamiento de la información donde se encuentran cada uno de los módulos, estos tienen tareas diferentes de tratar la información. Luego del tratamiento de la información como último paso sale la información del bloque para ser visualizada en un computador.



**Grafico 1-2** Arquitectura general del SEETPDMS

Fuente: Cristhian Pardo 2016

En el grafico 2-2, se muestra el diagrama de bloques que se va a seguir para el desarrollo del prototipo de SEETPDMS. Está compuesto por 3 principales bloques. En cada bloque ubicamos los elementos que se utilizaron para la implementación de los módulos: *M.A.D.*, *M.C.I* y *M.P.D.*



**Grafico 2-2** Diagrama de bloques para desarrollar el prototipo

Fuente: Cristhian Pardo 2016

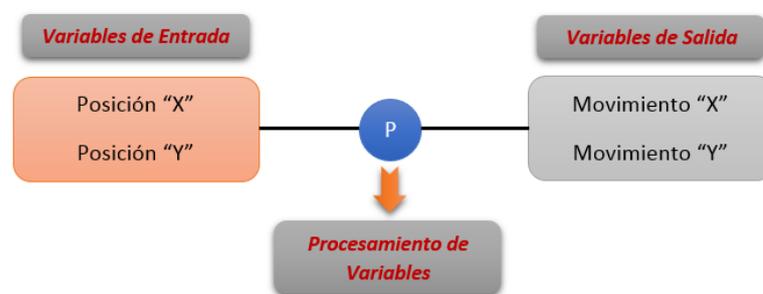
Cada uno de los bloques tiene su función principal, que en conjunto forman el prototipo implementado. Cada bloque tiene su diferente característica las cuales se detallan a continuación:

*BLOQUE 1:* Este bloque es el M.A.D, está compuesto por una cámara raspicam, una tarjeta raspberry pi 2, una batería de 2600 mah, una estructura-soporte-raspicam, circuito de infrarrojos y el cable USB/micro USB. Cada elemento que forma este bloque esta detalladamente escogido de acuerdo a su función, pero con pruebas hechas se llegó a elegir adecuadamente cada elemento y correctamente su conexión.

*BLOQUE 2:* Este bloque es el M.C.I, es muy importante su correcta implementación, ya que realiza la comunicación inalámbrica de los otros 2 módulos. Está compuesto por: un nano router, una batería de 2600 mah y un cable de conexión USB/micro USB.

*BLOQUE 3:* Este bloque es el M.P.D, se compone elementalmente del computador portátil, aquí encontramos instalado el software de programación para el desarrollo del algoritmo de seguimiento ocular. Este algoritmo procesa los datos adquiridos del M.A.D, para luego ejecutar el control del periférico que es el cursor.

Para seguir con el diseño de cada módulo se debe saber qué tipo de variables son las que se van a manipular, cuales son las de entrada y las de salida, esto se va mostrar en el siguiente grafico 3-2.



**Grafico 3-2 Diagrama manipulación de variables**

Fuente: Cristhian Pardo 2016

## 2.2 Diseño del módulo de adquisición de datos (M.A.D)

### 2.2.1 Requerimiento de hardware

#### 2.2.1.1 Raspberry pi 2

La Raspberry Pi 2, tarjeta seleccionada como dispositivo que forma parte del M.A.D por sus características lo hacen adecuado para las funciones que va a desempeñar. Esta tarjeta es más rápida que los sus antecesores, por ese motivo fue elegida para el desarrollo del proyecto. Gracias a su nuevo procesador de cuatro núcleos hace que sea más potente que sus antecesores.

La raspberry pi 2 consta con las siguientes características básicas:

- Procesador: ARM11 ARMv7 ARM Cortex-A7 4 núcleos @ 900 MHz
- Memoria: 1 GB LPDDR2 SDRAM 450 MHz
- Puerto de video: HDMI 1.4 @ 1920x1200 píxeles
- Almacenamiento: micro SD
- Puertos USB: 4
- Puerto Ethernet: Sí, 10/100 Mbps
- Puerto de audio. 1

En el grafico 4-2, observamos la forma física de la tarjeta raspberry pi 2 con el protector transparente del mismo. Este protector ayuda a que la tarjeta tenga una mayor seguridad para poder conformar el M.A.D.



**Grafico 4-2 Raspberry Pi 2**

**Fuente:** Cristhian Pardo 2016

### 2.2.1.2 Cámara raspberry Raspicam

La cámara *Raspicam* de la tarjeta raspberry pi 2 es el dispositivo más importante del M.A.D, ya que por medio de este se va a sensar el movimiento del ojo, es decir se va hacer el seguimiento ocular “eye tracking”, este dispositivo va a capturar los movimientos del ojo para luego enviar esa información por medio del M.A.D al M.P.D para correr el algoritmo creado y así ejecutar la aplicación.

Se eligió esta cámara para trabajar en el proyecto por la razón importante que es compatible al 100 % con la tarjeta raspberry pi 2 ya que es desarrollada exclusivamente para el funcionamiento con la tarjeta. Además un punto muy importante es que la cámara tiene una alta definición en la captura de video y foto. Esta nos permite realizar capturas de 2592 x 1944 píxeles y también logra capturar vídeo a 1080p con una tasa de 30 fotogramas por segundo.

En el grafico 5-2 muestra la estructura física de la cámara Raspicam propia de la tarjeta raspberry pi 2.



**Grafico 5-2 Raspicam**

**Fuente:** Cristhian Pardo 2016

Para contar con una funcionabilidad precisa en el M.A.D esta cámara va sujeta a una estructura de material transparente por medio de unos tornillos que se ajustan muy bien.

En el grafico 6-2, se muestra la estructura transparente que sujeta a la cámara Raspicam por medio de 4 tornillos color negro.



**Grafico 6-2 Soporte de RaspiCam**

**Fuente:** Cristhian Pardo 2016

### 2.2.1.3 Adaptador wifi USB

El adaptador wifi usb es el dispositivo que se conectara a un puerto usb de la tarjeta raspberry pi 2, este va a realizar la comunicación inalámbrica del M.A.D al M.P.D por medio de M.C.I. La función principal de este dispositivo es que fácilmente se podrá transmitir los datos tomados de la cámara RaspiCam de manera inalámbrica.

En la figura 1-2 se aprecia el modelo del adaptador wifi usb, sus dimensiones son pequeñas de 2 cm de largo por 1,5 cm de ancho, medidas ideales para poder trabajar en el desarrollo del M.A.D.



**Figura 1-2 Adaptador wifi USB**

**Fuente:** [www.robofun.ro/miniature-wifi-802-11b-g-n-module-for-raspberry-pi-and-more](http://www.robofun.ro/miniature-wifi-802-11b-g-n-module-for-raspberry-pi-and-more)

En la figura 2-2, se observa al adaptador wifi conectado a un puerto usb de la tarjeta raspberry pi 2 listo para su funcionamiento.



**Figura 2-2 Adaptador wifi USB conectado**

Fuente: [www.electronilab.co/tienda/adaptador-wifi-mini-802-11bgn-para-raspberry-pi-y-otros/](http://www.electronilab.co/tienda/adaptador-wifi-mini-802-11bgn-para-raspberry-pi-y-otros/)

#### 2.2.1.4 Gafas de soporte de la cámara Raspicam

Las gafas que vamos emplear son unas gafas de seguridad industrial sencillas, estas se las puede encontrar en cualquier ferretería, luego se las somete a un tratamiento en su estructura para dejarlas aptas para que puedan realizar su función de soporte de las cámara Raspicam del M.A.D.

En las figura 3-2, se aprecia las forma de las gafas de seguridad industrial en su forma normal sin aplicar algún tratamiento en su estructura.



**Figura 3-2 Gafa normal**

Fuente: [www.logismarket.es/general-optica/gafas-de-proteccion-3/976955988-1125032-p.html](http://www.logismarket.es/general-optica/gafas-de-proteccion-3/976955988-1125032-p.html)

En el grafico 7-2, se observa que las gafas de seguridad industrial ya se ha realizado un tratamiento a su estructura exterior. El tratamiento se refiere a cortar a la mitad del plástico transparente que tiene al frente quedando una pequeña parte, tenemos que tomar en cuenta que al cortar el plástico este quedan unos filos, estos se tienen que lijar para quitar asperezas y puntas dejando ya las gafas de porte para la cámara RaspiCam lista para su utilización.



**Grafico 7-2 Gafas de soporte**

**Fuente:** Cristhian Pardo 2016

#### 2.2.1.5 Alimentador portátil

El alimentador portátil es aquel que va a entregar energía al M.A.D para que tenga un funcionamiento de todos sus componentes de forma inalámbrica. Este alimentador tiene como características:

- Voltaje de salida: 5 Voltios (Corriente Directa).
- Corriente de salida: 1 Amperio.
- Capacidad en mah: 5200 (mili amperio hora).
- Puertos micro usb: 1 micro usb para recargar el alimentador.
- Puertos usb: 1 usb para entregar la energía al M.A.D.
- Indicador de carga: 1 indicador, para saber si necesita ser cargado.

En el grafico 8-2, se muestra el alimentador portátil o batería que se va emplear para el funcionamiento de los diferentes dispositivos del M.A.D.



**Grafico 8-2 Alimentador portátil**

**Fuente:** Cristhian Pardo 2016

#### 2.2.1.6 Cable HDMI

El cable HDMI (*High-Definition Multimedia Interface o Interfaz Multimedia de Alta Definición*), son aquellos que se utilizan para conectar dispositivos de alta definición, como computadores, televisores, etc. para la transmisión de audio y vídeo digital cifrado sin compresión. Estos cables pueden ser de distintos tipos de acuerdo su funcionalidad.

El cable HDMI lo utilizaremos en la realización de una extensión para la conexión entre la cámara RaspiCam y la tarjeta raspberry pi 2, ya que el cable que conecta estos 2 dispositivos es muy pequeño. El cable tiene 1 metro de longitud lo cual lo hace más que suficiente para realizar la extensión.

En la figura 4-2, muestra el cable que utilizaremos en el proyecto de eye tracking.



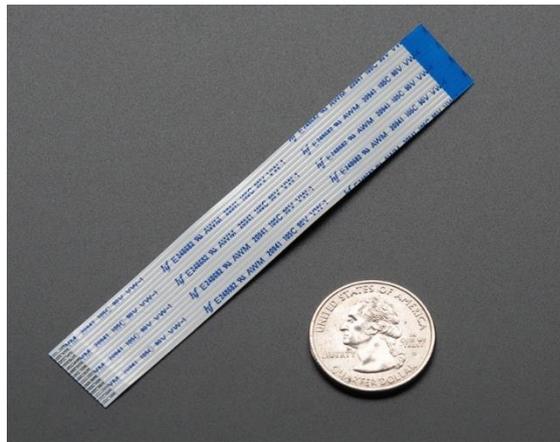
**Figura 4-2 Cable HDMI**

**Fuente:** [www.taringa.net/comunidades/serviciotecnico/9348842/Ayuda-Cual-cable-HDMI-elegir.html](http://www.taringa.net/comunidades/serviciotecnico/9348842/Ayuda-Cual-cable-HDMI-elegir.html)

### 2.2.1.7 Cable flex

El cable flex sirve como medio de transmisión de datos entre la cámara RaspiCam y la tarjeta raspberry pi 2, consta de 15 pines para que encaje exactamente en los conectores de estos 2 dispositivos, la cámara y la tarjeta.

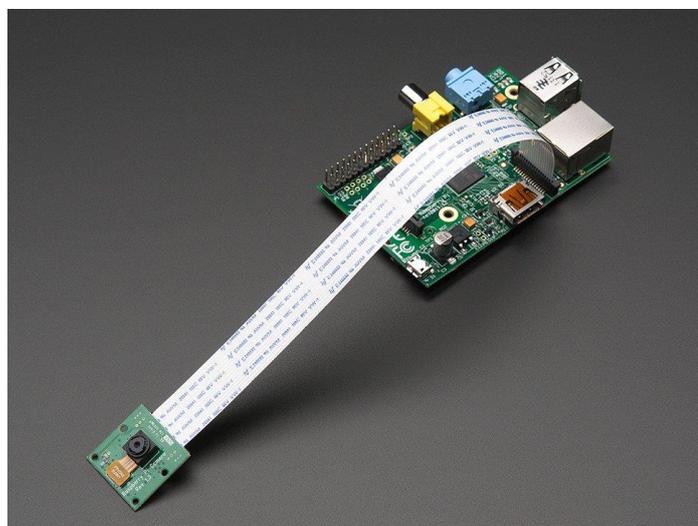
En la figura 5-2, muestra la estructura física que tiene el cable flex para la conexión entre la cámara RaspiCam y la tarjeta raspberry pi 2.



**Figura 5-2 Cable flex**

Fuente: [www.adafruit.com/products/1646](http://www.adafruit.com/products/1646)

En la figura 6-2, se muestra como se realiza la conexión con el cable flex entre la cámara raspicam y la tarjeta raspberry pi 2.



**Figura 6-2 Conexión cable flex raspicam-raspberry pi 2**

Fuente: [www.adafruit.com/products/1647](http://www.adafruit.com/products/1647)

### 2.2.1.8 Cable HDMI y flex ensamblados juntos

Para realizar la extensión que va a conectar la tarjeta raspberry pi 2 y la cámara RaspiCam necesitaremos 1 metro de cable HDMI y 2 cables flex de 15 cm con 15 hilos, el cable HDMI lo cortamos en los extremos para tener un cable de 70 cm aproximadamente, luego cortamos el protector de los hilos del cable HDMI 3 cm más o menos y así quedar descubierto los 15 hilos del cable HDMI. La razón importante e indispensable por la que usamos el cable HDMI es que es blindado, esto quiere decir que los hilos internos del cable están protegidos con un recubrimiento de aluminio e individual para cada uno de los hilos. Debido a este tipo de recubrimiento no hay ruido y no se pierden datos en la transmisión.

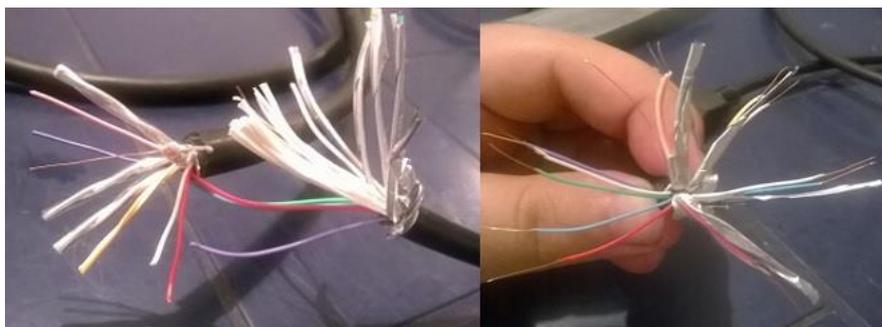
En el grafico 9-2, se muestra el corte del cable HDMI y poder visualizar la parte interna del cable.



**Grafico 9-2 Corte del cable HDMI**

Fuente: Cristhian Pardo 2016

En el grafico 10-2, se observa los 15 hilos de cada uno de los extremos cortados del cable HDMI.



**Grafico 10-2 Hilos del cable HDMI**

Fuente: Cristhian Pardo 2016

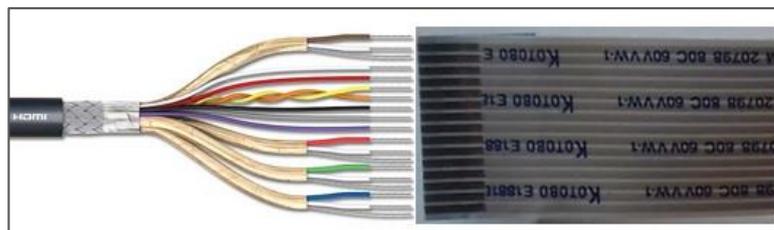
Los 2 cables flex los preparamos puliendo un extremo de cada uno de los cables como se muestra en el grafico 11-2. Podemos utilizar un pequeño taladro con un pulidor para poder quitar el plástico del extremo de los cables y así poder soldarlos con un caudín y estaño para que tenga una mayor seguridad y transmitir los datos sin perder ninguno.



**Grafico 11-2 Pulido del extremo cable flex**

Fuente: Cristhian Pardo 2016

Para soldar los pines de cada uno de los cables solo debe hacer con pasta de soldar, estaño y un caudín espacial que no se caliente mucho de máximo 15 Watts. Estos pines deben estar colocados en forma ordenada para que cuando se suelde no quede ninguno suelto y la extensión quede bien construida como se muestra en el grafico 12-2.



**Grafico 12-2 Distribución pines para soldar**

Fuente: Cristhian Pardo 2016

Una vez que terminamos de concluir el soldado de los pines de ambos cables se procederá a comprobar la continuidad ya que estos deben estar bien soldados para que su funcionalidad sea eficaz.

En el grafico 13-2, se muestra como quedo finalizada la construcción del cable de extensión HDMI-FLEX ya comprobado las continuidad y revisado su soldadura.



**Grafico 13-2 Cable de extensión FLEX-HDMI-FLEX**

**Fuente:** Cristhian Pardo 2016

#### 2.2.1.9 Memoria micro SD

Las tarjetas micro sd clase 4 son de las más frecuentes para dispositivos teléfonos móviles y teléfonos Smartphone en la actualidad, son usadas en dispositivos GPS, reproductores MP3 y dispositivos electrónicos especializados que necesitan tarjetas de memoria extremadamente compactas y fácilmente extraíbles (Demerceau, 2014).

Como se muestra en la figura 7-2. La memoria micro SD es un elemento de almacenamiento que tiene un papel muy importante, ya que en esta memoria se va a grabar el sistema operativo que va dar funcionamiento a la tarjeta raspberry pi 2, una vez que ya se instaló el sistema operativo en la memoria se inserta en la ranura de la tarjeta raspberry pi 2 para luego iniciar con las configuraciones en la tarjeta.



**Figura 7-2 Memoria micro SD**

**Fuente:** [www.andro4all.com/2016/01/tarjetas-microsd-android-ventajas-inconvenientes](http://www.andro4all.com/2016/01/tarjetas-microsd-android-ventajas-inconvenientes)

#### 2.2.1.10 Construcción finalizada de la estructura de la cámara raspicam

Una vez que se concluyó con la construcción de cada uno de los componentes se procede a la conexión de cada uno de estos como se muestra en el grafico 14-2, quedando listo para ser conectado a la ranura de la tarjeta raspberry pi 2.



**Grafico 14-2 Elementos de la cámara RaspiCam 1**

Fuente: Cristhian Pardo 2016

El grafico 15-2, muestra la vista frontal de la unión de los elementos para la cámara RaspiCam terminados y comprobados para su conexión.



**Grafico 15-2 Elementos de la cámara RaspiCam 2**

Fuente: Cristhian Pardo 2016

El grafico 16-2, muestra el uso del soporte de la cámara raspicam del M.A.D en ejecución, realizando el seguimiento ocular *EYE TRACKING*.



**Grafico 16-2 M.A.D**

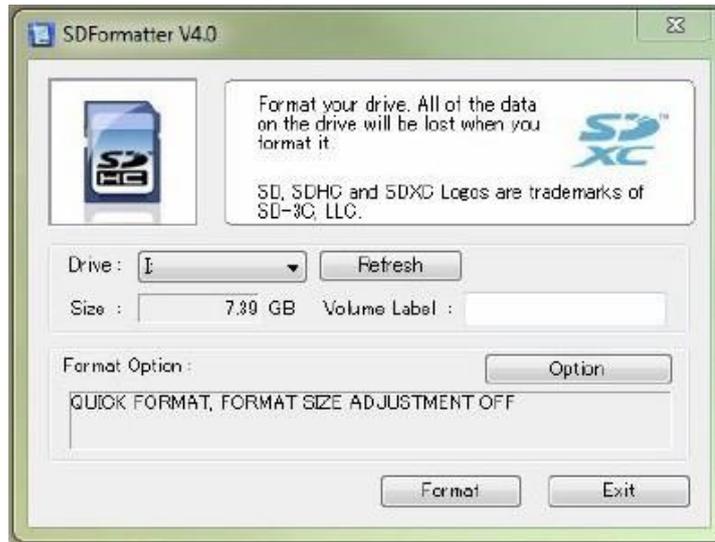
Fuente: Cristhian Pardo 2016

## ***2.2.2 Requerimiento de software***

### ***2.2.2.1 Panasonic\_SDFormatter***

Es un software herramienta para dar formato a las tarjetas micro SD, ya que es propia del sistema SD (Security Data-Dato Seguro), esta herramienta formatea la memoria sin ningún conflicto ni inconveniente en el futuro y así poder grabar el sistema operativo en la memoria micro SD que va a correr en la raspberry pi 2. El sistema de archivos con el que se le va a dar formato a la memoria micro será *fat32* ya que este sistema de archivos es el adecuado para grabar el sistema operativo de la tarjeta raspberry por su núcleo de base Linux.

En la figura 8-2, se aprecia la interfaz del software herramienta que nos permitirá dar formato a la tarjeta micro SD. Cabe recalcar que este software se va instalar en el computador que tiene sistema operativo windows de 64 bits.



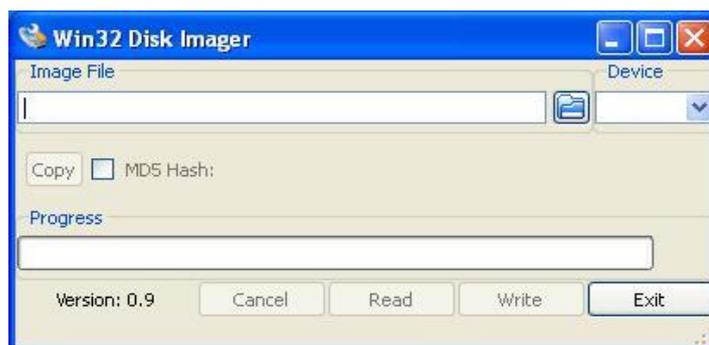
**Figura 8-2 Panasonic\_SD Formatter**

**Fuente:** [www.soloelectronicos.com/category/m2m/](http://www.soloelectronicos.com/category/m2m/)

#### 2.2.2.2 Win32 Disk Imager

Este programa permite realizar la grabación del sistema operativo en la memoria micro SD que previamente se realizó el formateo. Este software se ejecuta en el computador, en la parte que se encuentra una *carpeta de color azul* se hace clic, luego tendremos que seleccionar la imagen del sistema operativo que se va a grabar en la micro SD. Después de seleccionar la imagen en formato ISO hacemos clic en *Write* y se iniciara la grabación del sistema operativo.

La figura 9-2, muestra la interfaz del software que se va a utilizar en la grabación del sistema que va a ejecutar la tarjeta raspberry pi 2. Como detalle del software indicaremos que es una utilidad que servirá para grabar archivos de imagen de disco IMG en tarjetas SD o micro SD y también en memorias flash USB. Por otro lado, también es útil para hacer copias de seguridad de los mismos dispositivos y guardarlas en tu disco de almacenamiento del computador.



**Figura 9-2 Win32 Disk Imager**

**Fuente:** [www.wiki.ubuntu.com/Win32DiskImager](http://www.wiki.ubuntu.com/Win32DiskImager)

### 2.2.2.3 Raspbian Wheezy versión 2015

Raspbian es una distribución del sistema operativo Linux y por lo tanto es un software libre basado en Debían Wheezy para la tarjeta raspberry pi 2, orientado a la enseñanza de informática.

El sistema operativo *Raspbian Wheezy versión 2015* viene en formato de imagen la cual se tiene que descargar de las páginas web oficiales donde encontramos un sin número de versiones de sistemas operativos para instalar en la tarjeta micro SD.

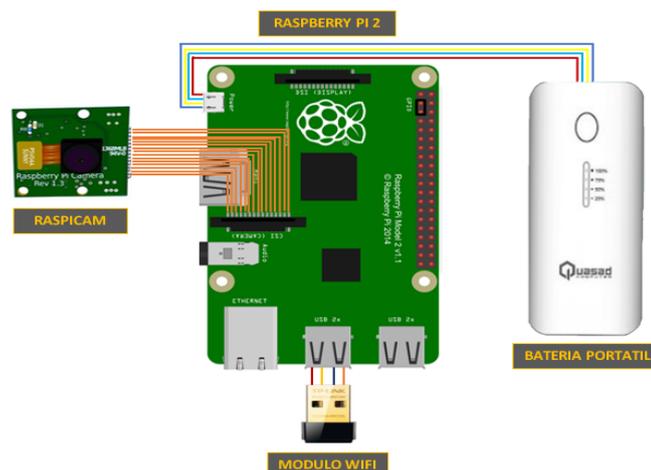
En la figura 10-2, apreciamos el entorno grafico del sistema operativo Raspbian, el cual ya está corriendo en la tarjeta raspberry pi 2.



**Figura 10-2** Interfaz gráfica de Raspbian Wheezy 2015

Fuente: [www.raspberrypi.org/blog/changes-to-the-raspbian-user-interface/](http://www.raspberrypi.org/blog/changes-to-the-raspbian-user-interface/)

### 2.2.3 Esquema de conexión del M.A.D



**Grafico 17-2** Conexiones del M.A.D

Fuente: Cristhian Pardo 2016

#### **2.2.4 Representación de los elementos del M.A.D en conjunto**

En las siguientes figuras se podrá ir apreciando como quedo conformado el M.A.D, ya con todos sus elementos previamente descritos.

El grafico 18-2, muestra los elementos internos del M.A.D distribuidos en la caja que se construyó para colocarlos.



**Grafico 18-2 Elementos internos del M.A.D**

Fuente: Cristhian Pardo 2016

En el grafico 19-2, se aprecia la estructura compuesta por la cámara raspicam, las gafas de soporte y el cable de extensión. Estos elementos forman parte del M.A.D.



**Grafico 19-2 Soporte cámara RaspiCam**

Fuente: Cristhian Pardo 2016

## 2.3 Diseño del módulo de comunicación inalámbrica (M.C.I)

### 2.3.1 Requerimiento de hardware

#### 2.3.1.1 Router Nano

En el grafico 20-2 se muestra el dispositivo que se va a utilizar para la comunicación inalámbrica, este dispositivo es conocido como *nano router*, este nos permite realizar la conexión y enlazar de manera inalámbrica los distintos módulos del proyecto.



**Grafico 20-2 Router Nano**

Fuente: Cristhian Pardo 2016

Este dispositivo se puede alimentar por medio de batería portátil o por medio de corriente con el adaptador del mismo. También se lo puede configurar para realizar una red local inalámbrica y se logren comunicar los módulos; M.P.D y el M.A.D.

Se puede entrar a la configuración del dispositivo por medio del enlace: <http://tplinkwifi.net>, accediendo con Username: admin y Password: admin, por defecto la red inalámbrica es SSID: TP-LINK\_DBE4.

En el grafico 21-2, se muestra los parámetros que por defecto vienen en la parte posterior del dispositivo para configurarlo a nuestra necesidad.



**Grafico 21-2 Parámetros del Router Nano**

**Fuente:** Cristhian Pardo 2016

### 2.3.1.2 Alimentador inalámbrico

En el grafico 22-2 tenemos el alimentador portátil del dispositivo nano router, este alimentador nos entrega 5 voltios de corriente continua o directa (CD) y 1 Amperio, que son las características principales para la funcionabilidad del nano router, para mejor entendimiento se muestra las siguientes características del alimentador portátil:

- *Capacidad:* 2600 mah
- *Potencia de Salida:* 5v / 1A
- *Salida:* USB
- *Conectores:* Micro USB
- *Dimensiones:* 105 x 24.4 x 24.4mm



**Grafico 22-2 Alimentación portátil del Router Nano**

**Fuente:** Cristhian Pardo 2016

Para determinar la duración del alimentador portátil con el dispositivo conectado se emplea una fórmula (Huguito, 2007):

$$\textit{Tiempo de Descarga} = \frac{\textit{Capacidad de la Bateria}}{\textit{Consumo Eléctrico del Dispositivo}}$$

Para el cálculo de duración del alimentador portátil tenemos que establecer los datos del dispositivo que se va a alimentar, en este caso es el nano router, este dispositivo consume 5 Voltios y 1 Amperio (1000mA) con el último dato se puede calcular la duración del alimentador.

Aplicando la fórmula anteriormente descrita:

$$\textit{Tiempo de Descarga} = \frac{2600 \textit{ mAH}}{1000 \textit{ mA}} = 2,6 \textit{ Horas}$$

Esto nos quiere decir que el alimentador va a durar 2,6 horas, luego de este tiempo se tendrá que volver a cargar el alimentador.

#### 2.3.1.3 Cable USB/Micro USB

En el gráfico 23-2 se muestra los cables usb/micro usb que se va a utilizar en el proyecto, estos cables cumplen con la función de ser un puente para la transmisión de datos o alimentación de corriente. Estos cables pueden ser de cualesquier modelo ya que en el mercado encontramos una variedad extensa, pero hay una característica muy importante que los destaca a estos cables, estos en un extremo tienen un terminal USB normal y en el otro extremo un micro USB como se puede observar en la figura, tienen que tener esta característica ya que sin esta no se podría realizar la conexión adecuada a los dispositivos.



**Grafico 23-2 Cables USB/Micro USB**

**Fuente:** Cristhian Pardo 2016

#### *2.3.1.4 Cable de RED*

En el grafico 24-2 se muestra el cable de red RJ-45, este cable tiene la funcionabilidad de puente para la transmisión de datos desde el nano router hasta el computador. Para configurar el nano router este cable es de suma importancia ya que es el único cable que nos permite hacer la conexión entre estos dos dispositivos y así realizar exitosamente la configuración del M.C.I.



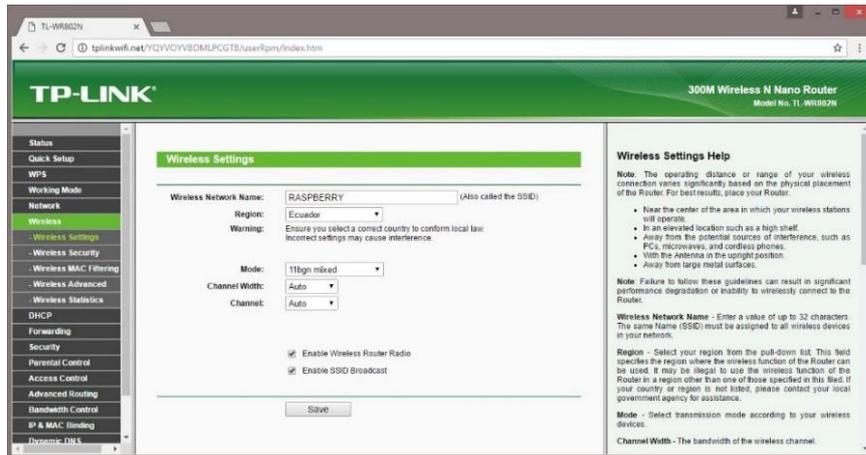
**Grafico 24-2 Cable de Red RJ-45**

**Fuente:** Cristhian Pardo 2016

### *2.3.2 Requerimiento de software*

#### *2.3.2.1 Software para configuración de Nano router*

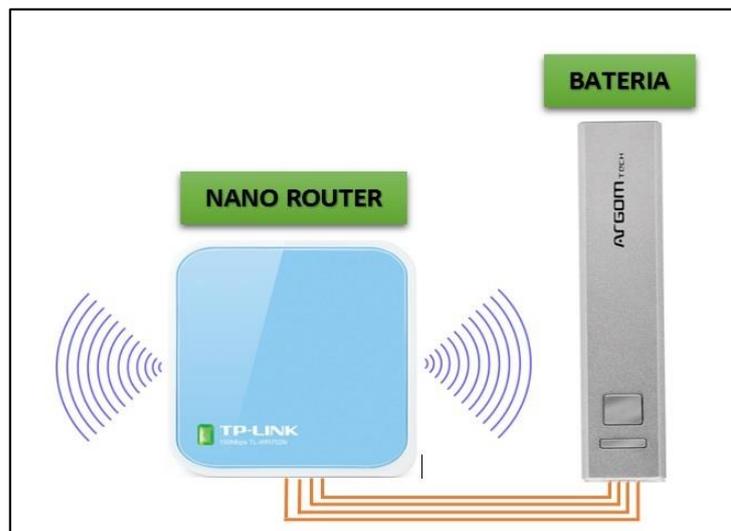
Para que el nano router permita la comunicación inalámbrica tendremos que realizar la configuración del mismo para que tenga un perfecto funcionamiento. En el grafico 25-2, muestra como ingresar a la opción de configuración del nombre de la red local inalámbrica.



**Grafico 25-2 Nombre de la red wifi para la red local**

**Fuente:** Cristhian Pardo 2016

### 2.3.3 Esquema de conexión del M.C.I



**Grafico 26-2 Conexiones del M.C.I**

**Fuente:** Cristhian Pardo 2016

### **2.3.4 Representación de los elementos del M.C.I en conjunto**

En el grafico 27-2 se muestra como están ubicados y distribuidos los componentes del M.C.I.



**Grafico 27-2 Módulo de Comunicación Inalámbrica**

**Fuente:** Cristhian Pardo 2016

## **2.4 Diseño del módulo de procesamiento de datos (M.P.D)**

### **2.4.1 Requerimiento de hardware**

#### **2.4.1.1 Computador portátil**

El computador portátil es fundamental para el desarrollo de proyecto ya que este procesa los datos adquiridos por el M.A.D, las características fundamentales que debe tener son:

**Procesador:** Intel core i3-4005U de 4ta Generación CPU @ 1.70 GHz

**Memoria RAM:** 6 - 8 GB DDR3

**Disco Duro:** 500 - 1000 GB de Almacenamiento

**Sistema Operativo:** Windows\_7, Windows\_8.1 o Windows\_10

**Pantalla:** 14 - 15.6 Pulgadas

Estas características son las fundamentales que debe tener el computador, pero estas pueden variar de acuerdo a las necesidades del usuario o a el desarrollador.

En el grafico 28-2 se muestra el computador portátil que se va a emplear para el desarrollo del proyecto.



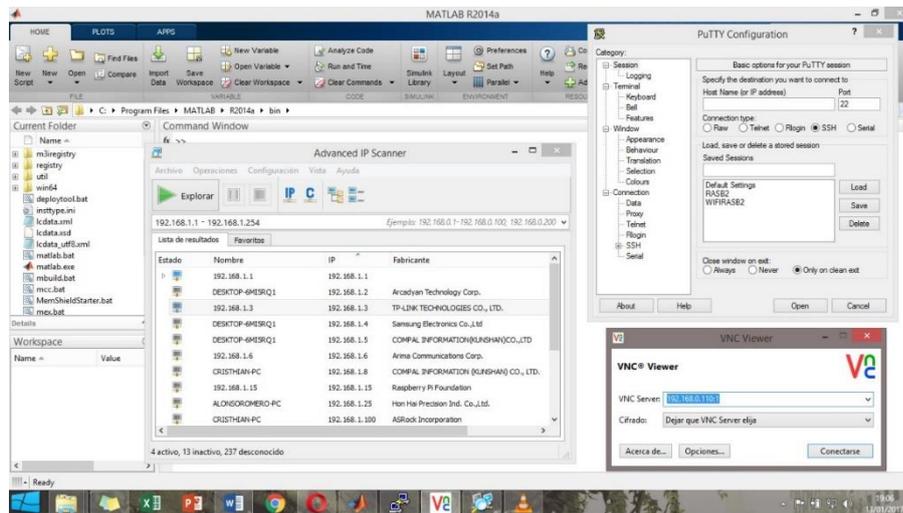
**Grafico 28-2 Computador portátil del proyecto**

Fuente: Cristhian Pardo 2016

## ***2.4.2 Requerimiento de software***

### ***2.4.2.1 Matlab R2014A***

Como software principal tendremos Matlab R2014A, este software permite el procesamiento de los datos adquiridos por el M.A.D, este software se instala directamente en el computador. Utilizamos esta versión del programa porque es compatible con el sistema operativo del computador. También ya vienen incorporado los paquetes de datos para poder ser compatible con el software del M.A.D como se muestra en el grafico 29-2.



**Grafico 29-2 Interfaz gráfica del M.P.D**

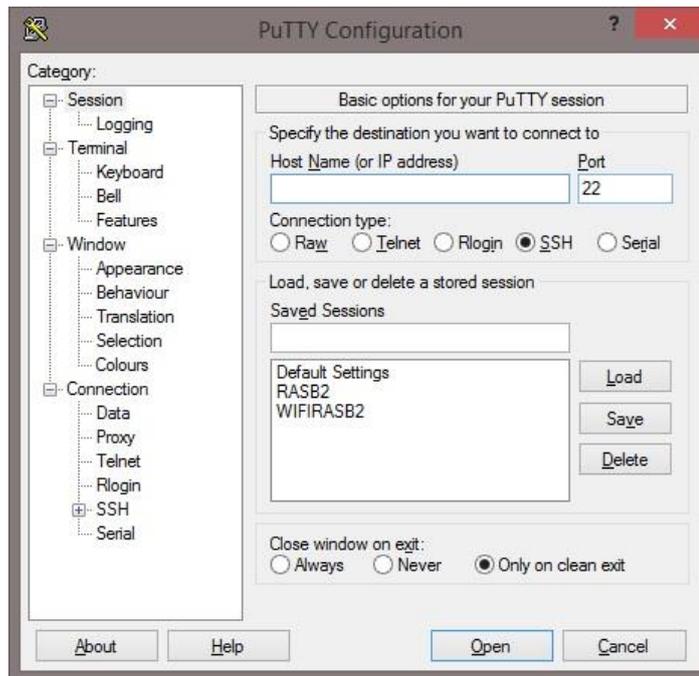
Fuente: Cristhian Pardo 2016

#### 2.4.2.2 Putty\_0.65

El software es un enlace como cliente SSH, permite conectarse al servidor remotamente por medio de una sesión para ejecutar comandos. Cuando empleamos este software para ejecutar comandos en un servidor VPS y así poder instalar algún programa o configuración del servidor (ZEOKAT, 2014).

En resumen, este software se consigue realizar una conexión segura en protocolo SSH, estos son protocolos de seguridad y tener una confiabilidad en ejecutar línea de comandos en el servidor remoto para administrarlo.

En el grafico 30-2, se observa como ir siguiendo los pasos para poder conectarse de manera remota al M.A.D. Hay que dejar en cuenta que este tipo de es una herramienta muy potente para poder conectarse de manera remota a cualquier servidor.



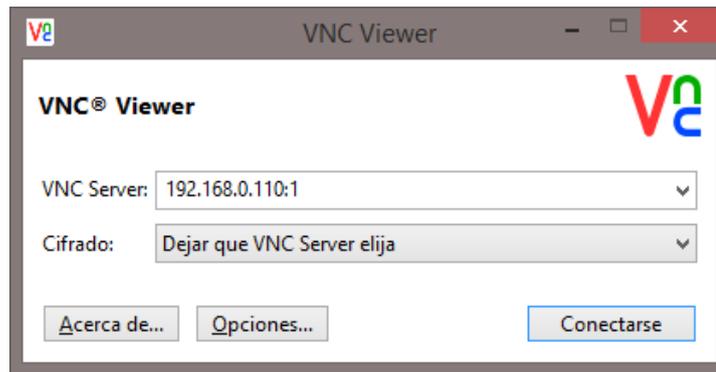
**Gráfico 30-2 Interfaz gráfica de Putty**

Fuente: Cristhian Pardo 2016

#### 2.4.2.3 VNC-Viewer-5.2.3-Windows-64bit

El software *VNC-Viewer* es un programa que nos facilita ingresar al entorno gráfico del M.A.D, para mejor especificación al sistema operativo de la tarjeta raspberry pi 2. De esta manera podremos hacer algunas configuraciones al sistema operativo de la tarjeta. Esta versión de software es exclusivamente para ser ejecutar en windows 8 de 64Bits en el M.P.D.

En el gráfico 31-2, se muestra los parámetros que hay que ingresar para poder tener acceso al entorno gráfico del sistema operativo de la tarjeta raspberry pi 2. En la opción de *VNC Server* colocamos la dirección *ip* que se le ha asignado a la tarjeta que es *192.168.0.110:1*, seguido de dos puntos y el número *1*, estos 2 últimos caracteres adicionales que se coloca es para tener una pantalla. Cabe recalcar que este software se lo instala en el M.P.D en el computador que tiene instalado el sistema operativo windows de 64 Bits.



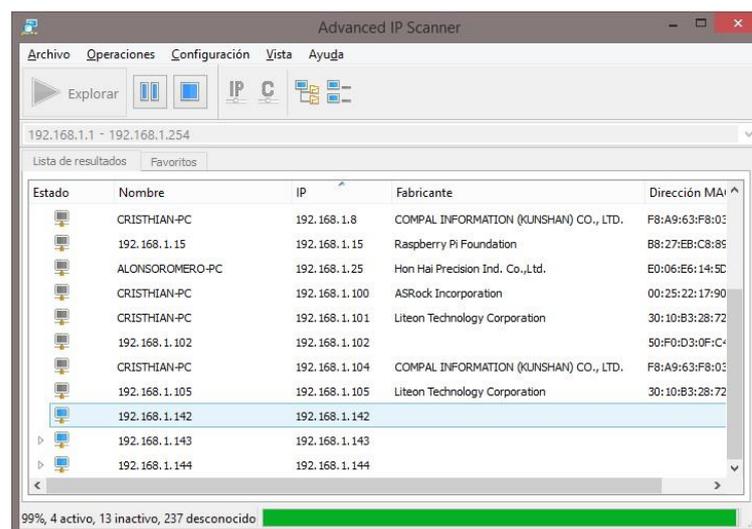
**Gráfico 31-2 Interfaz gráfica de VNC-Viewer**

Fuente: Cristhian Pardo 2016

#### 2.4.2.4 Advanced-IP-Scanner

Este software nos facilita ver si está conectado en la red local la tarjeta raspberry pi 2, en el botón de Explorar hacemos *clic* para escanear las direcciones IP que se encuentran en la red local.

En el gráfico 32-2 se muestra todos los dispositivos conectados a la red con sus correspondientes IP, esto nos muestra que dispositivo está o no conectado.



**Gráfico 32-2 Interfaz gráfica de Advanced-IP-Scanner**

Fuente: Cristhian Pardo 2016.

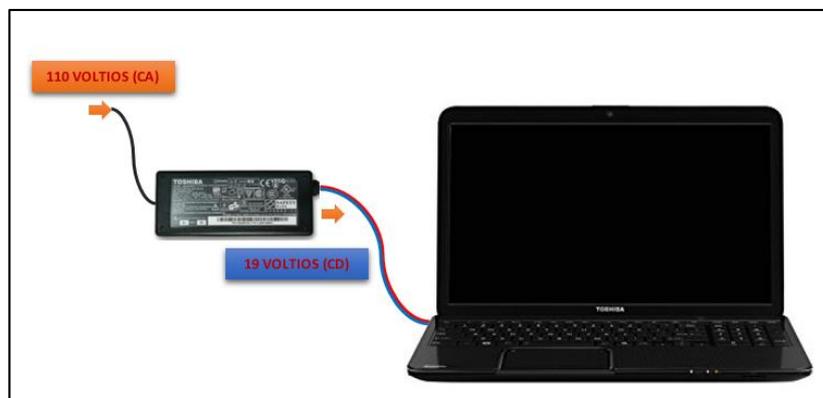
#### 2.4.2.5 *Winsdk\_web*

El *Winsdk\_web* de windows proporciona herramientas, compiladores, encabezados, bibliotecas, ejemplos de código y un nuevo sistema de ayuda que los desarrolladores pueden usar para crear aplicaciones que se ejecutan en Microsoft windows (Microsoft, 2010).

#### 2.4.2.6 *Máquina virtual de java actualizada*

La Máquina Virtual Java es un entorno en el que se ejecutan las aplicaciones en base Java, su función principal es de garantizar la ejecución portable de las extensiones de programas en Java (García A. F., 2000).

#### 2.4.3 *Esquema de conexión del M.P.D*

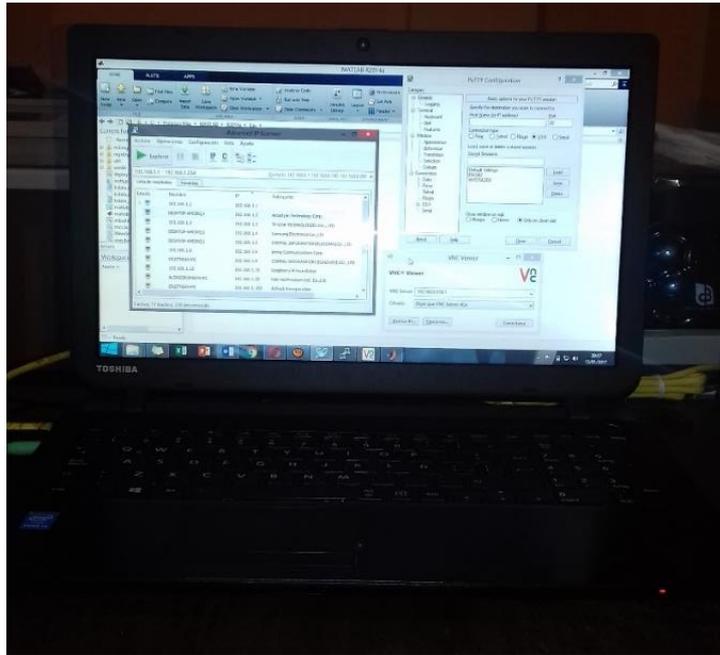


**Grafico 33-2 Conexiones del M.P.D**

Fuente: Cristhian Pardo 2016.

#### 2.4.4 *Representación de los elementos del M.P.D en conjunto*

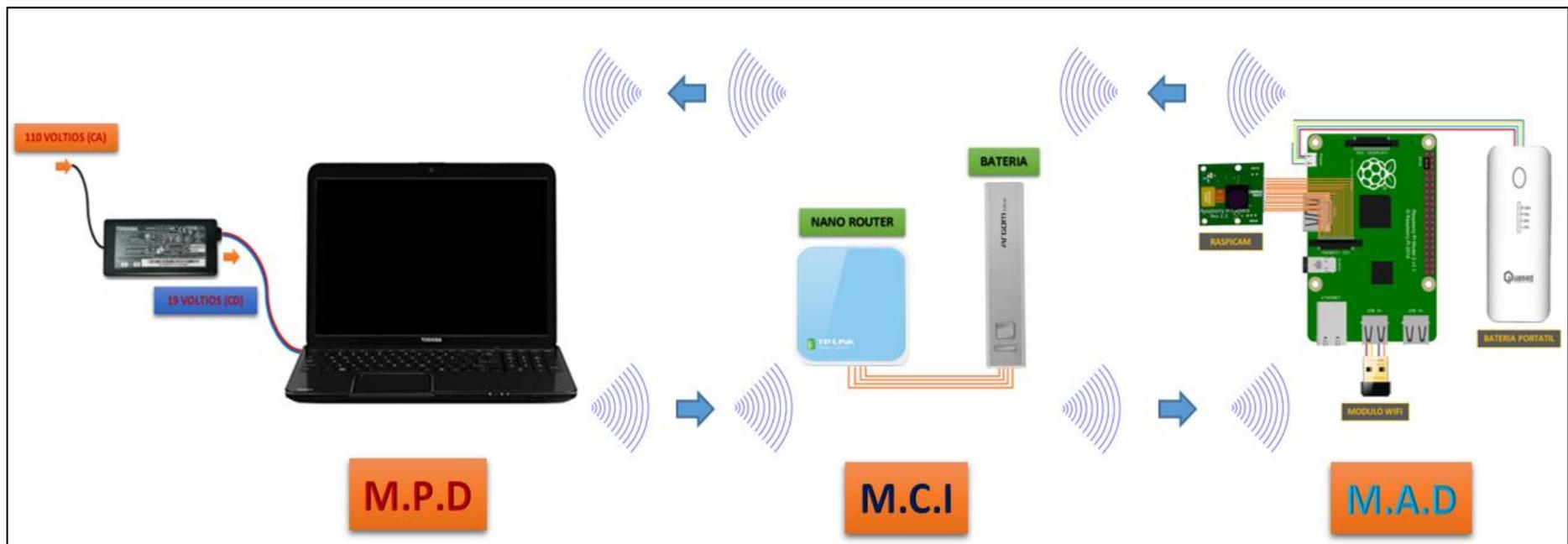
En las siguientes figuras, grafico 34-2 y grafico 35-2, se muestra los componentes principales y las conexiones físicas del M.P.D que es tanto el software como el hardware correspondientemente para el correcto funcionamiento del módulo.



**Grafico 34-2 Hardware y Software del M.P.D**

Fuente: Cristhian Pardo 2016.

### 2.4.5 Esquema general de conexión y comunicación física del prototipo completo SEETPDMS



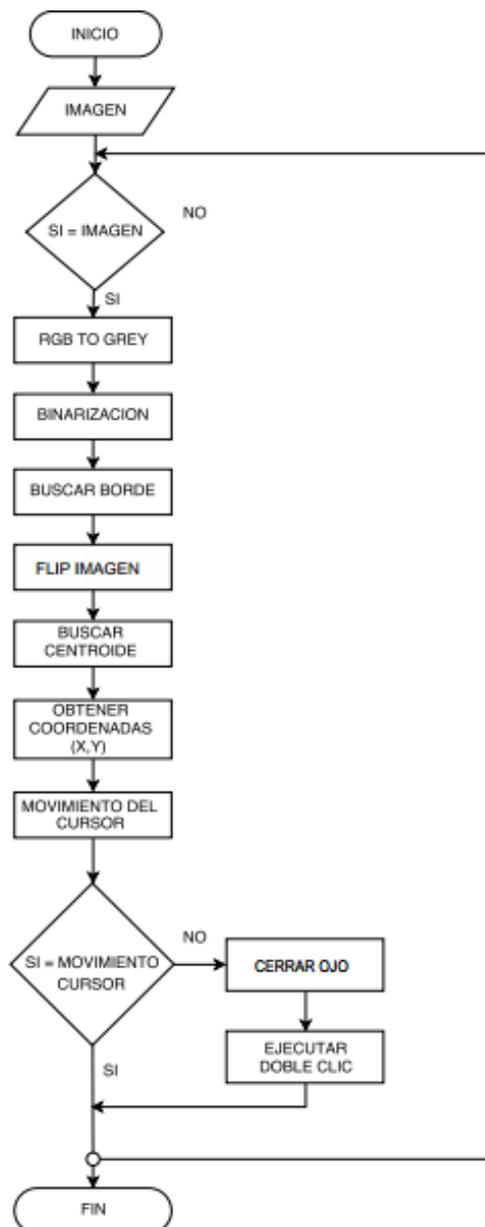
**Grafico 35-2** Conexión y comunicación física del prototipo completo SEETPDMS

Fuente: Cristhian Pardo 2016.

## 2.5 Descripción del algoritmo desarrollado para el prototipo de SEETPDMS

El código del algoritmo desarrollado para prototipo se ubicará en el Anexo de este documento, el algoritmo fue desarrollado en el entorno de Matlab R2014A. Para un mejor entendimiento primeramente se describe el diagrama de flujo del algoritmo desarrollado y luego las funciones que lo integran. En el grafico 36-2, se muestra el diagrama de flujo del algoritmo para el SEETPDMS, para mayor entendimiento se describirá el funcionamiento del mismo.

### 2.5.1 Diagrama de flujo del algoritmo para el prototipo del SEETPDMS



**Grafico 36-2 Diagrama de flujo del algoritmo para el SEETPDMS**

Fuente: Cristhian Pardo 2016

### **Para la inicialización:**

- Ejecutar el comando *clear all*. (Borra todas las variables, incluyendo las globales, y las funciones)
- Ejecutar el comando *close all*. (Elimina todas las figuras o cifras cuyos identificadores no están ocultos)
- Ejecutar el comando *clc*. (Limpia la ventana de comandos).
- Capturar la imagen para realizar el seguimiento ocular.

### **Para el lazo que se repite indefinidamente:**

- Se inicializa el proceso de condicionamiento que es reconocer la imagen de la pupila.
- Si hay imagen, se convierte la imagen de formato RGB a formato de tono GRIS.
- Luego de transformar la imagen se procede a realizar la transformación de tono de GRIS a BINARIZACIÓN.
- Luego se busca el BORDE de la imagen binarizada.
- Después de estos procedimientos se realiza el flip de la imagen para tener el mismo movimiento en tiempo real de la pupila.
- Encontrar el CENTROIDE de la pupila ya binarizada.
- Una vez obtenido en centroide de la pupila se encuentra las coordenadas de posición en “X” y “Y”.
- Con las coordenadas en “X” y “Y”, se procede a realizar el movimiento del cursor.
- El segundo bloque de condicionamiento, si detecta movimiento del cursor no hace nada y regresa a sensar o reconocer la imagen en el primer bloque de condicionamiento.
- Sin movimiento del cursor.
- Se procede a cerrar el parpado del ojo.
- Ejecuta la función de doble clic para abrir el documento.
- Termina los procesos y luego regresa al primer bloque de detección de la imagen y sigue el bucle del procesamiento de la imagen del movimiento de la pupila.
- Una vez interrumpido el bucle finaliza el programa.

## 2.5.2 Funciones que integran el algoritmo del prototipo del SEETPDMS

El algoritmo desarrollado para el prototipo se estructura en base a funciones, que se describen a continuación junto con los parámetros requeridos y los resultados obtenidos.

### 2.5.2.1 Inicio de los parámetros del mouse

- **clear(), close() y clc():** Estas tres funciones propias de MATLAB R2014A limpian y reinician los parámetros para evitar conflictos de ingreso de datos.
- **import java.awt.Robot:** Matlab no cuenta con la capacidad de controlar el movimiento del mouse, los clics y otras funciones del cursor lo que se utiliza la clase Java *java.awt.Robot* que tiene las funciones anteriormente descritas. Esta función lo que hace es importar la ejecución del puntero y sus aplicaciones como el doble clic y el clic derecho en la pantalla. Luego se asigna un punto referencial inicial del puntero con las coordenadas (*xc,yc*) para ubicar el cursor en esta posición y de ahí partir con la ejecución del algoritmo.
- **mouse = Robot:** Asigna en la variable *mouse* el valor del módulo Robot importado del paquete *java.awt*.
- **base\_dir = 'D:\Optico\':** En la variable *base\_dir* se asigna la dirección donde se encuentra el algoritmo para poder ejecutar.
- **cd(base\_dir):** Esta función cambia la carpeta actual a la nueva carpeta *base\_dir*.

### 2.5.2.2 Configuración de la RASPICAM

- **rpi = raspi():** El *rpi* es un identificador para un objeto *raspi*. Al crear el objeto *rpi*, el MATLAB R2014A se conecta a un servidor que se ejecuta en el hardware de Raspberry Pi a través de la comunicación TCP / IP. En otras palabras la función *raspi()* conecta MATLAB R2014A con la tarjeta raspberry pi 2.
- **cameraboard():** Esta función toma los siguientes parámetros de entrada: la variable de conexión con la raspberry pi 2, la resolución de la cámara raspicam, nitidez al 100% de la imagen y la calidad al 100%. Estos valores se almacenan en la variable *cam*.
- **cam.ImageEffect = 'blur':** Esta función hace un desenfocado en la imagen capturada para borrar rastros innecesarios de pixeles.

- **cam.VideoStabilization='on'**: Esta función realiza una estabilización a la imagen capturada y obtener el sentido del movimiento de la pupila con más exactitud.
- **cam.HorizontalFlip=1**: Esta función es la que permite realizar un flip que es voltear la imagen en orientación horizontal para poder tener la imagen original y el movimiento de la pupila en tiempo real.
- **cam.ROI ()**: Esta función establece la Región de interés que vamos a tomar de la imagen de movimiento de la pupila.

### 2.5.2.3 Captura del movimiento de la pupila

- **minimizar(mouse)**: Esta función minimiza las ventanas que estén activas para solo quedar el cursor, esta función ubica el cursor en la posición (1366, 765), esta posición se encuentra en la parte inferior derecha de la pantalla del computador. Desde ahí el cursor se moverá de acuerdo a la posición de la pupila.

Para hacer la captura del movimiento de la pupila realizamos una sentencia repetitiva *for s = 1:300*, que inicia con una variable *s* desde 1 hasta 300 imágenes. En este proceso realizamos la ejecución de las siguientes funciones:

- **img = snapshot(cam)**: La función *snapshot()*, receipta la imagen de la variable de entrada *cam*, la almacena en la variable *img* para luego ser procesados los datos de esta variable.
- **gris=rgb2gray(img)**: La función *rgb2gray()*, cambia la imagen capturada de la variable de entrada *img* de escala de RGB a escala de grises para luego almacenar la información en la variable *gris*.
- **BW = im2bw(gris,0.6)**: La función *im2bw()*, transforma la imagen de escala de grises a imagen binaria con nivel de 6. Esta información es almacenada en la variable *BW* para continuar con el siguiente proceso de la imagen.
- **[E,th]=edge(gris,'sobel','nothinning')**: La función *edge()*, busca bordes en la imagen capturada de la variable de entrada *gris*, Con el método *sobel* se afina el valor de umbral y utiliza el borde de nuevo para obtener una máscara binaria que contiene la celda segmentada. El método *nothinning* controla bordes finos y los descarta.

- **B2 = bwareaopen(E, 400):** La función *bwareaopen()* elimina el ruido, que vendría ser los objetos menores a 400 píxeles. Luego almacena la información filtrada en la variable *B2* para utilizar la información en futuros procesos.
- **g=imfill(B2,'holes'):** La función *imfill(B2,'holes')* tiene por objetivo principal rellenar los agujeros para que solo el objeto que detecte sea solo la pupila. Estos datos son almacenados en una variable *g* para ejecutar el siguiente procedimiento.
- **t=regionprops(g,'centroid'):** La función *regionprops()*, de la variable de entrada *g* donde se almacenó la información de la imagen de la pupila se establece el centroide para encontrar el posicionamiento en la coordenadas  $(X,Y)$ . Con el posicionamiento de la pupila se puede establecer la ubicación de la pupila en la pantalla.

#### 2.5.2.4 Movimiento del cursor en la pantalla

- **isempty(t):** Esta función detecta si está vacío el objeto, si está vacío lanza un mensaje en Matlab que no hay objeto y si detecta el objeto entonces almacena en una variable  $centro=t.Centroid$ , y saca a la vez el centroide, luego en las variables  $x=round(centro(1))$  y  $y=round(centro(2))$ , almacena la posición del cursor en  $(X,Y)$  ya redondeando el dato y tener facilidad de procesarlos.
- Luego para iniciar el movimiento de el cursor sobre el eje “X”, iniciamos con un proceso condicional *if* ( $x < 140$ ), este proceso establece que si la posición del cursor es menor que el umbral de 140, en la variable  $xc=xc-5$  le resta en 5, lo que indica que el cursor se moverá hacia la izquierda. El segundo condicional *if* ( $x > 170$ ), establece que si la posición del cursor es mayor que el umbral de 170, entonces se almacena en la variable  $xc=xc+5$ , donde se suma en 5, esto indica que el cursor se va a mover hacia la derecha.
- El segundo proceso para iniciar el movimiento de el cursor sobre el eje “Y”, iniciamos con un proceso condicional *if* ( $y < 120$ ), este proceso establece que si la posición del cursor es menor que el umbral de 120, en la variable  $yc=yc-5$  le resta en 5, lo que indica que el cursor se moverá hacia abajo. El segundo condicional *if* ( $y > 140$ ), establece que si la posición del cursor es mayor que el umbral de 140, entonces se almacena en la variable  $yc=yc+5$ , donde se suma en 5, esto indica que el cursor se va a mover hacia arriba.

- Una vez ya establecidos los movimientos de el cursor utilizamos la función **mouse.move(xc, yc)** que ejecuta el movimiento del cursor de acuerdo a los valores de  $(xc,yc)$ , con esta función ubica la posición del cursor en la pantalla.
- **rectangle('position',[140 100 40 40], 'lineWidth', 2, 'edgeColor', 'y')**: Esta función establece un rectángulo para ver el movimiento de la pupila, como parámetros de entrada las dimensiones del rectángulo, el grosor de la línea y el color.
- Luego de ejecutar todas las funciones establecidas en el algoritmo ejecutamos los comandos **close, clear rpi, clear cam**, para eliminar variables temporales y así evitar algún tipo de error de ejecución.

#### 2.5.2.5 *Calculo del centroide de la pupila para el seguimiento ocular*

**Centroide-** En el área de las matemáticas, el centroide en una figura bidimensional, es el punto donde todas las líneas de la figura correspondiente se intersectan unas con otras de tal manera que dividen la figura en dos partes iguales, físicamente, un centroide se refiere al centro del objeto geométrico. En el cálculo del centroide una de propiedad importante, el centroide de un objeto convexo está dentro de la figura, y un objeto no convexo puede tener su centroide en el exterior a la figura.

Actualmente hay muchos métodos para encontrar el centroide de una figura, estos se detallan a continuación:

- El método de la plomada,
- El método de descomposición geométrica
- El método de integración.

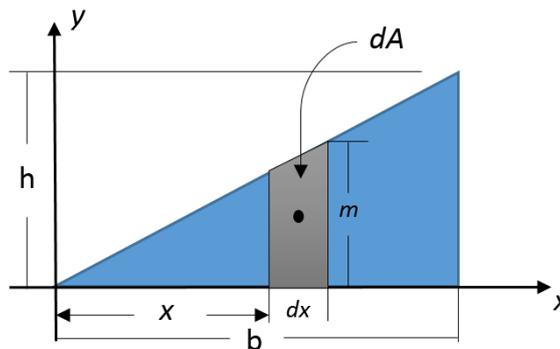
Entre todos, el método de integración es de mejor manipulación y ampliamente utilizado para localizar el centroide de un objeto o una figura. En una figura geométrica el centroide es el centro de simetría y en objetos de forma irregular de dos dimensiones, el centroide es el punto donde un soporte simple puede equilibrar este objeto. Por lo general, el centroide de un objeto bidimensional o tridimensional se encuentra utilizando integrales dobles o triples.

Para el cálculo del centroide de cualquier figura bidimensional geométrica por el método de integración se aplica las siguientes formulas:

Coordenadas del centroide:  $C = (\bar{x}, \bar{y})$

Para el punto:  $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{\int_A x \, dA}{\int_A dA}$$



Con semejanza de triángulos desarrollamos:

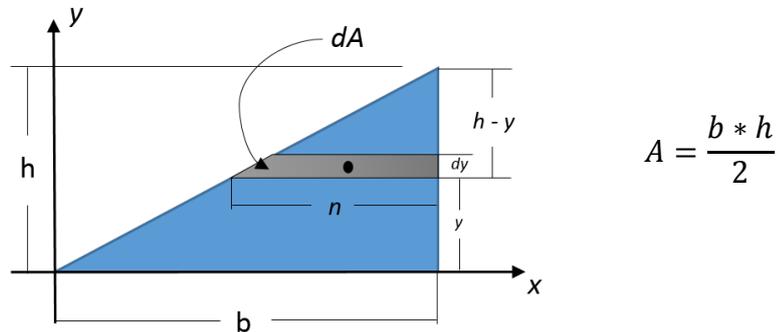
$$\frac{h}{b} = \frac{m}{x} \rightarrow m = \frac{h * x}{b} ; \quad dA = m * dx \rightarrow dA = \frac{hx}{b}(dx)$$

$$\bar{x} = \frac{\int_A x * h * x * dx}{\int_A \frac{h * x}{b} dx} = \frac{\int_0^b \frac{h}{b} * x^2 dx}{\int_0^b \frac{h}{b} * x dx} = \frac{\frac{h}{b} \int_0^b x^2 dx}{\frac{h}{b} \int_0^b x dx} = \frac{\frac{x^3}{3} \Big|_0^b}{\frac{x^2}{2} \Big|_0^b} = \frac{\frac{b^3}{3}}{\frac{b^2}{2}} = \frac{2b^3}{3b^2} = \frac{2b}{3}$$

$$\bar{x} = \frac{2b}{3}$$

Para el punto:  $\bar{y}$

$$\bar{y} = \frac{\int_A y \, dA}{\int_A dA}$$



Con semejanza de triángulos desarrollamos:

$$\frac{h}{b} = \frac{(h - y)}{n} \quad \rightarrow \quad n = \frac{(h - y) * b}{h} \quad ; \quad dA = \frac{(h - y) * b}{h} dy$$

$$\bar{y} = \frac{\int_A y * dA}{\int_A dA} = \frac{\int_0^h y * \frac{(h - y) * b}{h} * dy}{\int_0^h \frac{(h - y) * b}{h} * dy} = \frac{\frac{b}{h} \int_0^h (hy - y^2) dy}{\frac{b}{h} \int_0^h (h - y) dy}$$

$$\bar{y} = \frac{\int_0^h hy \, dy - \int_0^h y^2 \, dy}{\int_0^h h \, dy - \int_0^h y \, dy} = \frac{h * \frac{y^2}{2} \Big|_0^h - \frac{y^3}{3} \Big|_0^h}{h * y \Big|_0^h - \frac{y^2}{2} \Big|_0^h} = \frac{h * \frac{h^2}{2} - \frac{h^3}{3}}{h * h - \frac{h^2}{2}} = \frac{\frac{h^3}{2} - \frac{h^3}{3}}{h^2 - \frac{h^2}{2}} = \frac{\frac{h^3}{6}}{\frac{h^2}{2}} = \frac{2h^3}{6h^2}$$

$$\bar{y} = \frac{h}{3}$$

Entonces el punto del centroide del triángulo es:

$$C_{x,y} = (\bar{x}, \bar{y}) \quad \rightarrow \quad \text{entonces las coordenadas son: } C_{x,y} = \left( \frac{2b}{3}, \frac{h}{3} \right)$$

El objeto a sensar es la pupila, donde tiene una estructura circular, lo que significa que se va a sacar el centroide de una figura circular, al aplicar la función de centroide ( $centro=t.Centroid;$ ) en el algoritmo me da el cálculo directamente del centroide de la pupila. Al darme la medida del área con la función ( $area1=[t.Area]$ ), con este dato se puede sacar el centroide de la pupila, y así ubicar el centro de la pupila y realizar el movimiento del cursor. El punto del centroide de la pupila que tiene estructura de circular se lo ubica con el siguiente punto:

$$C_{x,y} = \left( \frac{D}{2}, \frac{D}{2} \right)$$

### **2.5.3 Algoritmo del prototipo del SEETPDMS**

Para desarrollar la programación del prototipo del SEETPDMS, se basó principalmente en uno, el algoritmo de *Viola-Jones*, este algoritmo permite realizar la detección en tiempo real de rostros, admite un gran avance dentro de los algoritmos de detección por su gran rapidez, y porque la clasificación que realiza mediante características en vez de píxel a píxel. Este algoritmo se puede visualizar en el *anexo A*. En el desarrollo del algoritmo del prototipo se tomó fragmentos del algoritmo de *Viola-Jones*, para mejor visualización se lo describe a continuación:



## CAPITULO III

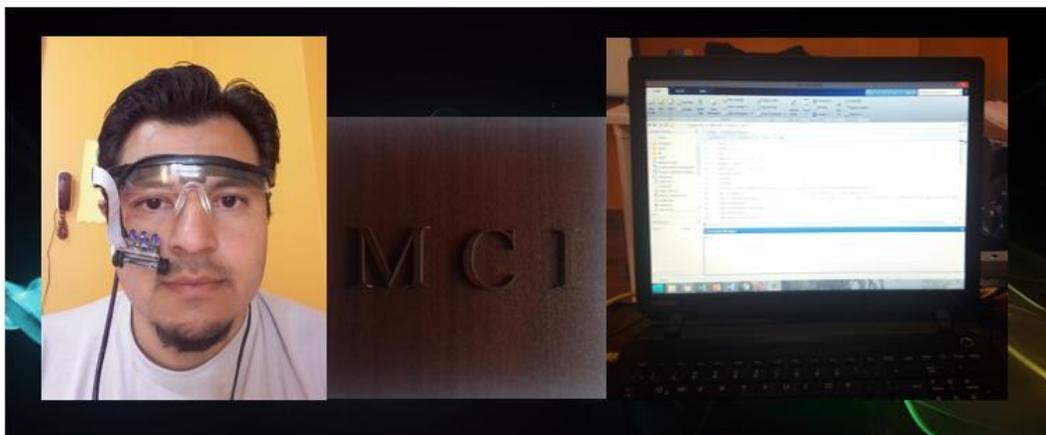
### 3 EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO SEETPDMS

#### 3.1 Introducción

En el siguiente capítulo se ostenta los resultados obtenidos en las diferentes pruebas ejecutadas al prototipo del SEETPDMS. Para la evaluación del prototipo se la realizó integrando el hardware y software diseñado con todas las características explicadas en los anteriores capítulos. La respuesta del módulo se caracterizó en función de los requerimientos del proyecto, para lo cual se realizaron pruebas de funcionamiento que corroboraron los valores de los datos obtenidos capturados por la cámara *raspicam* y su margen errores, así como la verificación de la correcta comunicación entre los distintos módulos del SEETPDMS. La evaluación del prototipo consta con la interacción del usuario y el prototipo, realizando pruebas ya ejecutando el prototipo en tiempo real manipulado todas las funciones planteadas establecidas y como elemento de evaluación final se integra el análisis de costos de la implementación del prototipo desarrollado.

#### 3.2 Representación del prototipo embebido desarrollado

En el grafico 1-3 muestra cómo se trabaja con el prototipo, ejecutando el algoritmo desde el computador, para procesar los datos obtenidos desde la cámara *raspicam* que se encuentra en el soporte construido con unas gafas normales, para mejorar la captura de movimiento de la pupila se adaptó un circuito de diodos infrarrojos y eliminar el reflejo de la luz externa, así también pueda sensar la pupila en un ambiente de luz muy baja.



**Grafico 1-3 Diagrama del prototipo SEETPDMS**

Fuente: Cristhian Pardo 2016.

### 3.3 Desarrollo de pruebas del prototipo SEETPDMS Software-Hardware

A continuación se detalla cada una de las pruebas que se va a realizar al prototipo para comprobar que los objetivos establecidos sean cumplidos y los resultados sean los esperados. Para ello se tomó 5 tipos de validaciones del prototipo, con cada validación se realizó 20 pruebas tomadas al azar, el número de pruebas de cada sección se escogió determinando la evaluación que se ha hecho a prototipos semejantes realizados. Además el número de pruebas escogido es alto para tener resultados más precisos y el porcentaje de validación del prototipo sea alto.

#### 3.3.1 Experimento de validación del movimiento del cursor hacia arriba

La tabla 1-3, describe las pruebas de validación del movimiento del cursor hacia arriba que se le realizó a uno de los 10 usuarios, se valida la efectividad que tiene el movimiento de la pupila con el cursor. En la tabla se verifica el posicionamiento del cursor sobre el icono como “1” y fuera del icono como “0”. Esto simplifica la redundancia en la explicación de la tabla, es decir, si esta sobre el icono o no.

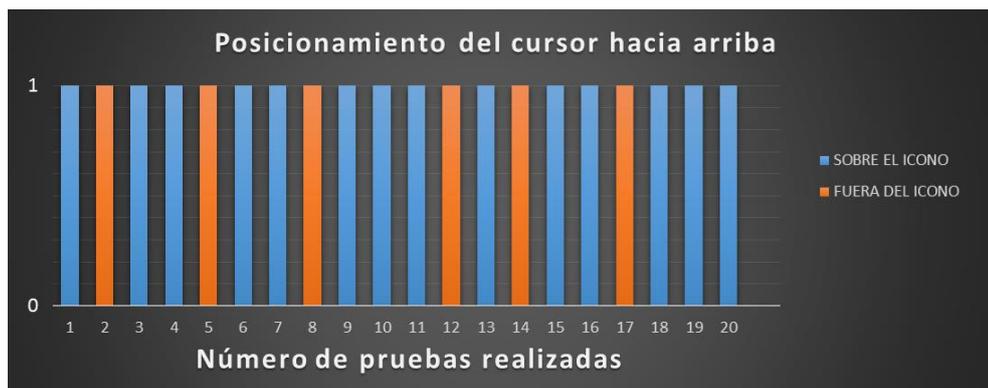
Tabla 1-3: Movimiento del cursor hacia arriba.

PRUEBA N°	SOBRE EL ICONO	FUERA DEL ICONO
1	1	0
2	0	1
3	1	0
4	1	0
5	0	1
6	1	0
7	1	0
8	0	1
9	1	0
10	1	0
11	1	0
12	0	1
13	1	0
14	0	1
15	1	0
16	1	0
17	0	1
18	1	0
19	1	0
20	1	0
	TOTAL = 14	TOTAL = 6

Realizado por: Cristhian Pardo 2016.

En los resultados de la tabla tenemos que al usuario se le realizó las pruebas un total de 20 pruebas, 14 de ellas fueron exitosas, esto quiere decir que la efectividad del movimiento del cursor es de un 70%. El cursor se posicionó sobre el icono dando lugar a poder ejecutar el doble clic y abrir el archivo. Pero también encontramos 6 pruebas que no se posicionó el cursor sobre el icono, quiere decir que tuvo un 30% de falla en las pruebas establecidas, lo que no abrirá el mismo.

En el gráfico 2-3, se muestra el histograma del experimento realizado al usuario, de las 20 pruebas realizadas del movimiento del cursor hacia arriba, indicando en cada prueba si se ubicó sobre el icono o no.



**Gráfico 2-3 Posicionamiento del cursor hacia arriba**

Fuente: Cristhian Pardo 2016.

### 3.3.2 Pruebas de validación del movimiento del cursor hacia abajo

La tabla 2-3, describe las pruebas de validación del movimiento del cursor hacia abajo realizadas al mismo usuario, se valida la afectividad que tiene el movimiento de la pupila con el cursor. En la tabla se verifica el posicionamiento del cursor sobre el icono como “1” y fuera del icono como “0”.

Tabla 2-3: Movimiento del cursor hacia abajo.

PRUEBA N°	SOBRE EL ICONO	FUERA DEL ICONO
1	0	1
2	1	0
3	1	0
4	0	1
5	0	1
6	1	0
7	0	1
8	0	1
9	1	0
10	0	1
11	0	1
12	0	1
13	1	0
14	0	1
15	1	0
16	1	0
17	0	1
18	1	0
19	0	1
20	0	1
	TOTAL = 8	TOTAL = 12

Realizado por: Cristhian Pardo 2016.

La tabla manifiesta que en total de 20 pruebas realizadas al usuario, 8 de ellas fueron exitosas, esto quiere decir que la efectividad del movimiento del cursor es de un 40%. El cursor se posiciono sobre el icono dando lugar a poder ejecutar el doble clic y abrir el archivo. Pero también encontramos que hay pruebas que no se posicionó el cursor sobre el icono que son 12, obteniendo un 60% de falla en las 20 pruebas establecidas, lo que significa que al mirar hacia abajo hay una inestabilidad a la precisión del movimiento del cursor lo que no permite detectar el movimiento de la pupila en su totalidad y no posicionarse sobre el icono. En el grafico 3-3, se muestra el histograma del experimento realizado al usuario, de las 20 pruebas realizadas del movimiento del cursor hacia abajo, indicando en cada prueba si se posicionó sobre el icono o no.



**Grafico 3-3 Posicionamiento del cursor hacia abajo**

Fuente: Cristhian Pardo 2016.

### 3.3.3 Pruebas de validación del movimiento del cursor hacia la derecha

La tabla 3-3, describe las pruebas de validación del movimiento del cursor hacia la derecha realizadas a uno de los 10 usuarios, se valida la efectividad de posicionamiento que tiene el cursor sobre el icono. En la tabla se describe si el cursor esta sobre el icono como “1” y fuera del icono como “0”. Esto simplifica los detalles de posicionamiento del cursor, si esta sobre el icono o no.

Tabla 3-3: Movimiento del cursor hacia la derecha.

PRUEBA N°	SOBRE EL ICONO	FUERA DEL ICONO
1	0	1
2	1	0
3	1	0
4	0	1
5	0	1
6	1	0
7	0	1
8	0	1
9	1	0
10	0	1
11	1	0
12	0	1
13	1	0
14	0	1
15	1	0
16	1	0
17	0	1
18	1	0
19	0	1
20	1	0
	TOTAL = 10	TOTAL = 10

Realizado por: Cristhian Pardo 2016.

La tabla anterior manifiesta que el total de 20 pruebas efectuadas al usuario, 10 de ellas fueron exitosas, esto quiere decir que la efectividad del movimiento del cursor es un 50%. El cursor se posiciono sobre el icono dando lugar a poder ejecutar el doble clic y abrir el archivo. Pero también encontramos que hay pruebas que no se posiciono el cursor sobre el icono que son 10, quiere decir que tuvo un 50% de falla en las 20 pruebas establecidas, lo que significa que al mirar hacia la derecha hay un 50% inestabilidad a la precisión del movimiento del cursor lo que no permite detectar el movimiento de la pupila en su totalidad y no posicionarse sobre el archivo. En el grafico 4-3, se muestra el histograma del experimento realizado al usuario, de las 20 pruebas realizadas del movimiento del cursor hacia la derecha, indicando en cada prueba si se posicionó sobre el icono o no.



**Grafico 4-3 Posicionamiento del cursor hacia la derecha**

Fuente: Cristhian Pardo 2016.

### 3.3.4 Pruebas de validación del movimiento del cursor hacia la izquierda

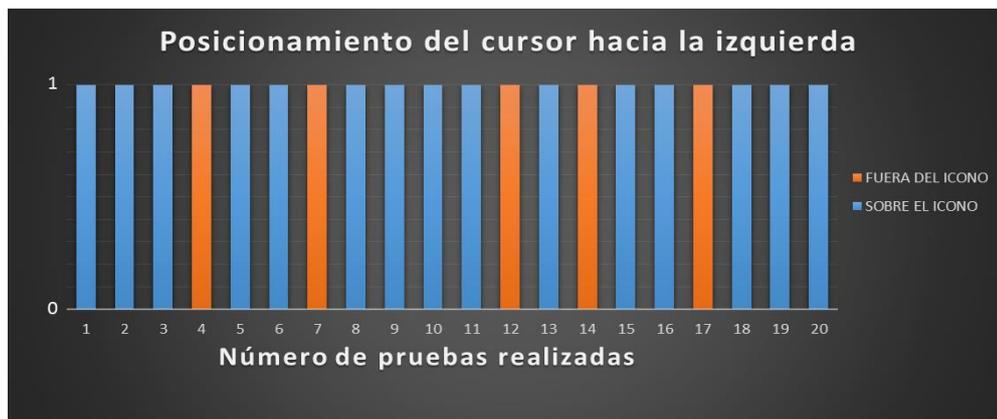
La tabla 4-3, describe las pruebas de validación del movimiento del cursor hacia la izquierda que se le realizó a uno de los 10 usuarios, se valida la afectividad de posicionamiento del cursor hasta el archivo. En la tabla se verifica el posicionamiento del cursor sobre el icono como “1” y fuera del icono como “0”. Esto simplifica que si el cursor está posicionado sobre el icono o no.

Tabla 4-3: Movimiento del cursor hacia la izquierda.

PRUEBA N°	SOBRE EL ICONO	FUERA DEL ICONO
1	1	0
2	1	0
3	1	0
4	0	1
5	1	0
6	1	0
7	0	1
8	1	0
9	1	0
10	1	0
11	1	0
12	0	1
13	1	0
14	0	1
15	1	0
16	1	0
17	0	1
18	1	0
19	1	0
20	1	0
	TOTAL = 15	TOTAL = 5

Realizado por: Cristhian Pardo 2016.

La tabla manifiesta que en total de 20 pruebas realizadas al usuario, 15 de ellas fueron exitosas, esto quiere decir que la efectividad del movimiento del cursor hacia la izquierda es de un 75%. El cursor se posicionó sobre el icono dando lugar a poder ejecutar el doble clic y abrir el archivo. Pero también encontramos 5 pruebas que no se posicionó el cursor sobre el icono, quiere decir que tuvo un 25% de falla en las 20 pruebas establecidas, lo que significa que al mirar hacia izquierda hay una inestabilidad muy baja a la precisión del movimiento del cursor, hay una efectividad muy alta en esta prueba. En el grafico 5-3, se muestra el histograma del experimento realizado al usuario, de las 20 pruebas realizadas del movimiento del cursor hacia la izquierda, indicando en cada prueba si se posicionó sobre el icono o no.



**Grafico 5-3 Posicionamiento del cursor hacia la izquierda**

Fuente: Cristhian Pardo 2016.

En la tabla 5-3, realizamos el cálculo de promedio del Usuario 1, los valores que se van a tomar para la tabla general del promedio de los 10 usuarios son los que están resaltados en negrita, cursiva y de color naranja. Este promedio incluye los 4 movimientos del cursor, que al final solo obtenemos el promedio de validación en cantidad y porcentaje. De cada usuario se sacó el promedio de los 4 movimientos para colocarlos en la tabla general que se describe más adelante.

Tabla 5-3: Promedio de posicionamiento del cursor del Usuario 1.

PROMEDIO DE POSICIONAMIENTO DEL CURSOR SOBRE EL ICONO						
DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO					PROMEDIO	
POSICIÓN	Arriba	Abajo	Derecha	Izquierda	<i>Cantidad</i>	<i>Porcentaje</i>
<b>Sobre el icono</b>	14	8	10	12	<b>12</b>	<b>60%</b>
<b>Fuera del icono</b>	6	12	10	8	<b>8</b>	<b>40%</b>
<b>Total pruebas</b>	20	20	20	20	<b>20</b>	<b>100%</b>

Realizado por: Cristhian Pardo 2016.

### 3.3.5 Promedio de posicionamiento del cursor sobre el icono

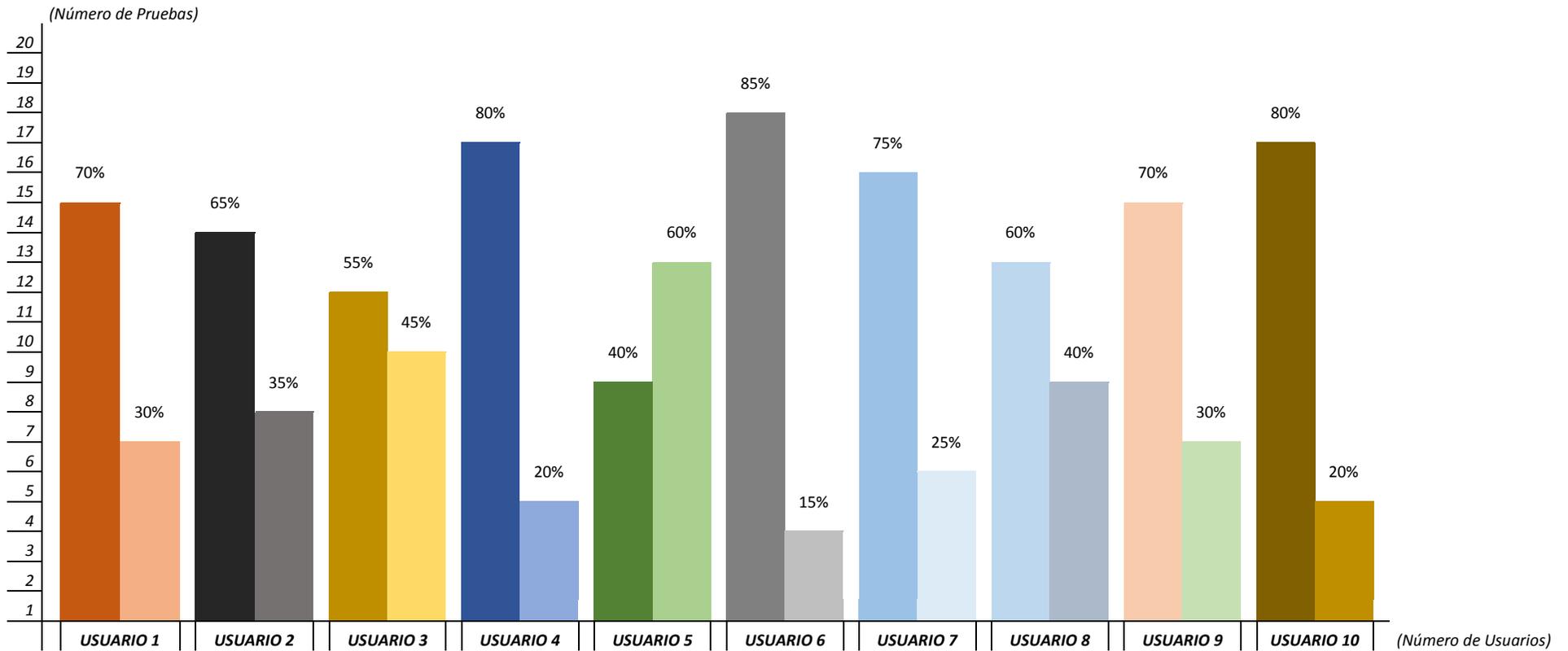
Para la validación del prototipo de SEETPDMS, se realizó 10 experimentos, lo que quiere decir que se tomó como cada experimento un usuario diferente al azar de los 10 propuestos, de los cuales a cada uno se evaluó utilizando el prototipo. De los 10 usuarios a cada uno se le realizó 20 pruebas como se describió anteriormente en las tablas del posicionamiento en el eje “X” y en el eje “Y”. Anteriormente se ejecutó un experimento tomando un usuario al azar de los que se planteó, este experimento se lo realizo como ejemplo individual, ya que los 9 faltantes tendrá la misma estructura. De ahí que se hizo un promedio de los 10 experimentos realizados, estos se describen en la tabla 6-3, detallando la cantidad de pruebas exitosas, no exitosas y los porcentajes de efectividad de cada usuario.

Tabla 6-3: Experimento de posicionamiento del cursor de los 10 Usuarios.

POSICION	USUARIO 1		USUARIO 2		USUARIO 3		USUARIO 4		USUARIO 5		USUARIO 6		USUARIO 7		USUARIO 8		USUARIO 9		USUARIO 10		PROMEDIO DE VALIDACION	
DEL CURSOR	CANT	%	CANT.	%	CANT.	%																
<b>SOBRE EL ICONO</b>	14	70%	13	65%	11	55%	16	80%	8	40%	17	85%	15	75%	12	60%	14	70%	16	80%	<b>14</b>	<b>70%</b>
<b>FUERA DEL ICONO</b>	6	30%	7	35%	9	45%	4	20%	12	60%	3	15%	5	25%	8	40%	6	30%	4	20%	<b>6</b>	<b>30%</b>
<b>TOTAL</b>	20	100%	20	100%	20	100%	20	100%	20	100%	20	100%	20	100%	20	100%	20	100%	20	100%	<b>20</b>	<b>100%</b>

Realizado por: Cristhian Pardo 2016.

En el grafico 6-3, se muestra un histograma de los experimentos realizados a los 10 usuarios, cada uno con su cantidad y porcentaje de validación. Cabe recalcar que son 10 experimentos y a cada experimento se realizaron las 20 pruebas establecidas.



**Grafico 6-3 Experimentos de posicionamiento del cursor de los 10 Usuarios.**

Fuente: Cristhian Pardo 2016.

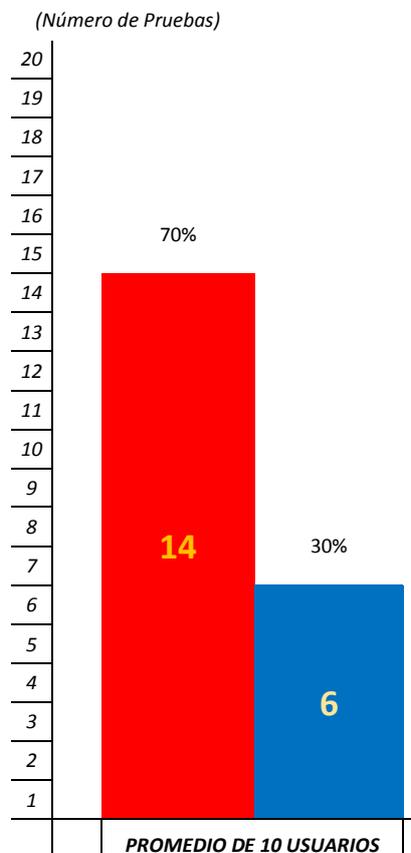
En la tabla 7-3, se detalla el promedio de validación de los experimentos realizados a los 10 usuarios, determinando que esta validación tiene un 70% de éxito en los experimentos realizados.

Tabla 7-3: Promedio de posicionamiento del cursor de los 10 Usuarios.

POSICIÓN DEL CURSOR	PROMEDIO DE VALIDACIÓN DE 10 USUARIOS	
	PROMEDIO DE CANTIDAD	PROMEDIO PORCENTAJE DE VALIDACIÓN
<b>SOBRE EL ICONO</b>	14	70%
<b>FUERA DEL ICONO</b>	6	30%
<b>TOTAL</b>	20	100%

Realizado por: Cristhian Pardo 2016.

En el grafico 7-3, se detalla el promedio de los experimentos realizados a los 10 usuarios, con un 70% de éxito de posicionamiento del cursor sobre el icono y un 30% fuera de él. Esto quiere decir que el prototipo tiene un 70% de aceptación de acuerdo a las pruebas realizadas del posicionamiento del cursor sobre el icono.



**Grafico 7-3 Promedio experimentos de los 10 Usuarios.**

Fuente: Cristhian Pardo 2016.

### 3.3.6 Experimento de validación de retardo del cursor al movimiento de la pupila

Otra validación del prototipo SEETPDMS, será los tiempos de respuesta que tiene el cursor con respecto al movimiento de la pupila. Para ello se realizó 10 experimentos tomando 10 usuarios al azar. Este experimento se realizó 20 pruebas al usuario de referencia, ya que estas mismas pruebas se realizó a los 10 usuario, con ayuda de un cronometro que midió hasta los milisegundos, dando más precisión en la toma de datos. La prueba de validación se interpreta en la tabla 8-3, tomando como referencia los parámetros evaluados anteriormente, como los movimientos, del cursor hacia arriba, hacia abajo, a la izquierda y a la derecha. Esto cuatro parámetros son los que principalmente serán evaluados en el tiempo de respuesta del movimiento que se le hizo al usuario 1 de referencia.

Tabla 8-3: Retardo del cursor al movimiento de la pupila.

PRUEBA N°	TIEMPO 1: MOVIMIENTO CURSOR HACIA ABAJO (Segundos)	TIEMPO 2: MOVIMIENTO CURSOR HACIA ARRIBA (En Segundos)	TIEMPO 3: MOVIMIENTO CURSOR A LA DERECHA (En Segundos)	TIEMPO 4: MOVIMIENTO CURSOR A LA IZQUIERDA (En Segundos)	PROMEDIO MOVIMIENTO LOS 4 TIEMPOS (En Segundos)
1	0,44	0,40	0,49	0,41	0,44
2	0,57	0,49	0,58	0,49	0,53
3	0,66	0,58	0,57	0,58	0,60
4	0,45	0,43	0,39	0,51	0,45
5	0,62	0,29	0,30	0,95	0,54
6	0,75	0,95	0,67	0,57	0,74
7	0,98	0,74	0,69	0,55	0,74
8	0,35	0,65	0,70	0,77	0,62
9	0,67	0,61	0,80	0,43	0,63
10	0,61	0,58	0,42	0,57	0,55
11	0,96	0,25	0,61	0,66	0,62
12	0,78	0,78	0,69	0,99	0,81
13	0,47	0,47	0,81	0,77	0,63
14	0,42	0,36	0,83	0,87	0,62
15	0,32	0,91	0,77	0,95	0,74
16	0,95	0,87	0,67	0,81	0,83
17	0,71	0,81	0,42	0,73	0,67
18	0,49	0,84	0,96	0,67	0,74
19	0,47	0,85	0,95	0,61	0,72
20	0,48	0,78	0,58	0,71	0,64

Realizado por: Cristhian Pardo 2016.

Una vez evaluados los tiempos de respuesta del movimiento del cursor con respecto al movimiento de la pupila, se aprecia que los tiempos no sobrepasan al segundo de tiempo, esto quiere decir que no sobre pasa los milisegundos. Para interpretar mejor estos resultados se hace referencia a cuatro tiempos que son los que se detallan a continuación:

*TIEMPO 1: Movimiento del cursor hacia abajo.*

En la tabla 9-3, se detalla los tiempos de retardo tomados en el movimiento del cursor hacia abajo, cada tiempo le corresponde una prueba realizada, los tiempos están en segundos, tomando en cuenta que no sobrepasa el segundo teniendo un intervalo entre 0,32 y 0,98 segundos.

Tabla 9-3: Movimiento del cursor hacia abajo.

PRUEBA N°	TIEMPO 1: MOVIMIENTO CURSOR HACIA ABAJO (En Segundos)
1	0,44
2	0,57
3	0,66
4	0,45
5	0,62
6	0,75
7	0,98
8	0,35
9	0,67
10	0,61
11	0,96
12	0,78
13	0,47
14	0,42
15	0,32
16	0,95
17	0,71
18	0,49
19	0,47
20	0,48

Realizado por: Cristhian Pardo 2016.

En el grafico 8-3, se hizo un histograma de los tiempos de retardo que hubo entre la pupila y el cursor del usuario de referencia, interpretando mejor los datos tomados.



**Grafico 8-3** Movimiento del cursor hacia abajo de 1 Usuario.

Fuente: Cristhian Pardo 2016.

*TIEMPO 2: Movimiento del cursor hacia arriba.*

En la tabla 10-3, se detalla los tiempos de retardo tomados en el movimiento del cursor hacia arriba, cada tiempo le corresponde una prueba realizada, los tiempos están en segundos, tomando en cuenta que no sobrepasa el segundo teniendo un intervalo entre 0,25 y 0,95 segundos.

Tabla 10-3: Movimiento del cursor hacia arriba.

PRUEBA N°	TIEMPO 2: MOVIMIENTO CURSOR HACIA ARRIBA (En Segundos)
1	0,4
2	0,49
3	0,58
4	0,43
5	0,29
6	0,95
7	0,74
8	0,65
9	0,61
10	0,58
11	0,25
12	0,78
13	0,47
14	0,36
15	0,91
16	0,87
17	0,81
18	0,84
19	0,85
20	0,78

Realizado por: Cristhian Pardo 2016.

En el grafico 9-3, se hizo un histograma de los tiempos de retardo que hubo entre la pupila y el cursor del usuario de referencia, interpretando mejor los datos tomados.



**Grafico 9-3 Movimiento del cursor hacia arriba de 1 Usuario.**

Fuente: Cristhian Pardo 2016.

*TIEMPO 3: Movimiento del cursor hacia derecha.*

En la tabla 11-3, se detalla los tiempos de retardo tomados en el movimiento del cursor hacia la derecha, cada tiempo le corresponde una prueba realizada, los tiempos están en segundos, tomando en cuenta que no sobrepasa el segundo teniendo un intervalo entre 0,30 y 0,96 segundos.

Tabla 11-3: Movimiento del cursor hacia la derecha.

PRUEBA N°	TIEMPO 3: MOVIMIENTO CURSOR A LA DERECHA (En Segundos)
1	0,49
2	0,58
3	0,57
4	0,39
5	0,3
6	0,67
7	0,69
8	0,7
9	0,8
10	0,42
11	0,61
12	0,69
13	0,81
14	0,83
15	0,77
16	0,67
17	0,42
18	0,96
19	0,95
20	0,58

Realizado por: Cristhian Pardo 2016.

En el grafico 10-3, se hizo un histograma de los tiempos de retardo que hubo entre la pupila y el cursor del usuario de referencia, interpretando mejor los datos tomados.



Grafico 10-3 Movimiento del cursor hacia la derecha de 1 Usuario.

Fuente: Cristhian Pardo 2016

*TIEMPO 4: Movimiento del cursor hacia izquierda.*

En la tabla 12-3, se detalla los tiempos de retardo tomados en el movimiento del cursor hacia la izquierda, cada tiempo le corresponde una prueba realizada, los tiempos están en segundos, tomando en cuenta que no sobrepasa el segundo teniendo un intervalo entre 0,41 y 0,99 segundos.

Tabla 12-3: Movimiento del cursor hacia la izquierda.

<b>PRUEBA N°</b>	<b>TIEMPO 4: MOVIMIENTO CURSOR A LA IZQUIERDA (En Segundos)</b>
1	0,41
2	0,49
3	0,58
4	0,51
5	0,95
6	0,57
7	0,55
8	0,77
9	0,43
10	0,57
11	0,66
12	0,99
13	0,77
14	0,87
15	0,95
16	0,81
17	0,73
18	0,67
19	0,61
20	0,71

**Realizado por:** Cristhian Pardo 2016.

En el grafico 11-3, se hizo un histograma de los tiempos de retardo que hubo entre la pupila y el cursor del usuario de referencia, interpretando mejor los datos tomados.



**Gráfico 11-3 Movimiento del cursor hacia la izquierda de 1 Usuario.**

**Fuente:** Cristhian Pardo 2016

Este experimento que se realizó al usuario de referencia, tiene la misma estructura para los demás experimentos de los 9 usuarios que se tomó al azar. Pero como promedio de los 4 tiempos se va a tener uno solo que es el que va a identificar al usuario, esto quiere decir que solo se tuvo un solo tiempo por cada usuario en las 20 pruebas, este tiempo es el retardo del cursor que tiene con respecto al movimiento de la pupila.

En la tabla 13-3, realizamos el cálculo de promedio del Usuario 1, los valores de cada usuario que se van a tomar para la tabla general del promedio de los 10 usuarios son los que están resaltados en negrita, cursiva y de color azul. Este promedio incluye los 4 tiempos de retardo que hay entre el movimiento de la pupila y el cursor y las 20 pruebas que se le realizó a cada experimento. Al final solo obtenemos el número total de las pruebas y el promedio de retardo de las 20 pruebas ejecutadas.

Tabla 13-3: Tiempo promedio del cursor con respecto a la pupila del Usuario 1.

PRUEBA N°	PROMEDIO DE LOS 4 TIEMPOS (En Segundos)
1	0,44
2	0,53
3	0,60
4	0,45
5	0,54
6	0,74
7	0,74
8	0,62
9	0,63
10	0,55
11	0,62
12	0,81
13	0,63
14	0,62
15	0,74
16	0,83
17	0,67
18	0,74
19	0,72
20	0,64

NÚMERO TOTAL DE PRUEBAS	PROMEDIO RETARDO DE LAS 20 PRUEBAS USUARIO 1 (En Segundos)
20	0,64

Realizado por: Cristhian Pardo 2016.

En el grafico 12-3, se describe en un histograma el promedio de los 4 tiempos de retardo que existe entre el movimiento de la pupila y el cursor.



Grafico 12-3 Promedio de retardo con los 4 tiempos del Usuario 1.

Fuente: Cristhian Pardo 2016

### 3.3.7 Promedio de retardo del movimiento del cursor con respecto a la pupila

Para la validación del prototipo de SEETPDMS, se realizó 10 experimentos, lo que quiere decir, que se tomó como cada experimento un usuario diferente al azar de los 10 propuestos, de los cuales a cada uno se evaluó utilizando el prototipo. De los 10 usuarios a cada uno se le realizó 20 pruebas como se describió anteriormente en las tablas de retardo del movimiento del cursor con respecto a la pupila, tanto en el eje “X” como en el eje “Y”. Anteriormente se ejecutó un experimento tomando un usuario al azar del número que se planteó, este experimento se lo realizó como ejemplo individual, ya que los 9 faltantes tendrá la misma estructura y características. Realizando los 10 experimentos exitosamente, estos se describen en la tabla 14-3, detallando a los 10 usuarios y el promedio del tiempo entre los 4 tiempos de retardo que hay en el movimiento del cursor con respecto a la pupila y las 20 pruebas que se le realizaron a cada uno de los usuarios.

Tabla 14-3: Tiempo de retardo de los 10 Usuarios.

<b>USUARIO</b>	<b>PROMEDIO RETARDO DE LOS 4 TIEMPOS Y LAS 20 PRUEBAS (En Segundos)</b>
1	0,64
2	0,35
3	0,49
4	0,41
5	0,68
6	0,29
7	0,49
8	0,56
9	0,75
10	0,36

Realizado por: Cristhian Pardo 2016.

En el grafico 13-3, describe los 10 experimentos que se realizó a los 10 usuarios y el tiempo promedio que se demoró en moverse el cursor luego de mover la pupila.



**Grafico 13-3 Promedio de tiempo de retardo pupila- cursor de los 10 Usuarios.**

Fuente: Cristhian Pardo 2016

Para Determinar el tiempo general de retardo del movimiento del cursor con respecto a la pupila, se realizó el cálculo del promedio de los experimentos realizados a los 10 usuarios, donde como resultado **0.50 segundos**, un solo tiempo de retardo entre las pruebas de los 10 usuarios, el cual se describe en la tabla 15-3.

Tabla 15-3: Promedio de tiempo de retardo de los 10 Usuarios.

NÚMERO TOTAL DE USUARIOS	PROMEDIO TIEMPO DE RETARDO DE LOS 10 USUARIOS (En Segundos)
<b>10</b>	<b>0,50</b>

Realizado por: Cristhian Pardo 2016.

### **3.4 Análisis de resultados de la pruebas de validación del SEETPDMS**

Una vez hecho los experimentos a los 10 usuarios se llega a la conclusión que el promedio de validación del prototipo tiene un **70% de éxito**, sobre las pruebas de posicionamiento del cursor sobre el icono, esto se determinó en la tabla 7-3. También se visualiza en el gráfico 6-3, el éxito que tiene la validación del prototipo con sus 20 pruebas correspondiente.

También se determinó el tiempo general de retardo del movimiento del cursor con respecto a la pupila, realizando el cálculo del promedio de los experimentos a los 10 usuarios, dando como resultado **0.50 segundos**, este tiempo nos determina que el cursor después de moverse la pupila tarda en medio segundo en moverse. Este resultado se detalla en la tabla 15-3.

Las pruebas realizadas al prototipo fueron de mucha satisfacción ya que también los módulos pasaron por las distintas pruebas exitosamente, la cámara RaspiCam tuvo mucha relevancia en el prototipo, esta se encarga de hacer la captura de los datos, de aquí su importancia que depende que el algoritmo se ejecute con perfectamente. Como los módulos tienen la comunicación mediante *WI-FI*, es decir los datos se van a transmitir inalámbricamente, por lo que llevan baterías recargables, estas fueron sometidas a pruebas de durabilidad y los resultados fueron muy satisfactorios por que en teoría las baterías duran alrededor de 2 horas y media, pero ya en las pruebas físicas tuvieron una duración de hasta 8 horas en trabajo continuo, lo cual permite el funcionamiento prolongado del prototipo.

De acuerdo a las pruebas que se efectuaron de validación a los 10 usuarios y las pruebas del software-hardware se llega a la conclusión que el prototipo desarrollado del SEETPDMS cumple con los objetivos planteados y su perfecta funcionabilidad.

### 3.5 Análisis económico del prototipo SEETPDMS

El prototipo de SEETPDMS presenta un análisis económico del desarrollo de la implementación como se lo muestra en la tabla 16-3, con elementos adquiridos en el país. Este análisis detalla todos y cada uno de los elementos y materiales utilizados en el desarrollo del prototipo.

Tabla 16-3: Componentes y costos de cada elemento que integran el prototipo.

MÓDULOS DEL SEETPDMS	COMPONENTES	CANTIDAD	COSTO (USD)
M.A.D	Raspberry Pi 2	1	80,00
	RaspiCam	1	90,00
	Adaptación diodos infrarrojos	1	10,00
	Batería de 2Amperios	1	15,00
	Soporte Raspicam	1	6,00
	Cable de Comunicación Raspicam-Raspberry PI 2	1	10,00
	Cable USB-Micro USB	1	3,00
	Estructura del M.A.D	1	7,00
M.P.D	Computador Portátil	1	620,00
M.C.I	Nano Router Tp-Link	1	26,00
	Batería de 2 Amperios	1	15,00
	Cable USB-Micro USB	1	3,00
	Estructura del M.C.I	1	7,00
<b>COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO SEETPDMS</b>			<b>892,00</b>

Realizado por: Cristhian Pardo 2016.

La tabla 16-3 se detalla el listado de los componentes y los costos de cada uno de ellos con su correspondiente módulo que integran el prototipo del SEETPDMS. El cálculo establecido de acuerdo al valor de cada elemento da un costo total del prototipo de 892,00 dólares americanos.

## CONCLUSIONES

- En este trabajo de titulación se desarrolló un sistema embebido de “eye tracking” para que las personas con discapacidades motrices superiores tengan acceso a la información de documentos.
- Una vez analizados los distintos sistemas de eye tracking que existen se llegó a la necesidad de desarrollar una plataforma embebida para mejorar la vida de las personas con discapacidades motrices superiores, siendo integral, versátil y de bajo costo.
- De los algoritmos encontrados para el seguimiento ocular se basó en *Viola-Jones*, es más preciso para la detección de objetos, se realizó modificaciones para adaptarlo a nuestro prototipo y así dar su adecuada función.
- Para iniciar con el desarrollo del prototipo, se diseñó la estructura del mismo, para recopilar los requerimientos tanto en hardware como software, integrando componentes de *hardware* y *software* cuya disponibilidad en el país y su bajo costo.
- En la implementación del prototipo el *software* desarrollado se adapta a las necesidades, permitiendo la ejecución en tiempo real de los componentes oculares utilizados, se lo implementó en el entorno de *MATLAB R2014A*, que permitió flexibilidad en la programación.
- La plataforma del proyecto tiene como elemento principal el módulo de adquisición de datos, que captura los datos por medio de la cámara *RASPICAM* y la tarjeta *RASPBERRY PI 2* y luego ser procesados, siendo compatibles al tener sus propias librerías para su correcto funcionamiento, de ahí que se utilizó estos 2 componentes principales para el diseño de la plataforma.
- Luego de realizar las distintas pruebas de validación del prototipo implementado de un SEETPDMS a los 10 usuarios al azar, se llegó a la conclusión que es una herramienta de ayuda para personas con discapacidades motrices superiores proporcionando acceso a documentos, tener una continua educación y una vida más confiable sobre su entorno donde no se sientan frustrados por sus limitaciones.

## RECOMENDACIONES

- Actualizar el desarrollo del prototipo utilizando el nuevo modelo de raspberry pi, del modelo 2 al modelo 3, por sus mejoras en sus características como la capacidad de procesamiento lo que influirá en la rapidez en los tiempos de respuesta y la incorporación de nuevas prestaciones al sistema.
- Realizar pruebas con baterías portátiles de mayor capacidad de entrega de energía ya que eso nos determinará un mayor tiempo de uso y mejoras en los resultados que presenta el prototipo.
- Investigar otras alternativas de programación para desarrollar el algoritmo propuesto para mejorar la respuesta de los tiempos del prototipo y haya una mejora en la funcionabilidad del mismo.
- Optimizar el filtro de reconocimiento del movimiento ocular para excluir áreas que interfieran en el sensado del ojo en movimiento, ya que el grado de dificultad de procesamiento de imágenes dinámicas es alto.
- Mejorar el prototipo de SEETPDMS para facilidad de manipulación del usuario y que en lo posible comercialización en pos de presentar una solución óptima a un costo mucho más bajo acorde a las necesidades de nuestro entorno económico.

## **GLOSARIO**

<b>EYE TRACKING</b>	Seguimiento Ocular
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>CONADIS</b>	Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades
<b>ETHERNET</b>	Estándar de redes de área local
<b>I.A</b>	Inteligencia Artificial
<b>HARDWARE</b>	Parte física de un sistema embebido
<b>SOFTWARE</b>	Parte intangible de un sistema embebido
<b>CASE</b>	Congreso Argentino de Sistemas Embebidos
<b>PPM</b>	Posición Primaria de la Mirada
<b>ON</b>	Posición de encendido
<b>OFF</b>	Posición de Apagado
<b>EOG</b>	Electro Ocolograma
<b>MIDRIASIS</b>	Dilatación anormal de la pupila con inmovilidad del iris
<b>MIOSIS</b>	Contracción anormal permanente de la pupila del ojo
<b>EYE TRACKER</b>	Dispositivo para el seguimiento ocular
<b>IPO</b>	Interacción Persona Computador
<b>VHDL</b>	Lenguaje de descripción de hardware
<b>USB</b>	Bus Serial Universal
<b>SD</b>	Seguridad Digital
<b>RAM</b>	Memoria de acceso aleatorio
<b>RSPICAM</b>	Cámara de tarjeta raspberry Pi
<b>MAD</b>	Módulo de adquisición de datos
<b>MPD</b>	Módulo de procesamiento de datos
<b>MCI</b>	Módulo de comunicación inalámbrico
<b>HDMI</b>	Interfaz multimedia de alta definición
<b>CABLE FLEX</b>	Cinta flexible, hecha de plata y aleaciones de aluminio
<b>WATTS</b>	Unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamiento Global
<b>FAT32</b>	Sistema de archivos desarrollado para MS-DOS de Windows
<b>CD</b>	Corriente directa
<b>CA</b>	Corriente alterna
<b>SSH</b>	Protocolo que facilita las comunicaciones seguras
<b>IP</b>	Protocolo de internet
<b>SEETPDMS</b>	Sistema Embebido Eye Tracking para Personas con Discapacidades Motrices Superiores

## BIBLIOGRAFÍA

1. **AYALA, D. G.** *Los sistemas inteligentes el futuro que nos alcanzó.* [En línea]. (18 de Septiembre de 2015). [Consulta: 12 marzo 2016]. Disponible en:  
<http://blog.udlap.mx/blog/2015/09/lossistemasinteligenteselfuturonosalcanzo/>
2. **CASTILLO ROBLEDO, V.** *Los sistemas embebidos y su importancia en la actualidad.* [En línea]. (2014). [Consulta: 10 abril 2016]. Disponible en:  
<https://licuadodeletras5.wordpress.com/los-sistemas-embebidos-y-su-importancia-en-la-actualidad/>
3. **CLINICA VISUAL DEL CENTRO.** *Acerca del ojo.* [en línea]. (2014). [Consulta: 12 abril 2016]. Disponible en: <http://www.clinicavisualdelcentro.com.mx/salud-visual/acerca-del-ojo/>
4. **CORREA, P. I.** *Sistemas Embebidos.* [en línea]. (11 de 2015). [Consulta: 14 abril 2016]. Disponible en: <http://itm201511.webnode.es/arquitectura-de-computadores/sistemas-embebidos/>
5. **CRUZ GARCIA, F.** *Construye un equipo de seguimiento visual.* [en línea]. (2011). [Consulta: 16 abril 2016] Disponible en:  
<https://atenpr.wordpress.com/2011/06/09/construye-un-equipo-de-seguimiento-visual-eye-tracking-a-bajo-costo-por-menos-de-60-dolares-us/>
6. **DEMERCÉAU, J.** *Características tarjetas micro velocidad clase 4.* [en línea]. (10 de Febrero de 2014). [Consulta: 17 abril 2016]. Disponible en:  
[http://www.ehowenespanol.com/caracteristicas-tarjetas-micro-velocidad-clase-4-info\\_201340/](http://www.ehowenespanol.com/caracteristicas-tarjetas-micro-velocidad-clase-4-info_201340/)
7. **DOUTEL, F. P.** *Probamos la nueva raspberry pi 2.* [en línea]. (10 de Febrero de 2015). [Consulta: 17 abril 2016]. Disponible en: <http://www.xatakahome.com/trucos-y-bricolaje-smart/probamos-la-nueva-raspberry-pi-2-a-fondo>
8. **ESCRIBANO CADENA, Y.** *Movilidad Ocular - Estrabismo.* [en línea]. (14 de Septiembre de 2013). [Consulta: 18 abril 2016]. Disponible en:  
<http://es.slideshare.net/YaliEscribanoCadena/movilidad-ocular-estrabismo>

9. **ESTRATEGIAS PNL.** *Movimientos Oculares*. [en línea]. (2006). [Consulta: 20 abril 2016]. Disponible en: <http://estrategiaspnl.com/movimientos-oculares-2/>
10. **FÉLIX.** *Introducción al eye tracking*. [en línea]. (29 de Mayo de 2014). [Consulta: 20 abril 2016]. Disponible en: <http://www.ingenieroinformatico.org/2012/09/introduccion-al-eyetracking/>
11. **FLORES, D.** *Visual Studio 2012*. [en línea]. (07 de Abril de 2014). [Consulta: 30 abril 2016]. Disponible en: [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/vstudio/kx37x362\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/vstudio/kx37x362(v=vs.110).aspx)
12. **GARCÍA, A. F.** *La Máquina Virtual Java*. [en línea]. (Enero de 2000). [Consulta: 10 mayo 2016]. Disponible en: [http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cursoJava/fundamentos/introduccion/virtual.htm#La Máquina Virtual Java](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cursoJava/fundamentos/introduccion/virtual.htm#LaMáquinaVirtualJava)
13. **GARCIA, L. M.** *Que es Open CV*. [en línea]. (9 de Octubre de 2013). [Consulta: 15 mayo 2016]. Disponible en: <https://unpocodejava.wordpress.com/2013/10/09/que-es-opencv/>
14. **GARCIA, R.** *Eficacia visual - Movimientos oculares*. [en línea]. (6 de Abril de 2010). [Consulta: 20 mayo 2016]. Disponible en: <http://rosavision.blogspot.com/2010/04/eficacia-visual-movimientos-oculares.html>
15. **HASSAN MONTERO, Y.** *Eye Tracking*. [en línea]. (28 de Octubre de 2007). [Consulta: 28 mayo 016]. Disponible en: <http://www.nosolousabilidad.com/articulos/eye-tracking.htm>
16. **HASSAN MONTERO, Y., & HERRERO SOLANA, V.** *Eye-Tracking*. [en línea]. (28 de Octubre de 2007). [Consulta: 30 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.nosolousabilidad.com/articulos/eye-tracking.htm>
17. **HIDALGO CÓRDOVA, Sonia Esperanza & GALARZA TORRES, Marcela Alexandra.** Propuesta de turismo accesible para discapacitados visuales aplicado al museo y parque arqueológico Pumapungo del Banco Central del Ecuador en la ciudad de Cuenca. [en línea]. (tesis). (Ingeniería). Universidad de Cuenca, Ecuador. 2011. pp 1-15. [Consulta: 1 junio 2016]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/1719>

18. **HUGUITO.** *Call of Duty Córdoba*. [en línea]. (25 de Octubre de 2007). [Consulta: 10 junio 2016]. Disponible en: <http://callofdutywaw.foroactivo.com/t306-calculo-de-duracion-y-carga-en-baterias-recargables-mah>
  
19. **CUIDADO INFANTIL.** Que es la discapacidad motora. [en línea]. (2008). [Consulta: 12 junio 2016]. Disponible en: <http://cuidadoinfantil.net/¿que-es-la-discapacidad-motora.html>
  
20. **LACORT, J.** *Raspberry Pi B*. [en línea]. (14 de Julio de 2014). [Consulta: 19 junio 2016]. Disponible en: <http://hipertextual.com/2014/07/raspberry-pi-b>
  
21. **LARA, S.** *Evolución de los Sistemas Inteligentes*. [en línea]. (19 de Septiembre del 2014). [Consulta: 25 junio 2016]. Disponible en: <https://prezi.com/zpig0cdrf8aa/evolucion-de-los-sistemas-inteligentes/>
  
22. **MALDONADO IBARRA, Galo. Eduardo.** Automatización de un ascensor para discapacitados del mirador del Parque Guayaquil (Parque infantil) de la ciudad de Riobamba. [en línea]. (tesis). (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2014. pp. 37-40. [Consulta: 26 junio 2016]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3345>
  
23. **MATLAB.** *MATWORK*. [en línea]. (1994). [Consulta: 27 junio 2016]. Disponible en: [http://es.mathworks.com/products/matlab/index.html?s\\_tid=gn\\_loc\\_drop](http://es.mathworks.com/products/matlab/index.html?s_tid=gn_loc_drop)
  
24. **MICROSOFT.** *Microsoft C++*. [en línea]. (19 de Mayo de 2010). [Consulta: 10 julio 2016]. Disponible en: <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=8279>
  
25. **MONGE, S.** *Eye Tracking*. [en línea]. (2009). [Consulta: 15 julio 2016]. Disponible en: <http://neuromarca.com/neuromarketing/eye-tracking/>
  
26. **DIARIO LA HORA.** *Accidentes Viales en Ecuador*. [en línea]. Ecuador (18 de Agosto de 2013). [Consulta: 20 julio 2016]. Disponible en: [http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101550350/-1/Accidentes\\_viales\\_en\\_Ecuador\\_son\\_la\\_tercera\\_causa\\_de\\_discapacidad.html#.V1cSdCFX\\_cc](http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101550350/-1/Accidentes_viales_en_Ecuador_son_la_tercera_causa_de_discapacidad.html#.V1cSdCFX_cc)

27. **PASTOR, J.** *Conectar una cámara a tu Raspberry Pi*. [en línea]. (15 de Mayo de 2013). [Consulta: 25 julio 2016]. Disponible en: <http://www.xataka.com/makers/ya-puedes-conectar-una-camara-a-tu-raspberry-pi>
28. **PERES LOPEZ, M.** *Programas accesibles software para personas discapacidad desarrollado Chile*. [en línea]. (09 de Junio de 2011). [Consulta: 29 julio 2016]. Disponible en: <http://www.discapacidadonline.com/programas-accesibles-software-para-personas-discapacidad-desarrollado-chile.html>
29. **PONS, C.** *Laboratorio de Sinapsis*. [en línea]. (2013). [Consulta: 10 Agosto 2016]. Disponible en: [http://sinapsislab.com/?page\\_id=7154](http://sinapsislab.com/?page_id=7154)
30. **RED IRIS.** *Estructura del Ojo*. [en línea]. (12 de Noviembre de 2008). [Consulta: 15 agosto 2016]. Disponible en: <https://www.rediris.es/cert/doc/unixsec/node14.html#SECTION05544000000000000000>
31. **RIVAS LEONE, J. A.** *Avances y Aplicaciones de Sistemas Inteligentes*. [en línea]. (21 de Abril de 2016). [Consulta: 20 agosto 2016]. Disponible en: <http://www.analitica.com/opinion/avances-y-aplicaciones-de-sistemas-inteligentes/>
32. **ROBLES, I.** *Discapacidad Motora*. [en línea]. (6 de Abril de 2011). [Consulta: 29 agosto 2016]. Disponible en: <https://sites.google.com/a/cetys.net/educacion-especial/discapacidad-motora>
33. **RODRÍGUEZ, D. J.** *Accidentes de trabajo*. [en línea]. (24 de Noviembre de 2005). [Consulta: 1 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.derechoecuador.com/articulos/detalle/archive/doctrinas/derecholaboral/2005/11/24/accidentes-de-trabajo>
34. **SÁNCHEZ, A.** *Tecnología el eye tracking*. [en línea]. (29 de Septiembre de 2016). [Consulta: 10 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.libremercado.com/2016-09-29/la-mirada-magica-de-una-nueva-tecnologia-el-eye-tracking-1276583285/>
35. **SANTIAGO DE CHILE.** *Tecnología del seguimiento ocular*. [en línea]. (2016). [Consulta: 10 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.thinc.cl/index.html>

36. **TICS, B. D.** *Sistemas inteligentes: definición y concepto*. [en línea]. (6 de Noviembre de 2011). [Consulta: 15 octubre 2016]. Disponible en:  
<https://g9tics.wordpress.com/2011/11/06/sistemas-inteligentes-definicion-y-concepto/>
37. **VERACRUZ, S. D.** Difusión Motriz. [en línea]. (12 de junio de 2008). [Consulta: 20 octubre 2016]. Disponible en: <http://eespecial.sev.gob.mx/difusion/motriz.php>
38. **VILLALOBOS ALCARAZ, J.** *Introducción a los Sistemas Inteligentes*. [en línea]. (2015). [Consulta: 29 octubre 2016]. Disponible en: <http://slideplayer.es/slide/5523229/>
39. **ZEOKAT.** *Que es putty y para qué sirve*. [en línea]. (28 de Marzo de 2014). [Consulta: 24 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.vozidea.com/que-es-putty-y-para-que-sirve>

## ANEXOS

- **ANEXO A: Algoritmo de Viola-Jones**

```
clear all
clf('reset');

cam=webcam(); %create webcam object

right=imread('RIGHT.jpg');
left=imread('LEFT.jpg');
noface=imread('no_face.jpg');
straight=imread('STRAIGHT.jpg');

detector = vision.CascadeObjectDetector(); % Create a detector for
face using Viola-Jones

detector1 = vision.CascadeObjectDetector('EyePairSmall'); %create
detector for eyepair

while true % Infinite loop to continuously detect the face

    vid=snapshot(cam); % get a snapshot of webcam
    vid = rgb2gray(vid); % convert to grayscale
    img = flip(vid, 2); % Flips the image horizontally

    bbox = step(detector, img); % Creating bounding box using
detector

    if ~ isempty(bbox) % if face exists
        biggest_box=1;
        for i=1:rank(bbox) % find the biggest face
            if bbox(i,3)>bbox(biggest_box,3)
                biggest_box=i;
            end
        end
        faceImage = imcrop(img,bbox(biggest_box,:)); % extract the
face from the image

        bboxeyes = step(detector1, faceImage); % locations of the
eyepair using detector

        subplot(2,2,1),subimage(img); hold on; % Displays full image
for i=1:size(bbox,1) %draw all the regions that contain
face
            rectangle('position', bbox(i, :), 'lineWidth', 2,
'edgeColor', 'y');
        end

        subplot(2,2,3),subimage(faceImage); %display face image

        if ~ isempty(bboxeyes) %check it eyepair is available

            biggest_box_eyes=1;
            for i=1:rank(bboxeyes) %find the biggest eyepair
                if bboxeyes(i,3)>bboxeyes(biggest_box_eyes,3)
```

```

        biggest_box_eyes=i;
    end
end

bboxeyeshalf=[bboxeyes (biggest_box_eyes,1),bboxeyes (biggest_box_eyes,2
),bboxeyes (biggest_box_eyes,3)/3,bboxeyes (biggest_box_eyes,4)];
%resize the eyepair width in half

    eyesImage = imcrop(faceImage,bboxeyeshalf(1,:));
%extract the half eyepair from the face image
    eyesImage = imadjust(eyesImage);    %adjust contrast

    r = bboxeyeshalf(1,4)/4;
    [centers, radii, metric] = imfindcircles(eyesImage,
[floor(r-r/4) floor(r+r/2)], 'ObjectPolarity','dark', 'Sensitivity',
0.93); % Hough Transform
    [M,I] = sort(radii, 'descend');

    eyesPositions = centers;

    subplot(2,2,2),subimage(eyesImage); hold on;

    viscircles(centers, radii,'EdgeColor','b');

    if ~isempty(centers)
        pupil_x=centers(1);
        disL=abs(0-pupil_x);    %distance from left edge to
center point
        disR=abs(bboxeyes(1,3)/3-pupil_x);%distance from right
edge to center point
        subplot(2,2,4);
        if disL>disR+16
            subimage(right);
        else if disR>disL
            subimage(left);
        else
            subimage(straight);
        end
    end
end
end
else
    subplot(2,2,4);
    subimage(noface);
end
set(gca,'XtickLabel',[],'YtickLabel',[]);

    hold off;
end

```

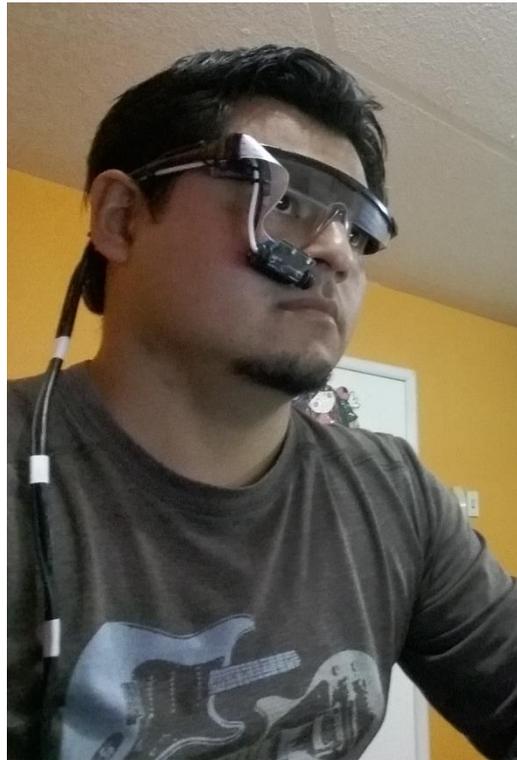
- **ANEXO B: Pruebas de funcionamiento del prototipo SEETPDMS**



- **ANEXO C: Soporte de la cámara RaspiCam**



- **ANEXO D: Adquisición de datos con las RaspiCam**



- **ANEXO E: Estructura interna del M.C.I**



- **ANEXO F: Estructura interna del M.P.D**



- **ANEXO G: Gafas de soporte de la cámara Raspicam**



- **ANEXO H: Pruebas de movimiento del cursor**

