

Universidad de Granada

**DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA Y
TECNOLOGÍA DE COMPUTADORES**



ugr

**Universidad
de Granada**

**Desarrollo y evaluación de ayudas optoelectrónicas para
pacientes de baja visión**

TESIS DOCTORAL

M^a Dolores Peláez Coca

Granada, 2007

Profesor D. Fernando Vargas Martín, Profesor Titular en el Departamento de Física de la Universidad de Murcia, y D. Eduardo Ros Vidal, Profesor Titular en el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada,

CERTIFICAN:

Que la memoria titulada **“Desarrollo y evaluación de ayudas optoelectrónicas para pacientes de baja visión”**, ha sido realizada por Dña. M^a Dolores Peláez coca bajo nuestra dirección en el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada para optar al grado de Doctor por la Universidad de Granada.

Granada, a 15 de Mayo de 2007

Fdo.: Dr. Fernando Vargas Martín

Fdo.: Dr. Eduardo Ros Vidal

Director de la Tesis

Director de la Tesis

Universidad de Granada

**DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA Y
TECNOLOGÍA DE COMPUTADORES**



ugr

**Universidad
de Granada**

**Desarrollo y evaluación de ayudas optoelectrónicas para
pacientes de baja visión**

Memoria presentada por

M^a Dolores Peláez Coca

Para optar al grado de

DOCTOR POR LA UNIVERSIDAD DE GRANADA

Fdo.: M^a Dolores Peláez Coca

A mi familia

En memoria de mis
tíos Miguel y Pepe,
y de mi prima Toñi

Todo mi agradecimiento

A mis directores de tesis Fernando y Eduardo por su tiempo, sus conocimientos y su apoyo.

Deseo agradecer también al Dr. D. Alberto Prieto Espinosa, Director del Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores e Investigador principal del Grupo "Circuitos y Sistemas para el Procesamiento de la Información" (CASIP) por todo el apoyo que se me ha brindado durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Deseo agradecer al Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones de la Universidad de Zaragoza por brindarme la oportunidad de continuar con mi carrera científica y docente, y por acogerme haciéndome sentir como en casa.

A Paloma con todo mi cariño, por su apoyo, guía y tantas horas prestadas para que esta tesis llegara a buen fin.

A Silvestre por estar disponible siempre que lo necesité.

A Antonio Díaz por ayudarme a conseguir mi primera beca de colaboración. Me alegra mucho haber dado mis primeros pasos en la investigación junto a ti.

A Manolo por su imprescindible ayuda y consejos que han hecho posible que hoy pueda trabajar en investigación.

A Luis y Ascensión por ayudarme en la ejecución de la evaluación nocturna y porque fue un placer trabajar con ellos.

A todos los sujetos de experimentación porque sin ellos nada podría haber hecho.

A Sonia por la ayuda prestada en el desarrollo de esta tesis.

A Javi por la ayuda, los consejos y su tiempo, que facilitaron y orientaron mi trabajo.

A las entidades que financiaron este trabajo: Universidad de Murcia, Universidad de Granada, Universidad de Zaragoza, Fundaluce, Instituto de Salud Carlos III y Ministerio de Sanidad.

A toda mi familia, amigos y compañeros de trabajo de Granada, Murcia y Zaragoza, por los momentos inolvidables compartidos durante estos cuatro años.

A mis sobrinos por hacerme sonreír.

A Coca y Fran, por su cariño y por todo lo que hemos compartido y compartiremos.

A Luis por darme serenidad y claridad.

Y especialmente a mi hermana y mi tío Miguel, por lo que ya sabéis, y a mis padres por estar siempre ahí.

ÍNDICE

Índice de figuras.....	VII
Índice de tablas.....	XI
Acrónimos.....	XIII
Glosario.....	XV
Resumen.....	XVII
Abstract.....	XIX
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Contexto y objetivos.....	2
1.3. La visión humana.....	2
1.3.1. Agudeza visual.....	4
1.3.2. Sensibilidad al contraste.....	4
1.3.3. Campo visual.....	5
1.4. ¿Qué es la Baja Visión?.....	6
1.4.1. Restricción severa del campo visual.....	7
1.4.1.1 Retinosis Pigmentaria.....	8
1.4.2. Pérdida de agudeza visual.....	9
1.4.2.1 Degeneración macular relacionada con la edad.....	10
1.5. Ayudas para Baja Visión.....	11
1.5.1. Restricción severa del campo visual.....	12
1.5.2. Pérdida de agudeza visual.....	12
1.6. Conducción en sujetos con baja visión.....	13
1.6.1. Simulador de Conducción.....	13
1.7. Ayuda propuesta en este trabajo.....	14
1.8. Trabajos previos de evaluación de ayudas para Baja Visión.....	16
1.8.1. La movilidad.....	16
1.8.1.1 Movilidad y restricciones visuales simuladas.....	17
1.8.1.2 Estudios de movilidad realizados por otros autores.....	17
1.8.2. Evaluación de ayudas para personas con ceguera nocturna o RP.....	18
1.9. Estructura de la memoria.....	19
Capítulo 2. Material y métodos.....	21
2.1. Introducción.....	21
2.2. Tecnología empleada.....	22

2.2.1. Tecnología empleada en el Simulador de Conducción.....	22
2.2.1.1 Tarjeta capturadora.....	22
2.2.1.2 Sistema seguidor de cabeza o “Head tracker”	22
2.2.1.3 Proyector	23
2.2.2. Tecnología empleada en el desarrollo del SERBA.....	23
2.2.2.1 Dispositivos de procesamiento de imagen en tiempo real.....	23
2.2.2.2 Visor vestibular (“Head Mounted Display”)	25
2.2.2.3 Cámaras.....	26
2.2.3. Tecnología empleada en la evaluación del SERBA	28
2.2.3.1 Autoplot. Campimetrías	28
2.2.3.2 Test ETDRS. Agudeza visual.....	29
2.2.3.3 CSV-1000E. Sensibilidad al contraste	30
2.2.3.4 Visor nocturno.....	31
2.2.3.5 VFQ25.....	32
2.3. Metodología del trabajo realizado.....	32
2.4. Objetivos del trabajo	34

Capítulo 3. Ayudas desarrolladas para Baja Visión37

3.1. Introducción.....	37
3.2. Simulador de Conducción.....	38
3.2.1. Descripción del dispositivo	39
3.2.2. Tipos de transformaciones en la imagen.....	40
3.2.3. Descripción del programa realizado en C++	42
3.2.3.1 Librerías	42
3.2.3.2 Formulario del programa.....	42
3.2.3.3 Utilización de hebras.....	44
3.2.3.4 Descripción del programa	44
3.3. S.E.R.B.A.....	49
3.3.1. Zoom digital	50
3.3.1.1 Descripción del algoritmo	50
3.3.1.2 Configuración del dispositivo	55
3.3.2. Vista Aumentada	55
3.3.2.1 Descripción del algoritmo	56
3.3.2.2 Configuración del dispositivo	57
3.3.3. Realce de contraste	60
3.3.3.1 Descripción del algoritmo	60
3.3.3.2 Configuración del dispositivo	60
3.3.4. Evaluación del SERBA	61

Capítulo 4. Evaluación de los algoritmos de zoom.....63

4.1. Introducción.....	63
4.2. Sujetos.....	64

4.3. Dispositivo	65
4.4. Evaluación.....	65
4.4.1. Prueba DV	65
4.4.1.1 Protocolo prueba DV	67
4.4.2. Prueba DF	67
4.4.2.1 Protocolo prueba DF	69
4.5. Proyector.....	69
4.6. Resultados.....	69
4.6.1. Prueba DV	69
4.6.2. Prueba DF	71
4.7. Discusión.....	73
4.7.1. Prueba DV	74
4.7.2. Prueba DF	74
4.8. Conclusiones.....	76

Capítulo 5. Evaluación del algoritmo de Vista Aumentada77

5.1. Introducción.....	77
5.2. Sujetos.....	78
5.3. Dispositivo.....	79
5.4. Evaluación.....	80
5.4.1. Pruebas optométricas.....	80
5.4.1.1 Campimetría.....	80
5.4.1.2 Agudeza visual.....	81
5.4.1.3 Sensibilidad al contraste.....	82
5.4.2. Prueba de movilidad.....	82
5.4.2.1 Protocolo.....	86
5.4.2.2 Test de valoración subjetiva de la prueba de movilidad.....	88
5.4.3. Pruebas de localización.....	89
5.4.3.1 Descripción de las pruebas de localización.....	92
5.4.3.2 Test de valoración subjetiva de la prueba de localización.....	94
5.4.4. Test de valoración subjetiva del SERBA.....	94
5.5. Resultados.....	97
5.5.1. Pruebas optométricas.....	97
5.5.1.1 Campimetría.....	97
5.5.1.2 Agudeza visual.....	100
5.5.1.3 Sensibilidad al contraste.....	101
5.5.2. Prueba de movilidad.....	103
5.5.2.1 Test de valoración subjetiva de la prueba de movilidad.....	106
5.5.3. Pruebas de localización.....	107
5.5.3.1 Test de valoración subjetiva de la prueba de localización.....	111
5.5.4. Test de valoración subjetiva del SERBA.....	112
5.6. Discusión.....	113
5.6.1. Pruebas optométricas.....	114

5.6.2. Prueba de movilidad	115
5.6.2.1 Test de valoración subjetiva de la prueba de movilidad.....	117
5.6.3. Pruebas de localización.....	117
5.6.4. Test de valoración del SERBA por los sujetos	119
5.7. Conclusiones	120

Capítulo 6. Evaluación nocturna del SERBA.....123

6.1. Introducción	123
6.2. Sujetos.....	124
6.3. Evaluación.....	124
6.3.1. Localización de objetos en un recorrido interior	124
6.3.1.1 Protocolo	126
6.3.1.2 Test de la prueba de localización de objetos en interior.....	128
6.3.2. Localización de objetos en el exterior	129
6.3.2.1 Protocolo	130
6.3.2.2 Test de la prueba de localización de objetos en exterior.....	132
6.3.3. Test de valoración subjetiva del SERBA.....	133
6.3.4. Comparación del SERBA con visores nocturnos	134
6.4. Resultados	135
6.4.1. Localización de objetos en un recorrido interior	135
6.4.1.1 Test de la prueba de localización de objetos en interior.....	138
6.4.2. Localización de objetos en el exterior	140
6.4.2.1 Test de la prueba de localización de objetos en exterior	142
6.4.3. Test de valoración subjetiva del SERBA.....	144
6.4.4. Comparación con visores nocturnos	147
6.5. Discusión.....	148
6.5.1. Localización de objetos en un recorrido interior	149
6.5.1.1 Test de la prueba de localización de objetos en interior.....	150
6.5.2. Localización de objetos en el exterior	151
6.5.2.1 Test de la prueba de localización de objetos en exterior	152
6.5.3. Test de opinión del SERBA.....	152
6.5.4. Comparación con visores nocturnos	153
6.6. Conclusiones	154

Capítulo 7. Modificaciones del SERBA.....155

7.1. Introducción	155
7.2. Implementación del algoritmo de <i>Vista Aumentada</i>	156
7.3. Rango dinámico del umbral de binarización.....	157
7.4. Selección del porcentaje de bordes	158
7.5. Segmentación de los bordes de objetos, en función del color.....	160
7.6. Detección de objetos en movimiento	161
7.6.1. Limitaciones impuestas en la implementación	161

7.6.2. Detección de direcciones de movimiento	163
7.7. Conclusiones	165
Capítulo 8. Conclusiones	167
8.1. Introducción	167
8.2. Marco de investigación	169
8.3. Producción científica y diseminación de resultados	170
8.3.1. Conferencias internacionales:	170
8.3.2. Publicaciones con índice de impacto (SCI):	172
8.4. Aportaciones principales.....	172
8.5. Trabajo futuro	174
8.6. Conclusiones	174
Bibliografía	175
Apéndices	187
Apéndice A.-VFQ-25	189
Sección A: Función visual	189
Dificultad al realizar actividades	190
Preguntas sobre problemas de la vista.....	193
Apéndice B.- Respuestas de los sujetos al test VFQ-25	196
Apéndice C.- Obstáculos de la prueba de movilidad del capítulo 5	197
Apéndice D.- Tablas de los test realizados en la evaluación detallada en el capítulo 5.....	201
Test de valoración subjetiva de la prueba de movilidad	201
Test de valoración subjetiva de la prueba de localización.....	201
Test de valoración subjetiva del SERBA.....	202
Apéndice E.- Tablas de los test realizados en la evaluación detallada en el capítulo 6.....	204
Test de la prueba de localización de objetos en interior	204
Test de la prueba de localización de objetos en exterior	204
Test de valoración subjetiva del SERBA.....	205

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Diagrama de un ojo humano.....	3
Figura 1.2.- Densidad de conos y bastones a lo largo del meridiano horizontal.	3
Figura 1.3.- Tipos de rejillas. (a) Patrón cuadrado; (b) patrón sinusoidal.	5
Figura 1.4.- Sensibilidad al contraste de sujetos con visión normal.....	5
Figura 1.5.- (a) Restricción severa del campo Visual. (b) Pérdida de agudeza visual por escotoma central.	6
Figura 1.6.- Ejemplos de ayudas ópticas: (a) telescopios; (b) telemicroscopios; (c) telescopio invertido; (d) filtros antideslumbrantes.	11
Figura 1.7.- Imágenes de ayudas ópticas para la pérdida de agudeza visual.....	12
Figura 1.8.- Plataforma de ayuda a la baja visión, (a) minicámara, (b) visor NOMAD ND2000 y (c) una placa portátil de prototipado (RC100)	15
Figura 1.9.- Punto crítico de movilidad [46].	17
Figura 2.1.- Imagen del sistema InerTrax2 [65].	22
Figura 2.2.- Imagen de la placa de prototipado RC100 de Celoxica.....	24
Figura 2.3.- (a) Virtual IO glasses; (b) NOMAD ND2000; (c) Detalle del visor del NOMAD ND2000.....	26
Figura 2.4.- Comparación de una imagen de ExView HAD CCD (a) y un convencional CCD (b).	27
Figura 2.5.- Comparación de las características de sensibilidad espectrales de un ExView HAD CCD y un CCD convencional.	27
Figura 2.6.- Ejemplos de minicámaras: (a) PC180XS; (b) 2005XA ; (c) CAM 2.....	28
Figura 2.7.- Imágenes del <i>AutoPlot</i> . (a) Pantalla inicial del evaluador; (b) pantalla del sujeto; (c) resultado de la campimetría.	29
Figura 2.8.- Test ETDRS.....	30
Figura 2.9.- Imagen del test CSV-1000E	31
Figura 2.10.- Visor nocturno, ATN Viper.....	32
Figura 2.11.- Esquema de trabajo seguido en el desarrollo del simulador de Conducción.	33
Figura 2.12.- Esquema de trabajo seguido en el desarrollo y evaluación del SERBA.	34
Figura 3.1.- Imagen de un bióptico.(a) Posición sin utilización de la ampliación, (b) posición para tener una visión ampliada, (c) imagen lateral del bióptico.....	38
Figura 3.2.- Composición de imágenes que simula la visión que tendría un sujeto que utiliza un bióptico.	38
Figura 3.3.- Ejemplo de aumento: (a) Imagen original; (b) simulador de conducción.	41
Figura 3.4.-Ejemplos: (a) Simulvisión; (b) telescopio invertido; (c) sistema anamórfico.	41
Figura 3.5.- Imagen de la pantalla de inicio del programa de simulación de conducción.	43
Figura 3.6.- Ejemplo de la operación AND que se realiza con la función (3.1)......	46
Figura 3.7.- Ejemplo de la operación AND que realiza la función (3.2)......	47
Figura 3.8.- Ejemplo de la operación XOR que realizaría la función (3.3)......	48

Figura 3.9.- Imagen original e imagen con la simulación de bióptico.....	49
Figura 3.10.- Esquema de funcionamiento del SERBA.	50
Figura 3.11.- Promedio ponderado de cuatro vecinos.	51
Figura 3.12.- Píxeles utilizados en el proceso de interpolación.	53
Figura 3.13.- Comparación de las interpolaciones utilizadas: (a) interpolación direccional; (b) Método del vecino más próximo; (c) interpolación bilineal.....	55
Figura 3.14.- Simulación de visión túnel con la ayuda visual <i>Vista Aumentada</i>	56
Figura 3.15.- Diagrama del procesamiento de imagen para la detección de bordes.....	57
Figura 3.16.- Imagen del primer prototipo del SERBA.....	58
Figura 3.17.-Imagen que muestra el aumento de campo visual que proporciona el SERBA	59
Figura 3.18.- Imagen tomada a través del visor del Nomad.....	59
Figura 3.19.- Realce de contraste: (a) imágenes originales; (b) con realce de contraste.	60
Figura 4.1.- (a) Imagen de la carta ETDRS con y sin difusor. (b) <i>zoom</i> ×8 de la fila 5 de la imagen “a”.....	68
Figura 4.2.- Resultados de los promedios de A.V. de tres sujetos con visión normal, en la prueba DV.....	70
Figura 4.3.- Resultados de los promedios de A.V. de 6 sujetos con visión normal, en la prueba DF.	71
Figura 4.4.- Resultados del promedio de A.V. de un sujeto con baja visión, en la prueba DF.	72
Figura 4.5.- Resultado de la prueba DF. Promedio de las agudeza visual de 6 sujetos del grupo de control y resultados individuales de 6 sujetos con baja visión, para el <i>zoom bilineal</i>	73
Figura 5.1.- Imagen real del algoritmo de <i>Vista Aumentada</i>	79
Figura 5.2.- Imagen real tomada del visor del SERBA durante la determinación de la A.V.....	81
Figura 5.3.- Imagen del recorrido de obstáculos.	83
Figura 5.4.- Distribución de los objetos, del tramo 1 y tramo 2.....	84
Figura 5.5.- Distribución de los objetos, del tramo 3 y tramo 4.....	84
Figura 5.6.- Distribución de los objetos, del tramo 5 y tramo 6.....	84
Figura 5.7.- Distribución de los objetos, del tramo 7 y tramo 8.....	84
Figura 5.8.- Iluminancia del recorrido realizado por los sujetos.	85
Figura 5.9.- Imágenes de las salas donde se realizaron las pruebas de localización. (a) Sala 1. (b) Sala 2.....	89
Figura 5.10.- Objetos de la sala 1. (a) Pinza sobre alféizar de la ventana, (b) gafas de sol sobre alféizar de la ventana, (c) cámara de fotos desechable sobre mesa de madera, (d) hoja amarilla pegada en la pared y (e) pinza sobre mueble de madera.	90
Figura 5.11.- Objetos de la sala 2. (a) Pinzas sobre alféizar de la ventana, (b), gafas de sol sobre alféizar de la ventana (c) Hoja amarilla pegada en la pared, (d) pinzas sobre mesa y (e) cámara de fotos desechable sobre oftalmoscopio de pared.	91
Figura 5.12.- Gráfica de la iluminancia de las salas donde se realizaron las pruebas de localización. (a) Sala 1. (b) Sala 2.	91

Figura 5.13.- Fotografías tomadas de la prueba 2 en (a) la sala 1 y en (b) la sala 2.....92

Figura 5.14.- (a) Simulación de Visión Túnel (8°); (b) simulación de Visión Túnel (16°).98

Figura 5.15.- Campimetrías realizadas a sujetos afectados de Retinosis Pigmentaria. 99

Figura 5.16.- Gráfica de la S.C. de tres sujetos con visión normal.101

Figura 5.17.- Gráficas de la sensibilidad al contraste de sujetos con R. P. (a) Sujetos 5, 7 y 8; (b) Sujetos del 1 al 4 y sujeto 6.103

Figura 5.18.- Gráfica de las respuestas al test de la prueba de movilidad.107

Figura 5.19.- Respuestas al test de las pruebas de localización.....112

Figura 5.20.- Respuestas al test de evaluación del SERBA.112

Figura 6.1.- Localización de los objetos en el pasillo de la primera planta.....125

Figura 6.2.- Localización de los objetos en el pasillo de la segunda planta.126

Figura 6.3.- Representación de las medidas tomadas de la distancia entre el objeto identificado y el sujeto.....128

Figura 6.4.- Gráfica de las respuestas al test de la evaluación en interior.139

Figura 6.5.- Gráfica de las respuestas al test de la evaluación en interior (sin *Vista Aumentada*)......139

Figura 6.6.- Gráfica de las respuestas al test de la evaluación nocturna en exterior. ..143

Figura 6.7.- Respuestas al test de evaluación nocturna del SERBA.145

Figura 6.8.- Respuestas al test de evaluación nocturna y diurna del SERBA.147

Figura 7.1.- Esquema de la implementación del algoritmo de *Vista Aumentada*.157

Figura 7.2.- Esquema del circuito encargado de mantener un porcentaje de bordes constante.159

Figura 7.3.- Esquema del algoritmo de detección de movimiento.164

Figura 7.4.- Esquema del rango de direcciones de movimiento seleccionadas para mostrar al sujeto.....165

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1.- Datos de los sujetos con visión normal que realizaron las pruebas.....	64
Tabla 4.2.- Datos de los sujetos con baja visión que realizaron las pruebas.	65
Tabla 4.3.- Resolución de cada letra del test ETDRS en la prueba DV.	66
Tabla 4.4.- Resolución de cada letra del test ETDRS en la prueba DF.	68
Tabla 5.1.- Características fisiológicas de los sujetos que componían el grupo experimental, que participaron en la evaluación.....	78
Tabla 5.2.- Características de cada tramo (T) en el que se subdivide el recorrido.	83
Tabla 5.3.- Campo visual horizontal del ojo que porta el visor del SERBA.....	99
Tabla 5.4.- Agudeza visual de los sujetos con visión normal, con SERBA y sin SERBA.	100
Tabla 5.5.- Agudezas visuales de los sujetos con baja visión que participaron en el estudio.....	100
Tabla 5.6.- Sensibilidad al contraste en sujetos con R.P.	102
Tabla 5.7.- Datos obtenidos de la prueba de movilidad.	104
Tabla 5.8.- Contactos con objetos, según la altura del objeto.	105
Tabla 5.9.- Contactos de cada sujeto con los objetos separados por su altura.....	105
Tabla 5.10.- Resultados del estudio estadístico de las 5 categorías de contactos.....	106
Tabla 5.11.- Tabla de tiempos de las pruebas de localización.....	108
Tabla 5.12.- Resultados del estudio de las pruebas de localización.	108
Tabla 5.13.- La diferencia en los tiempos de ejecución de las pruebas de localización.	109
Tabla 5.14.- Tabla de tiempos de la prueba 5 (P5) de localización.....	109
Tabla 5.15.- Resultados del estudio de la prueba 5, de localización.....	110
Tabla 5.16.- La diferencia en los tiempos de ejecución de la prueba 5.	110
Tabla 6.1.- Características fisiológicas de los sujetos que participaron en la evaluación nocturna.	124
Tabla 6.2.- Resultados de la prueba de localización de objetos en interior.....	136
Tabla 6.3.- Resultados de la prueba de localización de objetos en interior del sujeto 4.	137
Tabla 6.4.- Resultados de la evaluación nocturna en exterior del sujeto 1.....	141
Tabla 6.5.- Resultados de la evaluación nocturna en exterior del sujeto 6.....	141
Tabla 6.6.- Resultados de la evaluación nocturna en exterior del sujeto 8.....	142
Tabla 6.7.- Resultados del los test de Wilcoxon (p_W) y Friedman (p_F).	147
Tabla 7.1.- Estructura del operador Sobel.	156
Tabla 7.2.- Datos de los circuitos comentados en este apartado.....	158
Tabla 7.3.- Datos de los circuitos comentados en este apartado.....	160
Tabla 7.4.- Datos de los circuitos comentados en este apartado.....	160
Tabla 7.5.- Datos de los circuitos de la primera generación y su optimización. Utilizando un dispositivo Xilinx Spartan E 200K.	162
Tabla 10.1.- Descripción de los obstáculos del primer tramo (T1).	197
Tabla 10.2.- Descripción de los obstáculos del segundo tramo (T2).....	198

Tabla 10.3.- Descripción de los obstáculos del tercer tramo (T3).....	198
Tabla 10.4.- Descripción de los obstáculos del cuarto tramo (T4).....	199
Tabla 10.5.- Descripción de los obstáculos del quinto tramo (T5).....	199
Tabla 10.6.- Descripción de los obstáculos del sexto tramo (T6).	200
Tabla 10.7.- Descripción de los obstáculos del séptimo tramo (T7).	200
Tabla 10.8.- Descripción de los obstáculos del octavo tramo (T8).	200
Tabla 10.9.- Respuestas al test de la prueba de movilidad.	201
Tabla 10.10.- Resultados del test realizado a los sujetos para ponderar la dificultad de las tareas realizadas en las salas.....	202
Tabla 10.11.- Resultados del test realizado para obtener la valoración que los sujetos hacen del SERBA.	202
Tabla 10.12.- Resultados del test de evaluación nocturna en interior.	204
Tabla 10.13.- Resultados del test de evaluación nocturna en exterior.....	205
Tabla 10.14.- Resultados del test de valoración del SERBA.	206

Acrónimos

- API.-** *Application Programming Interface.*
- AV.-** Agudeza Visual.
- CCD.-** *Charge-Coupled Device*, dispositivo de cargas (eléctricas) interconectadas.
- CCTV.-** Circuito Cerrado de TeleVisión.
- CE.-** Configuración Estática.
- CM.-** Configuración Móvil.
- CPLD.-** *Complex Programmable Logic Device.*
- CRT.-** *Cathode Ray Tube.*
- CS.-** Con SERBA.
- CV.-** Campo Visual.
- CVH.-** Campo visual horizontal.
- CVV.-** Campo visual vertical.
- D.-** Dioptrias.
- DF.-** Distancia Fija.
- DLP.-** *Digital Light Processing.*
- DMAE.-** Degeneración Macular Asociada a la Edad.
- DMD.-** *Digital Micromirror Device.*
- DV.-** Distancia Variable.
- EPR.-** Epitelio Pigmentario Retiniano.
- ETDRS.-** *Early Treatment Diabetic Retinopathy Study.*
- FPGA.-** *Field Programmable Gate Array*
- HAD.-** *Hole-Accumulation Diode.*
- HDL.-** Lenguaje de Descripción de Hardware.
- HMD.-** *Head Mounted Display.*
- logMAR.-** Logaritmo del mínimo ángulo de resolución.
- OD.-** Ojo Derecho.
- OI.-** Ojo Izquierdo.
- PPWS.-** *Percentage of their preferred walking speed.*
- PRL.-** *Preferred Retinal Locus.*
- RP.-** Retinosis Pigmentaria.
- SC.-** Sensibilidad al contraste.
- SERBA.-** Sistema Electro-óptico Reconfigurable de Ayuda para Baja Visión.
- SS.-** Sin SERBA.
- UFOV.-** *Useful Field of View.*
- VFQ25.-** *Visual Function Questionnaire 25.*
- VFW.-** *Video For Windows.*
- WDM.-** *Windows Driver Model.*

Glosario

Afáquico.- Sujeto al que se le ha extraído el cristalino y no le ha implantado una lente intraocular.

Balancear.- Se dispone de varias configuraciones de las pruebas para poder alternarlas entre los sujetos y conseguir que los resultado sean independientes de la configuración.

Bióptico.- Es un sistema que permite al sujeto tener una imagen ampliada, en una zona específica de su campo visual, principalmente en la zona superior, de forma simultánea con la imagen original., o disponible visualemte mediante un ligero movimiento de cabeza.

Células ganglionares.- Celulas de la retina especializadas en la detección de contrastes y de cambios rápidos de la imagen visual.

DMD.- Digital Micromirror Device. Es un semiconductor optico que es el núcleo de los proyectores DLP.

Handel-C.- Lenguaje de descripción de Hardware de alto nivel,

Head Mounted Display.- Es un dispositivo de visualización montado sobre la cabeza o acoplado a un casco, con uno (monocular) o dos (binocular) pequeños visores ópticos.

Head Tracker.- sistema inercial que nos permite seguir la posición de la cabeza de los sujetos que lo portan.

InerTrax2.- Seguidor de cabeza (Head Tracker) seleccionado en esta tesis.

Letras pixeladas.- Zoom realizado que no aplica ningún algoritmo de interpolación, los píxeles que conforman las letras se distinguen de forma individual.

lx.- Lux, unidad derivada del SI de iluminancia o nivel de iluminación.

Nomad ND2000.- Modelo de visor transparente que crea la imagen mediante barrido de haz directamente sobre la retina del usuario.

Proyector DLP.- En los proyectores DLP, la imagen es creada por espejos microscópicos dispuestos en una matriz sobre un chip semiconductor.

Prueba DF.- Prueba diseñada para evaluar el zoom digital implementado en el SERBA. Se caracteriza por mantener fija la distancia entre el sujeto y el test de agudeza visual utilizado.

Prueba DV.- Prueba diseñada para evaluar el zoom digital implementado en el SERBA. Se caracteriza por variar la distancia entre el sujeto y el test de agudeza visual utilizado en igual proporción al aumento introducido por el zoom en el test.

Telescópicos invertidos oftálmicos anamórficos.- Consisten en un telescopio afocal invertido con lentes cilíndricas. Estas lentes reducen el tamaño de la imagen a lo largo del meridiano horizontal manteniendo el mismo tamaño a lo largo del meridiano vertical.

Resumen

En esta tesis se proponen y evalúan dos ayudas visuales para personas con baja visión. Una de las ayudas es un simulador de telescopios biópticos que permitirá determinar cuál es el bióptico más adecuado para cada usuario y también permitirá, al sujeto, entrenarse en el empleo del bióptico seleccionado. La segunda ayuda está basada en procesamiento de vídeo en tiempo real mediante una FPGA. Las patologías que generan baja visión tienen una prevalencia baja y además una sintomatología muy variada que evoluciona con el tiempo. Utilizar una FPGA como núcleo de la ayuda nos permite reconfigurar fácilmente el sistema a las necesidades de cada usuario y a su evolución, lo que les supone un ahorro considerable. Se implementaron varios algoritmos de ayuda a la baja visión: un realce de contraste para sujetos con pérdidas de contraste, tres tipos de zoom, para sujetos con baja agudeza visual y un algoritmo de Vista Aumentada para sujetos con visión túnel. Se han diseñado varias pruebas para evaluar la eficacia del zoom y del algoritmo de Vista Aumentada. La evaluación del zoom se ha realizado con 9 sujetos normales y con 6 sujetos con baja agudeza visual. Para evaluar la ayuda para pacientes con visión túnel se ha diseñado una prueba de movilidad diurna y otra nocturna, que han realizado 8 sujetos, todos ellos afectados de Retinosis Pigmentaria. El dispositivo tiene varias configuraciones en función de los periféricos que conectemos a la FPGA para la adquisición y representación de imágenes. Para una configuración portátil hemos seleccionado como visor el NOMAD ND2000 por su transparencia y su elevado contraste. Durante la evaluación se han realizado medidas de agudeza visual y sensibilidad al contraste, sin utilizar la ayuda propuesta y con la configuración portátil de la ayuda, para comprobar las pérdidas que introduce el sistema en el resto visual de los sujetos.

Abstract

The objective of this PhD dissertation is to present and assess two visual aids for people with low vision. The first aid is a bioptic telescope simulator aimed to establish the most suitable bioptic for every person also allowing the user to learn how to use the selected bioptic. The second aid is based on real-time video processing through FPGA. Pathologies originating low vision have a low prevalence as well as a varied symptomatology that changes throughout time. The use of a FPGA as the core of the aid allows an easy reconfiguration of the system according to the needs and evolution of every user, what also means a lot of money-saving. Several algorithms of low vision were implemented: a contrast embossing for patients with contrast losses, three different kinds of zoom for patients with low vision intensity and an algorithm of Increased Vision for patients with tunnel vision. Several tests have been designed to assess the efficiency both of the zoom and of the Increased Vision algorithm. The zoom has been assessed using 9 normal users and 6 patients with low vision intensity. In order to assess the aid for patients with tunnel vision, two tests, one of day mobility and another one of night mobility have been designed and applied on 8 patients with retinitis pigmentosa. The device has several configurations depending on the peripherals connected to the FPGA for the acquisition and representation of images. For the portable configuration the NOMAD ND2000 visor has been selected due to its transparency and high contrast. Throughout the assessment, both vision intensity and sensibility to contrast have been measured without using the aid presented but with the portable configuration of the aid in order to test the losses introduced by the system in the visual rest of the users.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

En este capítulo establecemos el contexto y los objetivos del trabajo realizado en esta tesis.

Este trabajo se encuadra dentro del campo de la aplicación de ayudas visuales a pacientes con baja visión. Por ello en primer lugar se realiza una descripción de las patologías que dan lugar a lo que llamamos baja visión. Se recalcan la baja prevalencia de estas patologías y su gran variabilidad en cuanto al grado de afectación y evolución, que hace que estos pacientes necesiten una gran variedad de ayudas.

También se mostrarán los tipos de ayudas a la baja visión, en función de su funcionalidad y la patología que presente el usuario. Estas ayudas son tradicionalmente ópticas, pero los sistemas basados en dispositivos de procesamiento de imágenes en tiempo real están mostrando un gran potencial.

Para terminar este capítulo, se hace una breve descripción de la ayuda y el simulador propuestos en esta tesis y el estado del arte en este campo.

El apartado final muestra la estructura con la que se ha desarrollado el resto de la memoria.

1.2. Contexto y objetivos

Las personas con baja visión necesitan una gran diversidad de ayudas visuales que se adapten y les faciliten las tareas diarias, como por ejemplo, leer el periódico, pasear por la calle, trabajar, etc. Adquirir todas estas ayudas supone un importante gasto económico, que se incrementará cuando tengan que renovarlas, para adaptarlas a la evolución de su patología.

Las ayudas que actualmente existen, para baja visión, comprometen el resto visual de los pacientes. En personas con pérdida de agudeza visual, se suele recomendar el uso de lentes telescópicas, que aumentan el tamaño de la imagen, pero que reducen su campo visual. Si los pacientes tienen reducción del campo visual periférico, se utilizan telescopios invertidos que mediante una reducción del tamaño de la imagen proporcionan un aumento del campo visual. Esta reducción en la imagen supone una distorsión espacial que ocasiona que los pacientes realicen una determinación errónea de las distancias, y la capacidad de discernir detalles.

Los objetivos de esta tesis han sido, por una parte, desarrollar y evaluar una ayuda visual opto-electrónica que se adapte a las diversas necesidades de los pacientes de baja visión y a la evolución de sus patologías; esta ayuda no debe comprometer el resto visual de los usuarios. Por otro lado, se ha diseñado un simulador de diversos tipos de ayudas visuales, con el objetivo de permitir, a los usuarios de ayudas visuales, entrenarse en el uso de estas ayudas y la selección de la ayuda que mejor se adapte a sus necesidades. En concreto, este simulador está especialmente pensado para agilizar la conducción en pacientes de baja visión.

1.3. La visión humana

El ojo (Figura 1.1), es un órgano que ha evolucionado con la finalidad de detectar la luz. Se compone de un sistema sensible a los cambios de luz, capaz de transformar éstos en impulsos eléctricos.

El ojo funciona formando óptimamente imágenes en una retina sensible a la luz y transmite una señal que codifica la información captada a través del nervio óptico. Para optimizar la calidad de la imagen, el ojo posee una lente de enfoque llamado cristalino y además de la córnea (elemento con mayor poder refractivo), un músculo llamado iris que regula la cantidad de luz que entra.

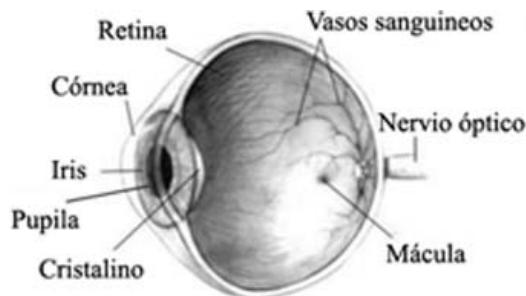


Figura 1.1.- Diagrama de un ojo humano.

La retina está formada por diferentes capas celulares entre la que destacaremos la más externa dónde se localizan los conos y bastones que son fotorreceptores sensibles a los diferentes tipos de luz. Se ubican con especial densidad en la mácula lútea, en la fovea, que es la zona del ojo con mayor agudeza visual. Existen aproximadamente unos cien millones de bastones y tres millones de conos en cada ojo. En términos cuantitativos, la mayor densidad de conos se concentra a nivel de la foveola, decreciendo su número conforme nos alejamos de la misma hasta una densidad más o menos uniforme en la retina periférica. Existe también un pico de bastones alrededor de la fovea. La zona de la papila (que corresponde al nervio óptico) carece de cualquier tipo de fotorreceptor ("punto ciego").

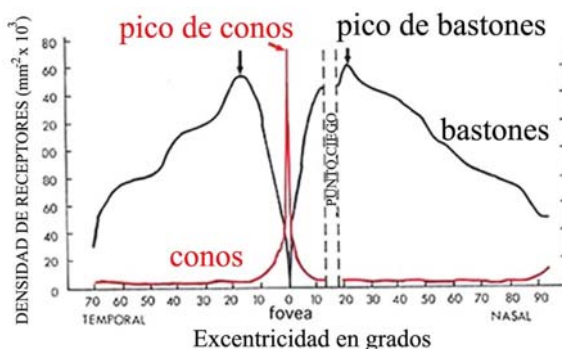


Figura 1.2.- Densidad de conos y bastones a lo largo del meridiano horizontal[1].

Debido a la estructura nerviosa de la retina, los ojos ven con mayor detalle en la región de la fovea. Las células con forma de conos están conectadas de forma generalmente individual con otras fibras nerviosas, de modo que los estímulos que llegan a cada una de ellas se reproducen y permiten distinguir los pequeños detalles. Por otro lado, las células con forma de bastones se conectan en grupo y responden a los estímulos que alcanzan un área general, pero no tienen capacidad para separar los pequeños detalles de la imagen visual. La diferente localización y estructura de estas células conducen a la división del campo visual del ojo en una pequeña región central de gran agudeza y en las zonas que la rodean, de menor agudeza y con una gran

sensibilidad a la luz. Así, durante la noche, los objetos con poco contraste se pueden ver por la parte periférica de la retina cuando son invisibles para la fovea central.

Para caracterizar la calidad de la visión de una persona utilizamos tres parámetros, la agudeza visual, la sensibilidad al contraste y el campo visual.

1.3.1. Agudeza visual

La agudeza visual (AV) es una medida de la capacidad del sistema visual para detectar, reconocer o resolver detalles espaciales, en un test de alto contraste y con un buen nivel de iluminación.

Hace más de un siglo que quedó estudiada y establecida la variación de la agudeza visual con la edad. A los diez años, o pocos años después, se alcanza la máxima agudeza visual del sujeto, aproximadamente a la misma edad en que se tiene el máximo de amplitud de acomodación. Su valor decimal, calculado como el inverso del mínimo ángulo resoluble expresado en minutos de arco, puede ser de 2 y hasta de 2,5. Con la edad la agudeza decrece, pero en los sujetos emétopes adultos, (entre los 20 y 40 años), suele mantenerse en un valor aproximadamente estable de 1,5 o algo menor. A partir de los 40 años ya comienza a decaer rápidamente; de modo que la agudeza unidad, considerada como "normal" para un sujeto adulto, en realidad se alcanza a los 50 años o más. A los 80 años la agudeza puede ser de 0,6, y a los 90 años de 0,3 o 0,2.

1.3.2. Sensibilidad al contraste

La sensibilidad al contraste (SC) son las funciones visuales de separación de la figura y el fondo, teniendo en cuenta la mínima cantidad de luz requerida. Este término o expresión se ha extraído de la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud.

La sensibilidad al contraste varía de forma directamente proporcional a la iluminación: cuando existe una buena iluminación mejora la sensibilidad al contraste.

Las pruebas de sensibilidad al contraste están siendo muy utilizadas como una herramienta clínica rutinaria [2]. Se ha demostrado que la evolución de la sensibilidad al contraste está relacionada con la evolución de algunas patologías [3], como por ejemplo el glaucoma.

Para determinar la sensibilidad al contraste, el test CSV-1000E, uno de los más usados, utiliza patrones de franjas sinusoidales, blancas y negras. Una rejilla de patrón sinusoidal tiene un perfil de luminancia con transformación gradual del área clara a la oscura. Los patrones de rejilla sinusoidal son particularmente importantes y ahora, bastante utilizados en investigación visual porque cualquier patrón visual por complejo que sea puede descomponerse en sus elementos primarios de diferente frecuencia espacial (Figura 1.3).

Este sistema tiene la ventaja de que el desenfoque óptico del sujeto no cambia la forma o la apariencia del patrón de la rejilla.

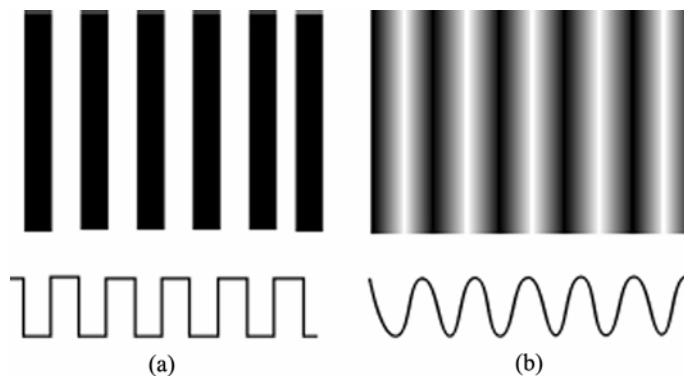


Figura 1.3.- Tipos de rejillas. (a) Patrón cuadrado; (b) patrón sinusoidal.

El sistema visual normal tiene mayor sensibilidad al contraste para bajas frecuencias espaciales (cuatro o cinco ciclos/grado). La sensibilidad al contraste disminuye de forma progresiva hacia las frecuencias más altas, ya que fenómenos como la difracción y las aberraciones ópticas emborronan los detalles finos de la imagen. La forma de esta función representa una U invertida (Figura 1.4).

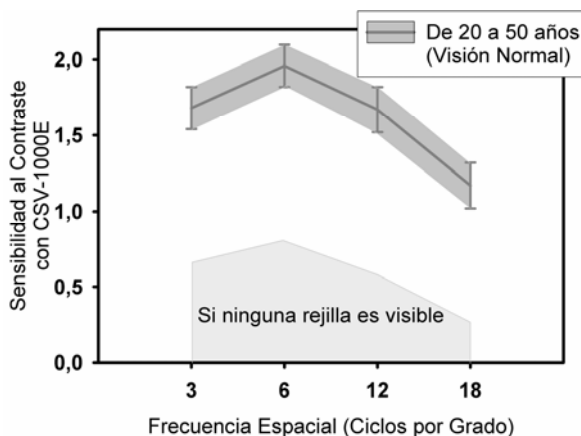


Figura 1.4.- Sensibilidad al contraste de sujetos con visión normal.

1.3.3. Campo visual

Si consideramos el ojo en una posición fija, mirando al frente, el campo visual se extiende 60° en la dirección superior, 75° en la inferior, 60° del lado nasal y 100° del lado temporal. Estos valores son aproximados y varían de unos individuos a otros dependiendo de su anatomía facial (nariz, cejas, etc.).

Al campo visual de un sujeto le corresponde como campo imagen el área sensible de la retina. En ésta conviene destacar dos zonas: la fovea y la púpila o disco óptico.

En la parte central de la fóvea, llamada foveola, se forma la imagen del punto de fijación.

Esta zona subtiende aproximadamente 1° desde el punto nodal. La pápila es la zona donde el nervio óptico sale de la retina, se la conoce como punto ciego, ya que en ella no hay fotorreceptores. Ocupa un área de 5° en dirección horizontal y 7° en la dirección vertical, siendo 15° la separación entre el centro de la fóvea y el de la pápila.

La sensibilidad de la retina es mayor en el área próxima a la fóvea y disminuye en relación con la distancia a la fóvea.

En un ojo normal con agudeza visual con valor decimal de 1, en el punto de fijación, la agudeza disminuye rápidamente en el campo periférico de tal forma que a 2 grados del punto de fijación la agudeza visual se ha reducido a 0,7. A 3 grados, la agudeza visual es aproximadamente de 0,5; a 5 grados es 0,3; a 10 grados es de 0,2; a 20 grados es de 0,1; y a 40 grados es de aproximadamente 0,05 [4].

1.4. ¿Qué es la Baja Visión?

Baja Visión es el término comúnmente usado para describir una visión parcial y que no se puede corregir con cirugía, lentes de contacto o cristales. La Baja Visión puede abarcar desde un daño moderado en la visión hasta la “ceguera legal” o la ceguera casi total.

Se consideran discapacitados visuales o personas con Baja Visión a aquellas personas que poseen una agudeza visual inferior al 3/10 decimal (0,5 logMAR) en el mejor ojo, con corrección, o tienen un campo visual menor a 20 grados [5].

Son varias las patologías que causan Baja Visión. Estas patologías pueden ser divididas en dos grupos, las que generan una pérdida en la agudeza visual, debida a una afectación foveal (por ej. degeneración macular, escotoma central), y los que producen una reducción del campo visual. En ambos casos, la visión residual que les queda a los pacientes es similar a la que aparecen en la Figura 1.5.



Figura 1.5.- (a) Restricción severa del campo Visual. (b) Pérdida de agudeza visual por escotoma central.

En España, 1 de cada 6 personas mayores de 65 años padece Baja Visión y el porcentaje aumenta de forma alarmante a medida que avanza la edad. Se calcula que en España hay alrededor de dos millones de personas que padecen Baja Visión, de los cuales, solamente el 5% están atendidos profesionalmente. La cifra alcanza los 20 millones en la Unión Europea [6].

La visión residual de los sujetos de baja visión es muy variada y degenerativa en los casos que tienen un origen congénito. La mayoría de las patologías que generan baja visión causan varias deficiencias en un mismo sujeto, pérdida de agudeza, pérdida de campo, visión nocturna, etc., que van apareciendo y empeorando a lo largo de su vida. Las ayudas disponibles (lentes, filtros, sistemas ópticos de ampliación angular,..) generalmente sólo compensan una de estas deficiencias y no se adaptan a su evolución con el tiempo, con lo que se ven forzados a adquirir más de una ayuda y a renovarlas cada cierto tiempo. No hay un dispositivo de ayuda visual único que puede emplearse y sea útil en todas las circunstancias y para todas las tareas. Esto supone un gasto elevado. En el caso concreto de pérdida de visión periférica las ayudas visuales tradicionales son escasas y de efectividad relativa en la mejora de movilidad. La mayoría se basa en disminuir el tamaño visual de los objetos mediante elementos ópticos, reduciendo por el contrario la agudeza visual efectiva. Las ayudas propuestas van desde simples lentes divergentes de mano hasta sistemas telescópicos invertidos oftálmicos anamórficos. En general, estas ayudas son rechazadas por los pacientes obteniéndose un escaso beneficio, especialmente en entornos muy dinámicos. El rechazo se debe a diferentes causas como pérdida de resolución, distorsión en la imagen y limitación del rango donde dirigir la mirada.

En el apartado 1.5 detallaremos, con más profundidad, el tipo de ayudas comerciales existentes para Baja Visión.

1.4.1. Restricción severa del campo visual

En la Figura 1.5.a. se ilustra cómo vería un paciente con visión en túnel por restricción severa del campo visual. Varias enfermedades oculares causan una restricción severa del campo visual periférico (visión en túnel), sin embargo los pacientes pueden conservar su visión central (con alta agudeza) [7-9]. Algunas de estas enfermedades son [5]:

- *Retinosis Pigmentaria (RP)*.- Afecta a la retina por muerte progresiva de los bastones y más lentamente de los conos, deteriorando la visión y el campo visual. Además de la restricción del campo visual, la Retinosis Pigmentaria y otras enfermedades asociadas (Ceguera Nocturna Congénita Estacionaria, Síndrome de Usher, deficiencia de vitamina-A) producen ceguera nocturna; de hecho, ésta puede ser la primera manifestación de la enfermedad, ocurriendo antes que la pérdida de campo visual. Los afectados se quejan de visión deficiente en condiciones de baja iluminación y necesitan más tiempo para adaptarse a los cambios de iluminación ambiental. La Retinosis Pigmentaria puede evolucionar hasta la ceguera [7, 8].

- *Desprendimiento de retina*.- Puede causar destellos de luz brillante, especialmente en la visión periférica, manchas traslúcidas de formas variadas (flotantes) en el ojo, visión borrosa, sombras o ceguera en una parte del campo visual de un ojo.
- *Glaucoma*.- Esta enfermedad causa daños irreversibles en las fibras del nervio óptico, causando muerte de células ganglionares. El glaucoma produce una pérdida de la visión periférica o puntos ciegos en el campo visual. Puede evolucionar hasta la ceguera.

Se da la paradoja de que "ciegos legales" (con un campo visual útil menor de 20°) tengan muy buena agudeza visual.

La reducción severa del campo visual útil afecta dramáticamente la movilidad de los sujetos: no pueden evitar obstáculos o defectos del terreno de manera efectiva, alertarse de lo que ocurre justo a su lado, buscar un objeto concreto. Las relaciones sociales también pueden verse afectadas, ya que en ellas interviene una componente visual. Por ejemplo, para una persona con un campo visual reducido resulta muy difícil localizar personas o incluso saber el número de presentes en una reunión; difícilmente "se cruzan en la calle" con alguien o devuelven un gesto de saludo [5]. Su visión no es funcional en estos aspectos.

Se seleccionó un grupo de sujetos afectados de Retinosis Pigmentaria para evaluar una de las ayudas desarrolladas en esta tesis, es por esto que el siguiente apartado se dedica a explicar con más detalle esta patología.

1.4.1.1 Retinosis Pigmentaria

La Retinosis Pigmentaria constituye un grupo de degeneraciones retinianas hereditarias, clínica y genéticamente heterogéneas, que están caracterizadas por la disfunción progresiva de los fotorreceptores y, posteriormente, por la de otras capas celulares retinianas [10]. El déficit visual consecuente generalmente se manifiesta como ceguera nocturna, pérdida de campo visual periférico y, en la mayoría de los casos, compromiso de la visión central en estadios avanzados de la enfermedad.

La Retinosis Pigmentaria se puede transmitir a la descendencia según los tres tipos principales de herencia mendeliana: autosómica dominante, autosómica recesiva y ligada al sexo.

Las edades de inicio y de ceguera son variables y dependen en gran medida de la forma de herencia, constituyendo las formas dominantes y las ligadas al sexo las de mejor y peor pronóstico, respectivamente.

La Retinosis Pigmentaria es la causa más frecuente de ceguera hereditaria. Su prevalencia se cifra en 1 de cada 4.000 individuos [11] y se estima que existen un millón y medio de afectados en el mundo.

Algunos autores han identificado como síntomas muy precoces de la enfermedad la cefalea y la visión de flashes de luz, que aparecerían en la mitad y tercera parte de los casos de Retinosis Pigmentaria típica, respectivamente [12]. Sin embargo, se ha estimado que un 10% de los pacientes no tiene ningún síntoma hasta fases muy avanzadas de la enfermedad en las que se afecta la visión central [13].

En la etapa final, la agudeza visual puede estar por debajo de los 0,1, a los 50 años.

No hay ningún tratamiento eficaz, excepto ayudas para baja visión. Enfermedades oculares asociadas, como las cataratas, pueden ser tratadas con éxito.

Ceguera nocturna

La ceguera nocturna es uno de los síntomas cardinales de la Retinosis Pigmentaria. Consiste en una gran disminución de la función visual desde el momento en que se oculta el sol. Este síntoma debe diferenciarse en la clínica de la visión borrosa que aqueja a muchos pacientes con miopía durante la noche. La ceguera nocturna resulta de la afectación de los fotorreceptores bastones que ocurre en etapas tempranas de la Retinosis Pigmentaria.

El mecanismo de la visión nocturna implica la sensibilización de las células en forma de bastones gracias a un pigmento, la púrpura visual o rodopsina, sintetizado en su interior. Para la producción de este pigmento es necesaria la vitamina A y su deficiencia conduce a la ceguera nocturna. La rodopsina se blanquea o satura por la acción de la luz y los bastones deben reconstituirla en la oscuridad, de ahí que una persona que entra en una habitación oscura procedente del exterior con luz del sol, no puede ver hasta que el pigmento no empieza a formarse; cuando los ojos son sensibles a unos niveles bajos de iluminación, quiere decir que se han adaptado a la oscuridad.

Cómo ven los sujetos con Retinosis Pigmentaria

El síntoma que primero aparece es un anillo de escotomas situado en la periferia del campo visual. Este defecto comúnmente aparece como un grupo de escotomas aislado en una región que está a unos 20 o 25 grados del punto de fijación [14]. Estos scotomas se unen gradualmente hasta formar un anillo completo. El borde externo del anillo puede ampliarse hacia la periferia rápidamente, mientras que el margen interior se contrae muy despacio hacia el punto de fijación. Mucho después de haber perdido el campo periférico, queda un pequeño resto oval de campo central intacto.

1.4.2. Pérdida de agudeza visual

Entre las patologías que pueden generar una pérdida de agudeza visual se encuentran [5, 15]:

- *Degeneración macular (DMAE).*- Suele afectar a la visión central y rara vez los pacientes quedan completamente ciegos. Tienen visión borrosa y necesitan más iluminación. Como ayudas suelen utilizar sistemas telescopios, para obtener un aumento de la resolución.
- *Retinopatía diabética.*- Está causada por el deterioro de los vasos sanguíneos que irrigan a los ojos. Las fugas de sangre de los vasos dañados puede generar una visión borrosa y distorsionada. Puede evolucionar hasta la ceguera.
- *Atrofia óptica.*- Es una enfermedad desmielinizante que produce ceguera parcial por causar daños en el nervio óptico. Afecta a la visión central, y

crea problemas en la identificación del color, pérdida de contraste y de agudeza visual.

- *Cataratas*.- Es una opacidad del cristalino y puede producir visión borrosa, deslumbramiento ante luces intensas o cambios de luminosidad, ceguera nocturna, desvanecimiento de los colores, visión doble con un solo ojo. Su evolución es lenta y desigual en los dos ojos.

Por ser la más frecuente, en mayores de 50 años, vamos a dedicar especial atención a la DMAE, en el siguiente apartado.

1.4.2.1 Degeneración macular relacionada con la edad

La degeneración macular asociada a la edad (DMAE) constituye actualmente la principal causa de ceguera en personas mayores de 50 años en los países desarrollados [16], con una prevalencia que oscila en el 2-10%. Las variaciones en la estimación de esta enfermedad dependen de varios factores, principalmente de su definición y de la edad y localización geográfica de la población estudiada. No obstante, todos los estudios epidemiológicos concluyen que la prevalencia de DMAE aumenta claramente con la edad, en especial más allá de los 70 años [17].

Al inicio de la enfermedad, el paciente empieza a ver las líneas rectas torcidas y los objetos deformados (metamorfopsia). Más adelante aparece una mancha en el centro del campo visual (escotoma central), que puede acabar aboliendo totalmente la visión central. Aunque la visión periférica suele respetarse, es insuficiente para poder realizar las tareas cotidianas, tales como leer, coser, ver la TV o deambular sin ayuda [18].

No hay ningún tratamiento eficaz excepto la utilización de ayudas para baja visión. En la etapa final de la DMAE, la agudeza visual típica está por debajo de 0,1.

La DMAE se puede clasificar en dos tipos:

DMAE atrófica, seca, no neovascular

Conlleva una desaparición progresiva del epitelio pigmentario retiniano (EPR), produciéndose zonas de atrofia que lentamente van creciendo. Las áreas afectadas pierden capacidad visual, ya que la pérdida del EPR se asocia a una alteración importante de los fotorreceptores. El estadio final de este proceso se denomina atrofia geográfica. Este tipo de DMAE es el más frecuente y representa casi un 90% del total de casos. Produce una pérdida visual más lenta y de un modo menos agresivo que la DMAE neovascular. Afecta aproximadamente a un 10% de las personas mayores de 60 años.

DMAE húmeda, exudativa, neovascular

Se acepta que un 10% aproximadamente de los pacientes con DMAE presentan esta forma neovascular [19], que se caracteriza por la aparición de unos neovasos de origen coroideo en el ámbito macular. Durante su crecimiento los neovasos se asocian a tejido

fibroso, originándose unas membranas que destruyen el tejido retiniano circundante. Este proceso puede ocurrir de forma rápida, lo que provoca una cicatriz macular irreparable y la consiguiente pérdida absoluta de la visión central. Esta enfermedad suele ser bilateral pero asimétrica. Se estima que un paciente con un ojo afectado tiene una probabilidad cercana al 50% de que su otro ojo también se afecte en un plazo de 5 años [20]. Afecta aproximadamente a un 2% de las personas mayores de 60 años. Este tipo de DMAE es responsable del 90% del total de casos de ceguera atribuidos a la enfermedad.

Cómo ven los sujetos con degeneración macular

En la Figura 1.5.b. se ha ilustrado un ejemplo de cómo ve un paciente con DMAE. Estos pacientes no ven con la zona central de la retina, que es la de mayor resolución, sino que tienen que utilizar otras zonas de la retina (parafoveales) para ver, en estas zonas la visión tiene menos resolución. Estos pacientes no miran de frente, sino que para poder ver tienen que mirar hacia abajo, hacia arriba, a un lado u otro.

1.5. Ayudas para Baja Visión

Como parte del proceso de rehabilitación, se emplean artículos de Baja Visión, para mejorar el aprovechamiento de las capacidades visuales de la visión residual [5]. Hay muchos dispositivos que pueden ayudar a las personas con daños en la visión. Entre las ayudas disponibles podemos citar lentes, telescopios montados, telemicroscopios, telescopios invertidos, filtros antideslumbrantes, CCTVs, realce de contraste en vídeo, dispositivos de visión aumentada (*Vista Aumentada*), etc. [5, 21]. En la Figura 1.6 podemos ver ejemplos de algunas de estas ayudas.

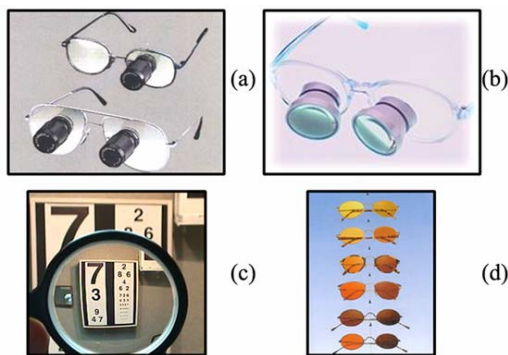


Figura 1.6.- Ejemplos de ayudas ópticas: (a) telescopios; (b) telemicroscopios; (c) telescopio invertido; (d) filtros antideslumbrantes.

1.5.1. Restricción severa del campo visual

Las ayudas visuales tradicionales para la pérdida de la visión periférica son escasas y de efectividad relativa en la mejora de movilidad. Para mejorar la calidad de vida de sujetos con pérdida de campo visual se han empleado clásicamente algunas ayudas no ópticas, como los bastones, que les permiten localizar obstáculos en el suelo e impiden que tropiecen con ellos cuando caminan, u ópticas, como simples lentes divergentes de mano [22] hasta sistemas telescópicos invertidos oftálmicos anamórficos [21, 23], que reducen el tamaño de los objetos vistos a través de ellos, por lo que se ve más campo visual, aunque a tamaño reducido. Estas últimas ayudas comprometen el resto visual del paciente, porque la disminución del tamaño de la imagen retiniana induce una reducción de la agudeza visual [23]. De hecho, estas ayudas son rechazadas por los pacientes obteniéndose un escaso beneficio, especialmente en entornos muy dinámicos [5, 21, 24]. El rechazo se debe a diferentes causas como pérdida de resolución, distorsión en la imagen y limitación del rango donde dirigir la mirada.

En la rehabilitación de la ceguera nocturna, se han propuesto esencialmente, el uso de visores nocturnos de amplificación fotónica [25], visores de vídeo, y linternas portátiles de gran campo [26]. De igual modo, la interacción con el movimiento de los ojos y el reducido campo visual resultante hace que la mejora de la movilidad no sea evidente.

Además, no hay un dispositivo de ayuda visual único que pueda emplearse para todas las tareas y sea útil en todas las ocasiones ni que se adapte a la progresión de la enfermedad. Esto hace que los sujetos tengan que adquirir varias ayudas para diferentes tareas, y que necesiten renovarlas con cierta frecuencia, lo que supone un gasto elevado.

1.5.2. Pérdida de agudeza visual

Para ayudar a estos pacientes se realiza una ampliación de la imagen retiniana del objeto. Realmente lo que conseguimos es que sean capaces de resolver (o distinguir) objetos más pequeños. Un ejemplo de las ayudas disponibles son los sistemas de *ampliación angular*. Son sistemas ópticos que permiten obtener una imagen mayor del objeto que miramos a través de ellos. Es el procedimiento empleado por los telescopios y los microscopios, algunos ejemplos aparecen en la Figura 1.7.



Figura 1.7.- Imágenes de ayudas ópticas para la pérdida de agudeza visual.

Los telescopios presentan una serie de inconvenientes que son mayores cuanto mayor es el aumento que proporcionan; brevemente:

- Se pierde la localización espacial de los objetos: al verse más grandes se perciben más cercanos.
- Reducción del campo visual. Al aumentar la imagen más grande, sólo visible una parte de ella.
- Se produce conflicto vestibular frente a movimientos del telescopio, debido a que la imagen aumentada se desplaza a mayor velocidad en retina que el movimiento que lo produce, por ejemplo al mover un poco la cabeza cuando llevamos el telescopio puesto. Este conflicto produce mareos e incluso puede provocar la caída del paciente al suelo, imposibilitando caminar con el telescopio puesto.
- Disminuye la luminosidad de la imagen, porque para un mismo flujo luminoso, la imagen retiniana es mayor. Igualmente, se reduce la iluminación en retina por la absorción en la óptica del aparato y por la limitación de la pupila de salida del telescopio. Esta disminución en luz efectiva determina que el paciente obtenga con el telescopio una agudeza visual menor de la que debería, según el aumento teórico del mismo.

1.6. Conducción en sujetos con baja visión

La movilidad y la conducción tienen rasgos comunes, pero hay una diferencia fundamental que es la velocidad. El aumento de la velocidad y la presión del tiempo pueden hacer aparecer diferencias entre las patologías que causan baja visión que no aparecen en las pruebas de movilidad.

Los estudios que existen sobre movilidad sugieren que, para la conducción, daños en la visión periférica supone una mayor desventaja que daños en la visión central. La mayoría de los estudios han demostrado que la degeneración macular no causa un aumento en la participación de accidentes [27-29], mientras que la Retinosis Pigmentaria sí [30, 31]. Aunque los sujetos con degeneración macular no muestren un aumento en la participación de accidentes, su conducción sí que se ve afectada, aumentando las veces que se salen del carril o los frenazos bruscos [28].

Un estudio sobre la dificultad auto-percibida en la conducción revela que un gran número de personas deciden dejar de conducir a causa de sus problemas de visión [32].

1.6.1. Simulador de Conducción

Conducir “requiere realizar tareas de localización o identificación de objetos en escenas abarrotadas, que necesitan el uso simultáneo de la visión central y la visión periférica”[33]. Para evaluar esta tarea tan compleja se diseñó una prueba que midió si un objeto en la periferia podía ser localizado en presencia de múltiples distractores y manteniendo la atención en la visión central [34]. Esta prueba se denominó *determinación del uso del campo visual funcional* (UFOV- *Useful Field of View*).

Esta prueba evalúa básicamente tres capacidades [35]: en primer lugar, la velocidad de procesamiento visual, determinar la habilidad de actuar ante un objetivo periférico o central; en segundo lugar, la división de atención, reflejada en la capacidad de localizar un objetivo periférico. Se ha comprobado que un aumento del uso del campo visual funcional mejoraba la conducción [36].

La mayoría de programas de entrenamiento para mejorar la conducción en pacientes de baja visión incluyen la utilización de ayudas visuales como bióptico o telescopios invertidos oftálmicos anamórficos. Puede resultar muy útil un simulador de estas ayudas visuales para que los pacientes se entrenen en su utilización. Éste es el objetivo con el que se desarrolló el *Simulador de Conducción* descrito en el Capítulo 3 de esta tesis.

El simulador de conducción captura la imagen de un videojuego de conducción al que le puede introducir aumentos, reducciones y deformaciones de una zona de la imagen, mostrándola en la posición de la mirada del paciente, superpuesta con la imagen original y con diferentes tamaños.

- Esto permitiría a los pacientes entrenarse en la conducción utilizando diferentes ayudas visuales, sin la necesidad de comparar estas ayudas hasta estar seguros de cuál se adapta mejor a sus necesidades. Este simulador también les permitiría entrenarse para mejorar el uso de su campo visual funcional.

1.7. Ayuda propuesta en este trabajo

Como hemos visto en los apartados anteriores, algunas patologías de Baja Visión están caracterizadas por una progresión lenta que eventualmente conduce a la ceguera. En estos casos, la visión residual se deteriora gradualmente con el tiempo; por lo tanto, cada paciente tiene necesidades diferentes con el avance de su enfermedad. Además, la misma patología afecta de manera diferente a las capacidades visuales de cada paciente. Por ello estos pacientes necesitan ayudas muy específicas y que puedan adaptarse a las necesidades y evolución de cada sujeto. En la mayoría de los casos, las personas con Baja Visión necesitan adquirir varios dispositivos que cubran todas sus necesidades. No hay un dispositivo de ayuda visual único que puede emplearse y sea útil en todas las circunstancias y para todas las tareas.

En este contexto, la contribución principal de este trabajo es la puesta en práctica de una nueva plataforma optoelectrónica (basada en un dispositivo reconfigurable FPGA) que se reconfigura fácilmente para emplearla como ayuda en muy diversas circunstancias [37-40]. Esta plataforma está basada en el diseño de un procesador digital de vídeo en tiempo real, capaz de almacenar varios algoritmos de procesamiento de imágenes. Esto lo convierte en un dispositivo muy flexible para adaptarse a las diferentes necesidades de los usuarios y a la evolución de su enfermedad, gracias al empleo de una FPGA. Los algoritmos se almacenan en la memoria EPROM de la placa de prototipado (RC 100) y la selección del algoritmo volcado en la FPGA se realiza de forma sencilla mediante unos conmutadores.

Con esta ayuda no sería necesario adquirir una plataforma nueva para adaptarla a los cambios que se producen con la evolución de la enfermedad, ya que sólo se tendría

que actualizar los programas grabados en la EPROM. Esta actualización se podría realizar a través de Internet, reduciendo los gastos de apoyo y de transporte.

Resumiendo, la utilización de hardware reconfigurable como base para el desarrollo de una ayuda visual ofrece varias ventajas.

- Puede almacenar varios algoritmos de ayuda.
- Para adaptar la ayuda a las características y evolución de cada sujeto sólo es necesario actualizar los algoritmos almacenados en la memoria de la FPGA.

Todo ello supone un gran ahorro para el usuario.

Para demostrar la viabilidad del dispositivo se han desarrollado tres algoritmos de procesamiento de imágenes diferentes, que ya han sido usados en varias ayudas visuales comerciales o en rehabilitación visual. Estos algoritmos son un *realce de contraste*, tres tipos de *zoom digital* y la aplicación de un *Vista Aumentada*. El lenguaje utilizado para la descripción de estos algoritmos es el Handel-C [41, 42], que es un Lenguaje de Descripción de Hardware (HDL).

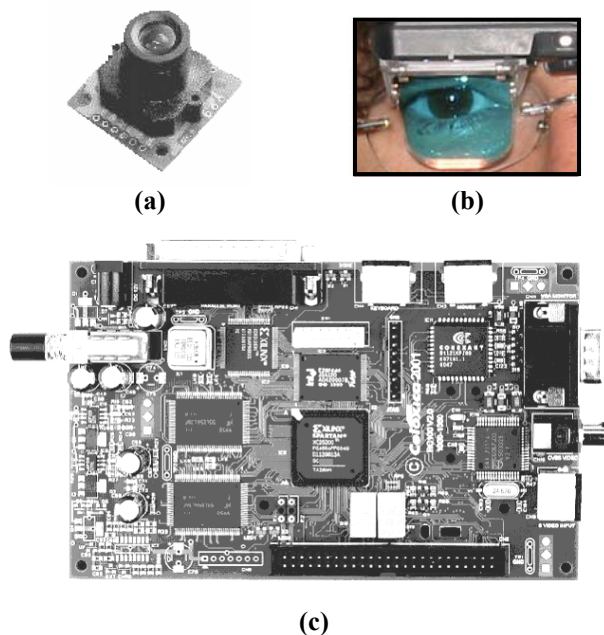


Figura 1.8.- Plataforma de ayuda a la baja visión, (a) minicámara, (b) visor NOMAD ND2000 y (c) una placa portátil de prototipado (RC100)

Algunos de los elementos que pueden formar parte de esta ayuda son una mini-vídeo-cámara, un visor vestible o “Head-Mounted Display” (HMD) transparente y una unidad de procesamiento de imagen en tiempo real (FPGA RC100 de Celoxica [43] con un

dispositivo Spartan E 200K [44]). Todos estos elementos los podemos ver en la Figura 1.8.

Hace falta concretar que en el caso de la ayuda, propuesta en este proyecto, para la restricción del campo visual, intenta restablecer la información de la visión periférica (pérdida) comprometiendo e interaccionando lo menos posible con la visión residual del paciente –agudeza visual, campo visual y movimientos oculares–. En este caso la cámara recogerá continuamente una imagen de vídeo de gran campo ($>75^\circ$), que será transformada por la unidad de procesado en una imagen estilizada o esbozo de la escena. Finalmente esta imagen se reducirá y se superpondrá a la visión residual ($<20^\circ$) con el HMD. La imagen proporcionará información de objetos en la periferia a 25Hz. Ésta sería la materialización del concepto de *Vista Aumentada* [45].

Por ello se combinaron cámaras, HMD y procesadores, para buscar la configuración más útil para los sujetos.

El dispositivo de ayuda propuesto se bautizó con el nombre de **SERBA**, *Sistema Electro-óptico Reconfigurable de Ayuda para Baja Visión* [38].

En el presente trabajo describimos el diseño y la evaluación del prototipo de ayuda opto-electrónica para los algoritmos de *zoom* y de *Vista Aumentada*.

1.8. Trabajos previos de evaluación de ayudas para Baja Visión

En esta tesis se han realizado varias evaluaciones de la ayuda propuesta (SERBA). Para el diseño de estas evaluaciones se realizó una amplia búsqueda bibliográfica que se resume en este apartado.

Uno de los objetivos de las evaluaciones que realizamos en esta tesis es establecer si el SERBA mejorará la independencia de los usuarios. Es clave, en esta independencia, conseguir una mejora en la movilidad de los sujetos y es por ello que se comienza este apartado mostrando los trabajos realizados entorno a este tema.

1.8.1. La movilidad

La orientación se puede definir como el establecimiento de la posición en el entorno, mientras la movilidad es la capacidad de navegar dentro de este entorno [46]. La orientación y la movilidad en la práctica se consideran como “la capacidad de navegar a través de un entorno, de manera eficiente e independiente, siguiendo una ruta planeada y con una velocidad de paso normal al andar [47]”.

Mucha de la información necesaria para orientarse o moverse por un entorno es visual, luego se puede asumir que la visión es un sentido determinante para una correcta navegación. En las secciones siguientes se hablará sobre la relación entre la movilidad y las características visuales: campo visual, agudeza visual y sensibilidad al contraste.

1.8.1.1 Movilidad y restricciones visuales simuladas

En 1987 un grupo de investigadores [48] restringió artificialmente la visión de sujetos con visión normal y los hizo recorrer un trayecto de un laboratorio y de una zona de tiendas, evaluando el tiempo que emplearon en la realización del recorrido y el número de contactos (errores en la navegación) con los objetos del recorrido.

El campo visual se limitó con un cono truncado de papel y se varió su diámetro de 1 grado hasta 60 grados. El contraste se redujo variando la concentración de diamantes suspendidos en un disco de plástico claro. Se varió la sensibilidad al contraste desde el 0,3 % hasta el 100 % de contraste normal. La agudeza visual variaba desde 0,003 a 1,0.

En este estudio se observó que la navegación se vio ligeramente perjudicada para grados de restricción en la visión muy pronunciada [48]. De aquí en adelante, la navegación empeoró rápidamente. El resultado se muestra en la gráfica de la Figura 1.9.

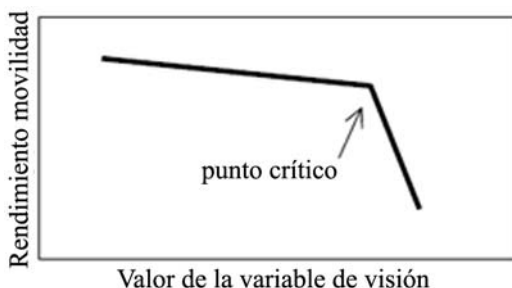


Figura 1.9.- Punto crítico de movilidad [48].

El punto crítico (la restricción más severa en la que la navegación se ve perjudicada sólo ligeramente) en el recorrido del laboratorio era de:

- 10° campo de campo visual (diámetro)
- 0,01 de agudeza visual
- 4 % de la sensibilidad al contraste normal.

El punto crítico en la zona de tiendas fue de:

- 4° campo de campo visual (diámetro)
- 0,01 de agudeza visual
- 2 % de la sensibilidad al contraste normal.

1.8.1.2 Estudios de movilidad realizados por otros autores

El estudio basado en una población de 2.520 sujetos realizado en el 2001 [49], indica que la agudeza visual es el principal determinante del nivel de dificultad percibido por los sujetos cuando realizaban tareas de movilidad. La sensibilidad al contraste ha sido clasificada como el segundo determinante más importante de dificultad auto-percibida. Otras variables de la visión como el campo visual parecen

jugar un papel menor. Por contra, la dificultad en la movilidad, en grupos con daños visuales, no podía ser relacionada, en absoluto, con la agudeza visual. La sensibilidad al contraste y medidas de campo visual eran los factores principales, explicando del 39 al 53 por ciento de las discrepancias en las funciones de movilidad [50, 51].

Según los estudios de Lovie-Kitchin [47] y Pelli [48], el área central del campo visual parece ser el área más importante para la movilidad. Este resultado entra en contradicción con la asunción general de que los individuos con una pérdida sustancial de visión periférica debido a, por ejemplo, glaucoma o Retinosis Pigmentaria demuestran mayor dificultad en la movilidad que individuos con pérdida en el campo visual central debido, por ejemplo, a una degeneración senil macular [28, 50].

El efecto de diversas patologías oculares sobre la movilidad fue analizada por varios autores.

Existe un estudio de 1998 [52] que compara directamente la dificultad percibida, de sujetos con degeneración macular y Retinosis Pigmentaria, sobre varias actividades diarias. Los resultados concurren con la asunción general de que los sujetos con defectos en su visión periférica experimentan más problemas en la movilidad que sujetos con defectos en su visión central, los cuales mencionan las actividades que implican la necesidad de una buena agudeza visual como su principal preocupación. La dificultad percibida en la movilidad también es analizada en diversos estudios para pacientes con Retinosis Pigmentaria [32]-[53]; y para pacientes con glaucoma [54].

La agudeza visual no era un parámetro significativo en la movilidad de cada uno de los grupos de patologías oculares mencionadas.

Las conclusiones sobre los grupos con patologías mixtas es que el campo visual y la sensibilidad al contraste son los principales determinantes de la dificultad real o percibida en la movilidad.

1.8.2. Evaluación de ayudas para personas con ceguera nocturna o RP.

En este apartado se comentan varios ejemplos de evaluaciones realizadas a ayudas visuales opto-electrónicas. Son en estos estudios en los que nos hemos basado para diseñar las evaluaciones realizadas de la ayuda visual propuesta en esta tesis.

En un artículo publicado en el 2004 [55], se evalúan dos dispositivos de ayuda visual para personas con ceguera nocturna. Participaron 6 personas en este estudio a las que se les realizaron pruebas visuales con diferente iluminación, con y sin los dispositivos. La prueba de movilidad consistía en un recorrido interior con obstáculos [56], y una prueba en exterior por la noche. Durante la realización de la prueba en interior se tomó el tiempo que los sujetos empleaban en realizar el recorrido, los contactos con los objetos y varios tipos de errores de movilidad. Al finalizar las pruebas se les pasó un test a los sujetos para que evaluaran varios aspectos de los dispositivos. Esta evaluación permitió detectar las limitaciones de los sistemas y proponer mejoras para la generación de un nuevo modelo.

En estudio piloto realizado en el 2005 [57], participaron tres sujetos afectados de Retinosis Pigmentaria y se pretendían sentar las bases para un futuro estudio de movilidad que evaluará la utilidad de una ayuda visual opto-electrónica [58]. Se seleccionaron dos recorridos en el exterior, similares a los utilizados por otros investigadores [59], con diferentes iluminaciones (una media de 15 lx y 2,5 lx). Los sujetos debían desplazarse por estos recorridos localizando cinco objetos. Tres especialistas anotaban los errores de movilidad, el tiempo que tarda en hacer el recorrido, la distancia del sujeto al objeto en el momento en que lo localiza y las observaciones personales de los sujetos. Las medidas de errores en la movilidad se agruparon en tres categorías: contactos del bastón, contactos del cuerpo y errores de movilidad. Se midió la agudeza visual, el campo visual y la sensibilidad al contraste de los sujetos de la misma forma que en el artículo [55].

Recorren el curso de obstáculos en dos ocasiones, cada una en una dirección diferente, una con el sistema y otra sin el sistema.

Una de las conclusiones de este estudio establece que ya que en última instancia la percepción del usuario del dispositivo de visión nocturna determina si realmente un dispositivo es realmente utilizado, las medidas objetivas deberían combinarse con las medidas subjetivas de los usuarios y la impresión total de funcionamiento de la movilidad observado por el especialista.

El objetivo de un trabajo publicado en el 2004 [60] era determinar si el empleo de gafas de visión nocturna de personas con ceguera nocturna mejora su movilidad e independencia. Para ello 20 sujetos con Retinosis Pigmentaria recorrieron varias rutas durante la noche, con el dispositivo de ayuda y sin ella. Los datos que se tomaron fueron los errores de movilidad cometidos y el porcentaje de la velocidad natural (PPWS "*Percentage of their preferred walking speed*") [61, 62], que el sujeto utilizó durante la prueba. Sus conclusiones consideraban que el dispositivo mejoraba la movilidad y aumentaba la independencia de los sujetos. En el 2006 [63] se publicó un segundo estudio, que complementaba el que se realizó en el 2004, en el que evaluaba las mismas gafas de visión nocturna, en sujetos con ceguera nocturna, después de que las emplearan durante 1 o 2 años. 11 sujetos con Retinosis Pigmentaria participaron en este estudio, en el que debían rellenar una encuesta al final de cada año de empleo del dispositivo. La conclusión del estudio fue que este dispositivo era útil en la vida diaria de los sujetos.

1.9. Estructura de la memoria

Se han centrado los objetivos en el desarrollo y evaluación de dos ayudas visuales para personas con Baja Visión. Estas dos ayudas están descritas en esta memoria. En el Capítulo 2 se detalla el material utilizado en el desarrollo y evaluación de estas ayudas y la metodología seguida durante los 48 meses de trabajo empleados en la realización de esta tesis.

El Capítulo 3 se subdivide en dos apartados, cada uno de ellos dedicado a una de las ayudas visuales propuestas, el *Simulador de Conducción* y el *SERBA*. En el apartado dedicado al simulador se incluyen las especificaciones que se establecieron, su

desarrollo y la evaluación, cualitativa, que se realizó. En el apartado dedicado al SERBA sólo se describen las especificaciones y el desarrollo de los tres algoritmos visuales (*zoom digital*, *Vista aumentada* y *realce de contraste*) almacenados en la FPGA, así como las diferentes configuraciones posibles del sistema. La evaluación realizada del SERBA es más extensa que la realizada al simulador, por lo que se han dedicado 3 capítulos para su descripción.

Se diseñaron evaluaciones para los algoritmos del *zoom digital* y de *Vista Aumentada*. El algoritmo de *realce de contraste* ha sido evaluado por otros autores [64-66].

El Capítulo 4 lo centramos en la evaluación del *zoom digital*, realizándose una descripción de los sujetos que participaron en el estudio, la configuración del dispositivo y las diversas pruebas realizadas. En este mismo capítulo se muestran los resultados obtenidos y se realiza una discusión de estos resultados.

Para evaluar el algoritmo de *Vista Aumentada* se trabajó en condiciones de iluminación diurna y de baja iluminación (evaluación nocturna); estas evaluaciones se describen en los Capítulos 5 y 6 respectivamente. Al igual que en el capítulo dedicado al *zoom digital*, en cada uno de estos capítulos se realiza una descripción de los sujetos que participaron en el estudio, la configuración del dispositivo, las diversas pruebas y tests realizados, para terminar con los apartados de resultados y discusión.

En base a los resultados obtenidos en la evaluación del algoritmo de *Vista Aumentada* se desarrollaron algunas modificaciones en este algoritmo que ha dado lugar a una segunda generación del SERBA. El Capítulo 7 se dedica a las modificaciones introducidas en el algoritmo de *Vista Aumentada*.

Para terminar con la memoria de esta tesis se incluyen los capítulos de conclusiones, trabajos futuros, bibliografía y apéndices.

CAPÍTULO 2

Material y métodos

2.1. Introducción

En este capítulo se realiza una descripción de las tecnologías que se utilizan en el desarrollo y evaluación de las ayudas para baja visión propuestas en esta tesis.

Aparecerán clasificadas en tres apartados: las herramientas utilizadas en el desarrollo del *Simulador de Conducción*, las utilizadas en el desarrollo del SERBA y las utilizadas en la evaluación del SERBA.

También se realizará una descripción de la metodología de trabajo seguida durante los 48 meses de investigación y desarrollo descritos en esta memoria.

2.2. Tecnología empleada

Es importante la especificación detallada de cada uno de los equipos empleados en el desarrollo de esta tesis para tenerlo en cuenta en posibles futuros estudios comparativos realizados por nuestro equipo o por otros investigadores. Es decir, facilitar la reproducibilidad de las condiciones experimentales. Y además la evaluación de todos los factores que pueden afectar a los resultados obtenidos en este trabajo.

2.2.1. Tecnología empleada en el Simulador de Conducción

El simulador de bajo coste propuesto es un programa de procesamiento de imagen realizado en C++. Procesamos imágenes de un videojuego de conducción, proporcionadas por la salida de vídeo compuesto de un PC (o una videoconsola) y son procesados por un segundo PC. Los elementos que empleamos en su desarrollo fueron dos PCs, una tarjeta capturadora y un *sistema seguidor de cabeza* o “head tracker”. Para su evaluación cualitativa incluimos otro elemento, un proyector DLP utilizado con una pantalla casera de retroproyección. En los siguientes apartados se describen con más detalle estos elementos.

2.2.1.1 Tarjeta capturadora

Utilizamos una tarjeta de AverMedia AverTV GO/FM para la captura de señales de vídeo. Posee entradas de Vídeo Compuesto, S-Vídeo y Antena (Cable Coaxial). El máximo tamaño de captura es de 720×576 (PAL).

2.2.1.2 Sistema seguidor de cabeza o “Head tracker”

En el desarrollo de algunas ayudas y de su posterior evaluación hemos necesitado conocer la posición de la cabeza de los sujetos, para ello hemos empleado el *sistema seguidor de cabeza* o “head tracker” InerTrax2 de InterSense (Figura 2.1) [67].

Este sistema tiene 3 grados de libertad, un botón de cero, de gran estabilidad y conexión USB.



Figura 2.1.- Imagen del sistema InerTrax2 [67].

2.2.1.3 *Proyector*

El proyector que se seleccionó, por tener tecnología DLP y un alto rango de contraste de 2000:1, fue el EP757 de Optoma. Este proyector utiliza tecnología de *procesamiento digital de luz* o “Digital Light Processing” (DLP). Es una tecnología que se usa en proyectores y televisores de proyección. El DLP fue desarrollado originalmente por Texas Instruments, y sigue siendo el único fabricante de esta tecnología, aunque muchos productos de mercado autorizados están basados en sus circuitos integrados auxiliares.

En los proyectores DLP la imagen está creada por espejos microscópicos dispuestos en una matriz sobre un chip semiconductor, conocido como Digital Micromirror Device (DMD). Cada espejo representa un píxel en la imagen proyectada. El número de espejos se corresponde con la resolución de la imagen proyectada. Los proyectores con tecnología DLP ofrecen mejor contraste, reproducción de color e imágenes más nítidas.

Las especificaciones del EP757 más interesantes para nuestro trabajo eran las siguientes:

- Resolución del visor: DLP, XGA (1024×768 píxel), SXGA (1280×1024 píxel) comprimidos
- Compatible: SXGA, XGA, SVGA, VGA.
- Formato vídeo: PAL, PAL-M, PAL-N, SECAM, NTSC, NTSV4.43.
- Rango de contraste: 2000:1
- Colores del visor: 16,7 millones de colores.
- Luminosidad: 2300 ANSI Lúmenes
- Distancia de proyección: 1,14 m a 10 m

2.2.2. **Tecnología empleada en el desarrollo del SERBA**

El núcleo de procesamiento del SERBA es un dispositivo FPGA, que es encargado del procesamiento de imagen en tiempo real. Pero a esta FPGA se le pueden conectar diversos periféricos de entrada (mini-cámaras, señal de TV, de vídeos, etc.) y varios de salida (TV, monitor, visor vestible o “head mounted display”, etc.). En los siguientes apartados hacemos una descripción de los periféricos seleccionados en la configuración del SERBA.

2.2.2.1 *Dispositivos de procesamiento de imagen en tiempo real*

Como núcleo de nuestra ayuda tenemos una plataforma de prototipado de bajo coste RC100 de Celoxica [43]. Esta placa incorpora un sistema de captación de vídeo (*frame-grabber*), una FPGA Xilinx Spartan II [44], y una salida de VGA. Esta tarjeta acepta señales NTSC/PAL/SECAM a través de un conector RCA o de S-vídeo y salidas en RGB. En la Figura 2.2 podemos ver una imagen de la plataforma RC100 descrita.

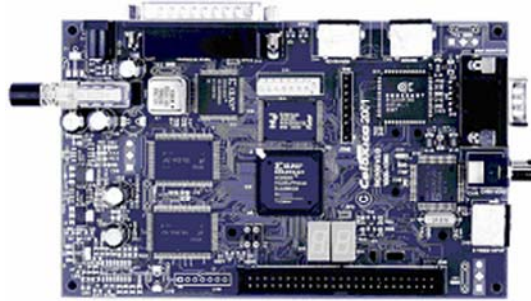


Figura 2.2.- Imagen de la placa de prototipado RC100 de Celoxica

Se detallan a continuación algunos de los elementos de la placa.

La RC100 contiene dos circuitos lógicos programables:

- XILINX Spartan II FPGA: Tiene 200Kpuertas. Es el principal chip programable.
- XILINX XCR3128XL CPLD: Es el CPLD (Complex programmable logic device) que se utiliza para realizar la configuración de la Spartan II por medio de la memoria permanente Flash RAM o el puerto paralelo.

Otros dispositivos de la placa

- **Memoria Flash** (*Intel Strata Flash*) de 64 Mbits. La RAM Flash está dividida en 64 bloques, cada uno de 128KB. Todas las señales necesarias para operar con este dispositivo en modo 8-bit y 16-bit pueden ser conectadas directamente a la FPGA.
- Dos circuitos de memoria **SSRAM** independientes de 36 bloques de 256K: Para el almacenamiento general de datos.
- **Philips SAA7111A** EVIP decodificador de vídeo: Acepta señales de NTSC/PAL/SECAM con conectores RCA o S-vídeo. Este decodificador puede proporcionar una salida RGB de 16 o 24 bits, o una salida en formato YCRCB. Todas las señales de control de este chip pueden ser gobernadas directamente por la FPGA.
- **DAC** (*Convertidor Analógico Digital*) de 24 bits: Se utiliza por la FPGA para convertir la señal digital que proporciona la FPGA en una señal de vídeo VGA de 24 bits. EL DAC tiene señales de sincronización y de *Blanking* que permiten enviar los voltajes de salida apropiados (para el estándar VGA) en los periodos de *Blanking*.
- Dos puertos **PS2**: Uno para el ratón y otro para un teclado.
- Un **Puerto paralelo**: Se utiliza para programar la Flash RAM, la FPGA y permite una comunicación bi-direccional.

- **Reloj:** La placa RC100 utiliza un reloj que tiene una frecuencia de 80MHz. Este reloj alimenta la FPGA y el CPLD. El CPLD utiliza el reloj principal de la placa, que tiene una frecuencia de 80 MHz e internamente lo divide por 12, con lo que su frecuencia interna es de 6,66 MHz

2.2.2.2 Visor vestibular (“*Head Mounted Display*”)

Virtual IO glasses:

El primer visor vestibular (“*Head Mounted Display*” o HMD) con el que trabajamos fue *Virtual IO glasses* [68] (Figura 2.3.a). Este HMD permitía ver a través de él (transparente), es de bajo coste y trabaja con señales NTSC. El campo visual horizontal de este HMD es de 27°.

NOMAD ND2000:

El Nomad (Figura 2.3.b) crea la imagen utilizando una tecnología de Microvision [69], llamada *scanned-beam* que proyecta, mediante barrido de haz, la imagen directamente sobre la retina del usuario [70-72]. La pieza que se emplea como ocular, que podemos ver en la Figura 2.3.c, está especialmente diseñada para poder ver la imagen que se refleja en el ojo del usuario y simultáneamente seguir viendo el mundo exterior. El resultado es una gran calidad de imagen y seguir manteniendo el contacto visual con el mundo real.

Las características de la imagen que proporciona el Nomad ND2000 son:

- Resolución del visor: 800×600 (SVGA)
- Luminancia: de 1 a 8800 lx
- Campo visual: 23° CVH por 17,25 CVV.
- Color del visor: Monocromo-Rojo
- El usuario puede discernir 32 niveles de gris.
- Rango dinámico $\geq 5000:1$
- Ratio de contraste $\geq 100:1$
- Distancia de enfoque desde 1ft (30,48 cm) al infinito (Ajustable por el usuario)
- Refresco de la imagen: 60 Hz

Las características físicas del Nomad ND2000 son:

- Distancia del visor al ojo: 25 mm compatible con la utilización de gafas
- Peso:
 - Módulo del visor: 128 g además del peso de la gorra (205 g en total).
 - Módulo de generación de la imagen que va al visor: 794 g incluida la batería.

- Funcionamiento en el ambiente:
 - Temperatura: entre -20° y 45° (sin batería)
 - Humedad relativa: del 10 al 90% no-condensada (sin batería)
 - Temperatura de almacenaje: entre -20° y 60° .



Figura 2.3.- (a) Virtual IO glasses; (b) NOMAD ND2000; (c) Detalle del visor del NOMAD ND2000.

2.2.2.3 Cámaras.

Trabajamos con diversas minicámaras. Puesto que estas cámaras se montan en el HMD necesitamos que sean ligeras. Para el caso en el que trabajemos con pacientes con ceguera nocturna utilizamos cámaras sensibles a bajas condiciones de iluminación (*ExView*).

ExView HAD CCD es un CCD que mejora drásticamente la eficiencia de la iluminación por incluir sensibilidad en una región cercana al infrarrojo en la estructura básica del sensor HAD (Hole-Accumulation Diode). Las cámaras con ExView tienen una alta sensibilidad y poco peso.

Luz cerca de la región del infrarrojo, con longitudes de onda largas, es convertida a una señal eléctrica por un sensor fotoeléctrico incluido en el semiconductor de silicio. Un sensor CCD convencional no puede convertir eficientemente la luz que queda dentro del rango del sensor fotoeléctrico incluido en el ExView. Esto hace posible que iluminando con luz infrarroja, invisible a simple vista, se puedan capturar imágenes de objetos que se encuentran escasamente iluminados.

En la Figura 2.4 podemos ver la comparación entre una imagen tomada con una ExView HAD CCD y una imagen tomada con un CCD convencional. La imagen fue tomada en una habitación en completa oscuridad, iluminando los objetos con un LED. El LED tenía una longitud de onda de 945 nm y la distancia de iluminación era de 1 m [73].

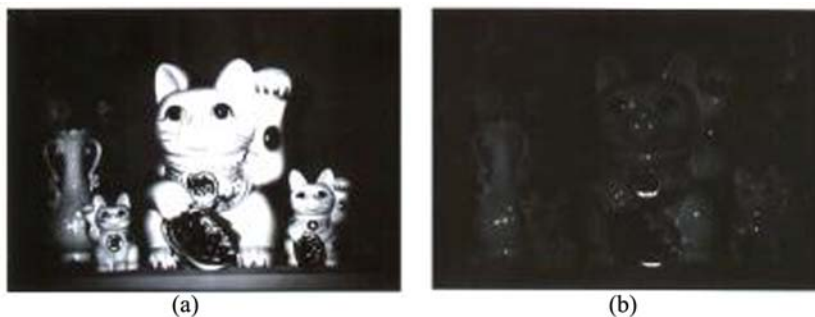


Figura 2.4.- Comparación de una imagen de ExView HAD CCD (a) y un convencional CCD (b).

En la Figura 2.5 podemos ver una comparación de las características de sensibilidad espectral del ExView HAD CCD y un CCD convencional. Con una longitud de onda de 945 nm, el ExView HAD CCD alcanza una sensibilidad aproximadamente 4 veces mayor que un CCD convencional.

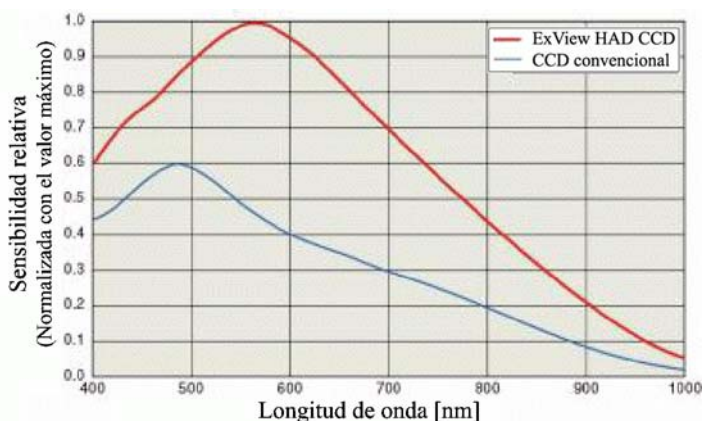


Figura 2.5.- Comparación de las características de sensibilidad espectrales de un ExView HAD CCD y un CCD convencional.

Algunas de las cámaras con las que hemos trabajado son:

1. **PC180XS.**- Es una *Exview* 1/3" CCD. Le hemos adaptado una lente que nos da un campo visual 78°. Una alta eficacia para la luz IR hace que sea muy efectiva para la visión nocturna. Esta cámara es la que se ha montado con el NOMAD. (Figura 2.6.a). Esta cámara tiene una sensibilidad de 0,0003 lx.
2. **2005XA.**- También es una *Exview* 1/3" CCD . (Figura 2.6.b).
3. **CAM 2.**- 1/4" CMOS monocromo, con una sensibilidad de 0,5 lx. Esta cámara fue elegida por su pequeño tamaño y peso. (Figura 2.6.c).



Figura 2.6.- Ejemplos de minicámaras: (a) PC180XS; (b) 2005XA ; (c) CAM 2.

2.2.3. Tecnología empleada en la evaluación del SERBA

En la evaluación del SERBA se realizaron mediciones de AV, sensibilidad al contraste y campo visual, para ello se emplearon sistemas de medida específicos. Estos sistemas se comentarán con más detalle en los siguientes apartados. También se describirá el test VFQ25 [74-77] que nos permitió conocer las dificultades que experimentan los sujetos que participan en el estudio en su vida diaria. Por último mencionaremos los visores nocturnos empleados para realizar comparaciones con nuestro sistema.

2.2.3.1 Autoplot. Campimetrías

Para medir el campo visual monocular en ambos ojos, de los sujetos que participaron en la evaluación del SERBA (Capítulos 5 y 6), se utilizó el sistema de campimetría casero emulando al comercial *AutoPlot* (Bausch & Lomb, Rochester, NY), con un estímulo negro sobre blanco y a una distancia de 1 metro. Este sistema de campimetría ha sido utilizado en otros estudios para determinar el campo visual de sujetos con Retinosis Pigmentaria [78], o con degeneración macular [79].

El *AutoPlot* es un programa que genera dos pantallas, una se le muestra al sujeto y a la otra solo tiene acceso el evaluador. La pantalla que se muestra al sujeto es blanca, con un estímulo móvil negro, y con una cruz central negra en la que el sujeto debe fijar su mirada. Esta pantalla se debe situar a 1 metro del sujeto. El evaluador, desde su pantalla, desplazará el estímulo móvil siguiendo una dirección radial desde la periferia al centro. El sujeto pulsa un botón cuando el estímulo entra en su campo visual, y esta posición queda marcada en la pantalla del evaluador. Una imagen de estas tres pantallas se puede ver en la Figura 2.7.

Con el *AutoPlot* podemos medir campos de hasta 90° de campo visual horizontal y vertical.

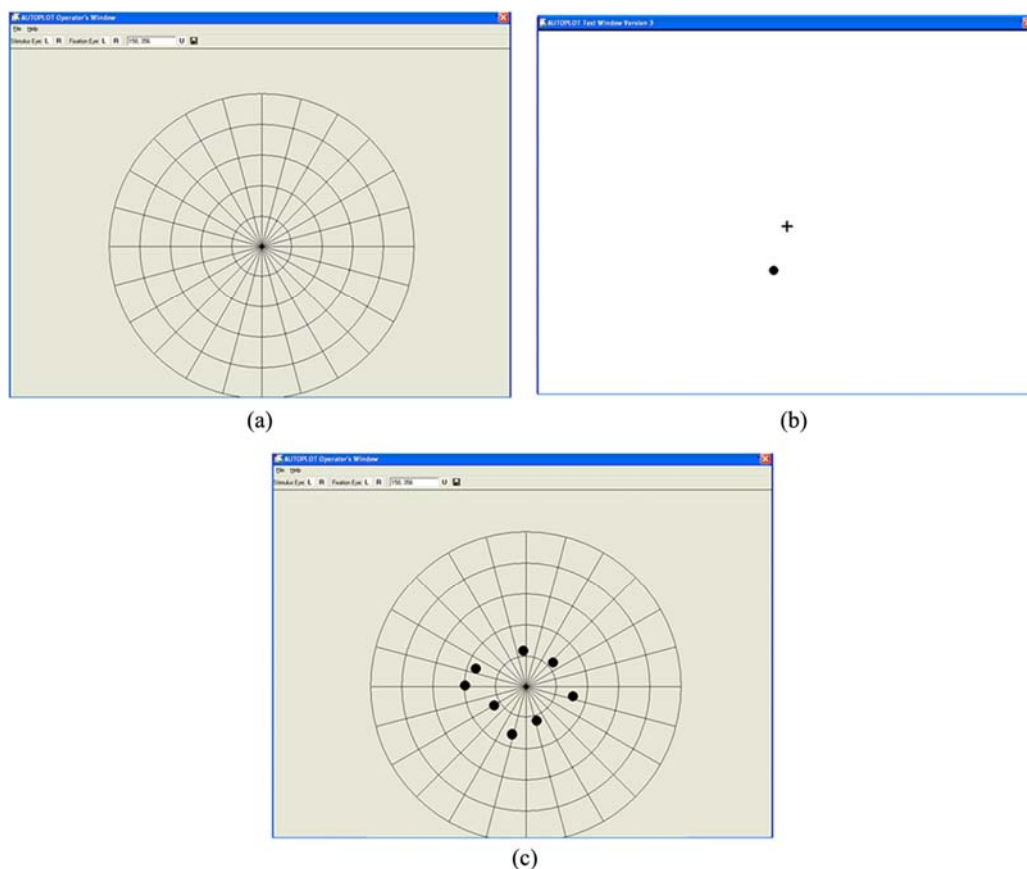


Figura 2.7.- Imágenes del *AutoPlot*. (a) Pantalla inicial del evaluador; (b) pantalla del sujeto; (c) resultado de la campimetría.

2.2.3.2 Test *ETDRS*. Agudeza visual

Sloan [80, 81] diseñó una serie de 10 letras de aproximadamente la misma legibilidad, basadas en un formato 5×5 . Las cartas de agudeza visual con las que trabajamos presentan una progresión geométrica en el tamaño de las letras de cada fila, siendo el cociente entre tamaños sucesivos relativamente uniforme. Esta gradación tiene como ventaja que el tamaño de letra se dobla cada dos líneas aproximadamente. Con este tipo de escala se ha demostrado que utilizar unidades *logMAR* (logaritmo del mínimo ángulo de resolución) [82-84] en la notación de la agudeza visual es más preciso que cualquiera de las otras escalas que existen. El *Mínimo Ángulo de Resolución* (MAR acrónimo del inglés *Minimum angle of Resolution*) expresa la agudeza visual en minutos de arco indicando el tamaño angular del mínimo detalle que es capaz de resolver en el optotipo. La máxima agudeza visual se correspondiera con 0 *logMAR* y la mínima con la unidad (justo a la inversa que en la escala decimal). Cuando la agudeza visual es mayor de 1 decimal (20/20) el valor del *logMAR* es un número negativo.

El test utilizado ha sido el ETDRS (*Early Treatment Diabetic Retinopathy Study*) [84] (Figura 2.8). Este test tiene unas medidas de 64,8 cm de ancho por 62,2 cm de alto. Las letras están plasmadas en un poliestireno blanco de alto impacto antirreflejante que se puede lavar para mantener un alto contraste entre el fondo blanco y las letras negras. El test ETDRS utiliza cinco letras por línea. El espacio entre letras es del ancho de una letra y el espacio entre líneas tiene la altura de las letras de la siguiente línea. Así, la progresión de altura de las letras es geométrica. Los tamaños van de 58,18 a 2,92 mm, con unas agudezas visuales equivalentes en decimal de 0,1 a 2 (en pies de 20/200 a 20/10, en metros de 6/60 a 6/3, en logMAR de +1 logMAR a -0,3 logMAR), a la distancia de 4 metros.

Las letras situadas al principio y al final de una línea tienen dificultad diferente de las letras que están en el centro de la línea, puesto que hay menos interacción de contornos al final de una línea.



Figura 2.8.- Test ETDRS.

2.2.3.3 CSV-1000E. Sensibilidad al contraste

Las medidas de Sensibilidad al contraste (SC) se realizaron empleando un test CSV-1000E. Este es un test de elección forzada, que permite el nivel más alto de fiabilidad [85]. El CSV-1000E es una unidad de evaluación de contraste estandarizada, la cual tiene una serie de fotocélulas y un circuito de control exclusivo que automáticamente monitoriza y ajusta la intensidad de luz a un nivel estandarizado de 85 cd/mm ($2 \pm 0,1$ u. log). Este nivel de luz es el recomendado por el Comité Nacional sobre Visión de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos y esta autocalibración asegura resultados fiables entre medidas. La unidad CVS-1000E mide la capacidad del sujeto para detectar diferencias en luminosidad (contraste), entre los enrejados de ondas sinusoidales y su fondo. Para ello dispone de cuatro filas dobles de discos, de 1,5 pulgadas de diámetro. Existen 8 parejas de discos por fila (Figura 2.9), y un disco

muestra inicial en cada una de ellas. Cada fila se corresponde con una de las cuatro frecuencias espaciales: 3, 6, 12 y 18 ciclos/grado de ángulo visual (c/g), cuando se mide a 2,5 m (8 pies); un ciclo es un par de barras claras y oscuras adyacentes; un patrón de baja frecuencia espacial contiene unas pocas barras anchas mientras que un patrón de alta frecuencia espacial contiene muchas barras. Además, el contraste decrece en cada fila de izquierda a derecha, desde 0,7 c/g a 2,08 c/g en la primera fila; desde 0,91 a 2,29 c/g en la segunda fila; desde 0,61 hasta 1,99 c/g en la tercera fila y desde 0,17 a 1,55 c/g en la cuarta fila. El contraste disminuye 0,17 unidades logarítmicas entre el primer y el tercer disco, y 0,15 unidades logarítmicas entre el tercero y el octavo disco.

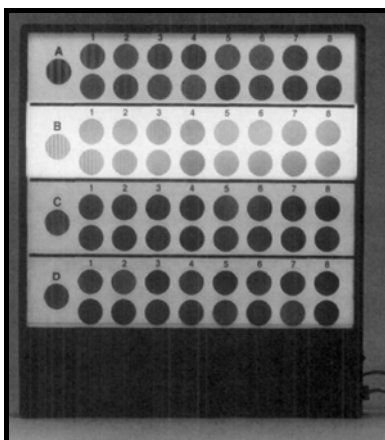


Figura 2.9.- Imagen del test CSV-1000E

2.2.3.4 Visor nocturno

Se le permitió a un sujeto con Retinosis Pigmentaria que utilizara el SERBA y un visor nocturno, en condiciones de baja iluminación, para que valorara la ayuda que les proporcionan los dispositivos, y nos indicara su preferencia y la razón.

El visor nocturno utilizado fue el *ATN Viper* (Figura 2.10), este visor es monocular. La imagen se muestra con una ampliación de $\times 1$, pero hay modelos que permiten hacer ampliaciones de $\times 3$ o $\times 6$. Este visor dispone de un iluminador de infrarrojos, tiene una resolución de 36 lp/mm (lp/mm.- líneas por milímetro), y campo visual de 14° . Las dimensiones son $127 \times 51 \times 25$ mm, con un peso de 280 g.



Figura 2.10.- Visor nocturno, ATN Viper.

2.2.3.5 VFQ25

El primer cuestionario, que rellenaron los sujetos que participaron en la evaluación del SERBA, fue el *Visual Function Questionnaire 25* (VFQ25) del *National Eye Institute* [74-76]. En este cuestionario los sujetos puntúan cómo afectan sus deficiencias visuales a su vida diaria. Existe una traducción al español de este cuestionario, realizada por el Dr. B. Muñoz [77].

El VFQ25 investiga cómo afectan las deficiencias visuales a las relaciones sociales, a la salud mental y a la dependencia. Esto permite distinguir cómo afecta la evolución de las pérdidas visuales con la calidad de vida. Mangione correlacionó el test con la agudeza visual [74], observando que el test era sensible a los cambios que se producían, a lo largo del tiempo, en la agudeza visual [86]. Fue un trabajo realizado en un amplio periodo de tiempo y se estudiaron cambios mínimos de 3 líneas, de los test ETDRS, en la agudeza visual. Una pérdida de visión de tres líneas se usó en pruebas clínicas de tratamientos para Degeneración Macular [87]. También se han realizado estudios en los que pérdidas de dos líneas se consideran cambios clínicamente significativos [88]. Aún no se ha demostrado que el VFQ sea lo suficientemente sensible para detectar pérdidas en la visión de dos líneas.

2.3. Metodología del trabajo realizado

Esta tesis doctoral se realizó en el marco del Proyecto de Investigación “*Desarrollo de ayudas optoelectrónicas para la rehabilitación visual en la restricción severa del campo visual periférico: Implementación de prototipos y evaluación en pacientes*” [89]. El trabajo descrito en esta memoria comenzó en el sexto mes de este proyecto. El

objetivo de esta tesis era la implementación y evaluación de ayudas visuales para sujetos con Baja Visión. El trabajo se centró en dos tipos de ayudas:

- Simulador de Conducción.
- S.E.R.B.A. (Sistema Electro-óptico Reconfigurable de Ayuda para Baja Visión).

El esquema de trabajo seguido en el desarrollo e implementación del Simulador de Conducción se puede ver en la Figura 2.11. En esta figura se muestran los meses en los que se realizaron la especificaciones y el desarrollo. El mes 0 es el mes de Mayo del 2003, fecha en la que se inició el trabajo descrito en esta memoria de Tesis.

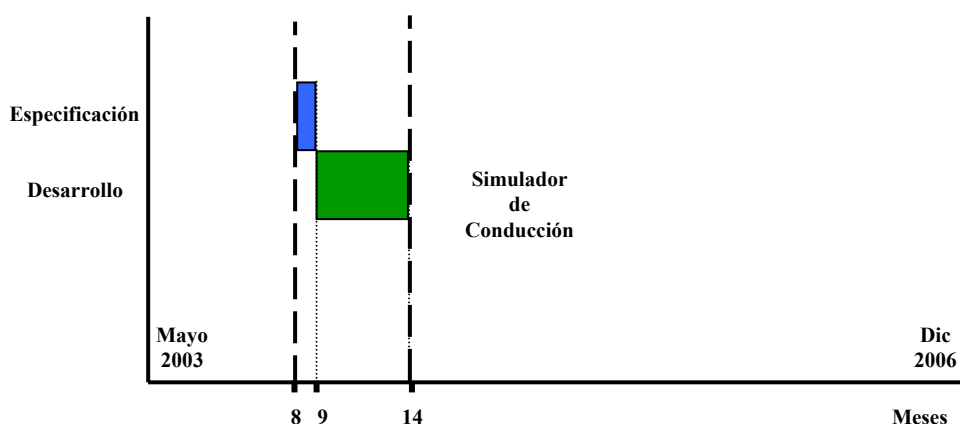


Figura 2.11.- Esquema de trabajo seguido en el desarrollo del simulador de Conducción.

En la Figura 2.12 aparece el esquema de trabajo seguido para el desarrollo y evaluación del SERBA.

En los seis meses previos al trabajo que se describe en esta memoria, en el proyecto de investigación en el que estaba enmarcada esta tesis, un grupo de investigadores de la Universidad de Granada desarrollaron los circuitos de procesamiento de imagen en tiempo real, que forman parte del sistema.

Existen dos prototipos del SERBA, pero sólo el segundo se consideró que tenía las cualidades necesarias como para emplearlo en una evaluación con sujetos reales. En base a los resultados obtenidos en esta evaluación se introdujeron unas modificaciones en los algoritmos de procesamiento de imagen del SERBA.

Por lo tanto, cuando el trabajo que se describe en esta memoria comenzó ya se disponía de las especificaciones y los circuitos de procesamiento de imágenes. La contribución comenzó estableciendo las especificaciones necesarias para el desarrollo del primer prototipo. El núcleo de procesamiento del prototipo era un dispositivo FPGA de Xilinx en una placa de prototipado de Celoxica (RC100), donde se cargan los circuitos de procesamiento de imágenes. Fue necesario determinar qué periféricos de la

placa eran los más adecuados para la ayuda visual (SERBA). Se realizó una búsqueda de minicámaras, HMD, proyectores, etc.

Se observaron deficiencias de contraste y transparencia en el HMD seleccionado por lo que se generaron unas nuevas especificaciones para corregir estos defectos y en base a ellas se realizó una nueva búsqueda de periféricos. El segundo prototipo mejoraba notablemente la calidad de la imagen y la transparencia del visor. Se diseñó una evaluación del SERBA con sujetos con baja visión, ya que las características conseguidas, en el SERBA, animaban a pensar que se obtendrían unos resultados interesantes.

En base a los resultados obtenidos en la evaluación del segundo prototipo se introdujeron modificaciones en los algoritmos de procesamiento de imágenes del SERBA.

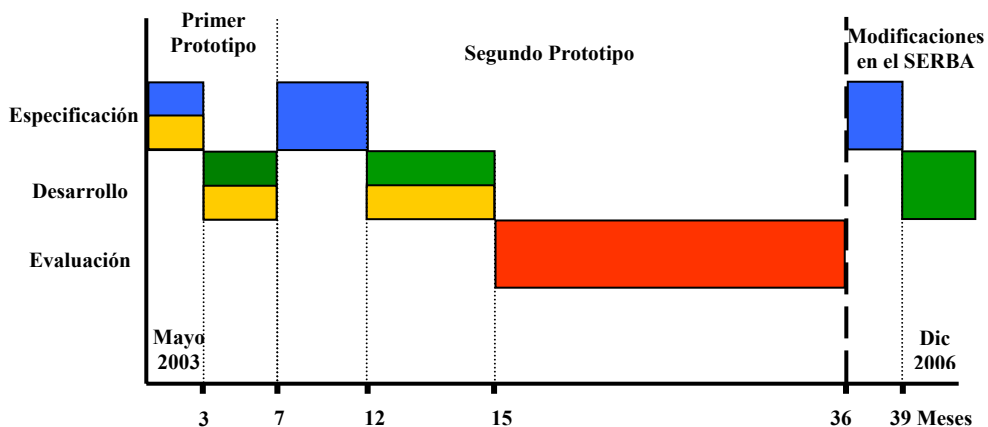



Figura 2.12.- Esquema de trabajo seguido en el desarrollo y evaluación del SERBA.

.-Trabajo realizado por otros investigadores de la Universidad de Granada en los seis meses previos a Mayo del 2003. Este trabajo se empleó en la etapa de desarrollo del primer y segundo prototipo.

2.4. Objetivos del trabajo

El objetivo fundamental del trabajo es el desarrollo y evaluación de ayudas para patologías de baja visión. En concreto nos hemos centrado en ayudas opto-electrónicas. La validación de este tipo de ayudas es una tarea compleja que requiere de un conocimiento amplio de diversos tipos de tecnologías. Además la evaluación de su utilidad con pacientes de baja visión precisa de la utilización de test específicos y el diseño de pruebas que indiquen de forma cuantitativa la calidad de la ayuda.

Por lo tanto los objetivos principales de este trabajo son los siguientes:

- Desarrollo de un simulador de diversas ayudas visuales, como telescopios biópticos, sistemas anamórficos o telescopios invertidos.
- Evaluación de diversas funciones de procesamiento de imágenes (zoom, realce de contrastes, multiplexación de bordes para ampliar el campo visual, etc).
- Desarrollo de especificaciones para la mejora de este tipo de ayudas y propuesta de nuevas modalidades visuales que puedan ser interesantes su incorporación en este tipo de plataformas.

CAPÍTULO 3

Ayudas desarrolladas para Baja Visión

3.1. Introducción

Las ayudas desarrolladas en esta tesis son dos, un *Simulador de Conducción* y el SERBA.

El simulador de conducción permite simular, sobre un vídeo juego de conducción, varios tipos de ayudas ópticas, empleadas por pacientes de baja visión para mejorar su conducción. El objetivo es permitir que los pacientes se entrenen en el uso de estas ayudas y que prueben cuál se adapta mejor a sus necesidades.

El SERBA es una ayuda opto-electrónica, que tiene implementados varios algoritmos de procesamiento de imágenes en tiempo real. Estos algoritmos son tres: *zoom* digital, el algoritmo de *Vista Aumentada* y un realce de contraste. El *zoom* digital y el realce de contraste son ayudas visuales muy utilizadas, mientras que el concepto de *Vista Aumentada* fue recientemente propuesto como ayuda para personas con baja visión [24].

3.2. Simulador de Conducción

Para mejorar la conducción en pacientes con baja visión se utilizan diversas ayudas visuales (como telescopios biópticos o sistemas anamórficos)

Un bióptico es un sistema que permite al sujeto tener una imagen ampliada, en una zona específica de su campo visual, de forma simultánea con la imagen original. La configuración habitual es la de un telescopio colocado sobre la corrección visual del sujeto (lentes). Esto permite una visión normal a través de las lentes y cuando es necesario, mediante un leve movimiento de la cabeza, se obtiene una visión ampliada a través del bióptico. En la Figura 3.1 tenemos tres imágenes que muestran como posicionar el bióptico para tener una visión normal o una visión ampliada. Un ejemplo de la visión de un sujeto que utiliza un bióptico aparece en la Figura 3.2. Las ampliaciones más utilizadas en telescopios biópticos para conducción son $\times 2,2$, $\times 3,0$ y $\times 4,0$ [90, 91].

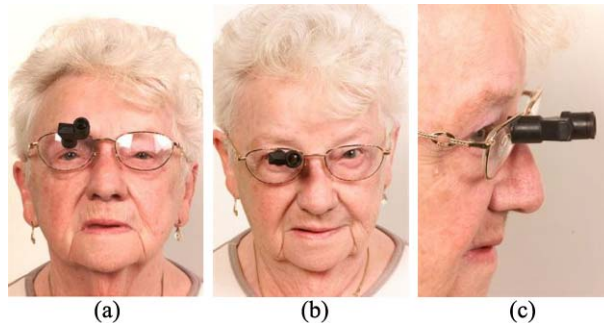


Figura 3.1.- Imagen de un bióptico.(a) Posición sin utilización de la ampliación, (b) posición para tener una visión ampliada, (c) imagen lateral del bióptico.



Figura 3.2.- Composición de imágenes que simula la visión que tendría un sujeto que utiliza un bióptico.

Las lentes anamórficas por lo general se prescriben a sujetos con restricciones en la visión periférica. Consisten en un telescopio afocal invertido con lentes cilíndricas.

Estas lentes reducen el tamaño de la imagen a lo largo del meridiano horizontal manteniendo el mismo tamaño a lo largo del meridiano vertical. Esta reducción permite a los sujetos tener un campo visual más amplio, que les facilita la movilidad. Las reducciones utilizadas van desde los $\times(1/1,2)$ a $\times(1/2,0)$ [92].

Ambos dispositivos de baja visión tienen desventajas. Los usuarios de biópticos reducen su campo visual, y se genera un escotoma (área ciega) en forma de anillo que se corresponde con el borde del bióptico junto con el hecho de aumentar la imagen. Los sujetos que miran continuamente a través de sistemas anamórficos ven una imagen distorsionada que puede producirles náusea y vértigo. Estas desventajas pueden ser eliminadas con un empleo eficaz del bióptico y del sistema anamórfico; esto requiere un periodo de entrenamiento. Este periodo de entrenamiento se puede realizar con un simulador de ayudas visuales. Este es el motivo principal que ha impulsado el desarrollo de este simulador como parte del trabajo que se describe en esta memoria de tesis.

Hemos implementado, en C++, un método para simular, en ambientes virtuales, el concepto de varias ayudas visuales (biópticos, telescopios invertidos y sistemas anamórficos). El sistema propuesto captura cualquier fuente de vídeo y amplía un área seleccionada de la pantalla sobre la imagen original. La posición angular de el área ampliada es variable con la posición de la cabeza, que está controlada por un sistema seguidor de cabeza (“Head Tracker”).

Las herramientas utilizadas en el desarrollo del simulador son: una capturadora de vídeo comercial y, como head-tracker, un giroscopio de Isense Tracker.

La fuente de vídeo la proporciona la salida del PC donde se está ejecutando un vídeo-juego de conducción. Esta salida, con una resolución 1280×1024 píxeles, es capturada con una resolución de 720×576 píxeles por el PC en el que se ejecuta el *simulador de conducción*. La resolución viene impuesta por la tarjeta capturadora de bajo precio que se seleccionó, la AverMedia AverTV; si es necesario se puede mejorar la resolución seleccionando una capturadora de mejor calidad. La señal se captura utilizando la entrada de vídeo compuesto con formato PAL. Esta señal es procesada por nuestro programa de *Simulación de Conducción*, y el resultado se proyecta en una pantalla de gran ángulo a 25 imágenes por segundo.

El sistema es muy flexible para el estudio de las preferencias y las necesidades de los usuarios potenciales de ayudas visuales, debido a la selección en línea de variables como la amplificación del telescopio simulado, su campo visual, o su colocación en el montaje respecto a la posición de la cabeza. El estudio del funcionamiento de otros rasgos como la *simulvisión* (la amplificación desplazada ligeramente respecto al eje del campo visual) o la configuración bi/monocular también es posible.

Este sistema es de utilidad para la demostración y el entrenamiento en el empleo de ayudas visuales.

3.2.1. Descripción del dispositivo

El sistema de simulación de conducción está formado por dos PCs, un sistema de seguimiento de la posición de la cabeza (“Head-Tracker”), un videojuego de conducción y el programa desarrollado para realizar la simulación.

En uno de los PCs se ejecuta el videojuego de conducción a pantalla completa y se lanza por su salida de vídeo compuesto. En el segundo ordenador ejecutaremos nuestro programa (C++) de simulación de conducción. Este programa captura la señal de vídeo que genera el primer PC, activando la tarjeta AverMedia AverTV Go, que tiene instalada el PC. El programa de simulación de conducción selecciona una zona de las imágenes obtenidas de la captura de vídeo y las amplifica en un factor fijado por el usuario y la superpone a la imagen original.

El usuario podrá seleccionar varios parámetros de la simulación:

- El factor de amplificación que se va a introducir en la zona seleccionada.
- Si se quieren introducir deformaciones en la imagen.
- La forma de la zona amplificada, circular o cuadrada
- Si se quiere simular *simulvisión*. Se desplaza la imagen ampliada respecto el eje de visión.
- El tamaño de la imagen final, superposición de la original con la amplificación.

Para conseguir la *simulvisión* se le permite, al usuario, seleccionar el lugar donde desea que aparezca la ampliación, para ello se introduce un desplazamiento del centro de la zona seleccionada para la amplificación. El desplazamiento puede introducirse en el eje X, Y o en ambos simultáneamente.

La selección del píxel central, de la zona que se quiere amplificar, se puede realizar mediante un sistema de seguimiento de la posición de la cabeza (“Head-Traker”) o el ratón. El tamaño de esta zona lo fija el usuario introduciendo el valor de alto y ancho, en grados si está utilizando el sistema de seguimiento de la cabeza o en píxel si está empleando el ratón.

3.2.2. Tipos de transformaciones en la imagen

El programa que hemos desarrollado pretende simular, de forma eficaz, las diferentes opciones que ofrecen los biópticos comerciales. Por ello podremos seleccionar entre diferentes aumentos, diferentes tamaños de la zona amplificada y desplazar la imagen aumentada respecto del eje de visión para generar *simulvisión*.

Podemos conseguir muy diversos efectos combinando estas tres opciones y teniendo en cuenta que estos tres parámetros se podrán modificar de forma independiente en cada uno de los ejes cartesianos, X e Y.

Biópticos

Podemos conseguir aumento de la imagen con diversos tamaños para probar el tipo de bióptico al que se adaptaría mejor el sujeto. Eligiendo diferentes tamaños de lupa, en el eje X e Y, podemos darle una forma ovalada a la imagen amplificada. Un ejemplo de esta aplicación se puede ver en la Figura 3.3. Son imágenes reales, capturadas de la salida VGA del simulador de conducción.



Figura 3.3.- Ejemplo de aumento: (a) Imagen original; (b) simulador de conducción.

Simulvisión

En ocasiones resulta útil tener una imagen simultánea de la amplificación realizada, de una zona concreta, desplazándola respecto del eje de visión del sujeto. Esta situación se puede simular en este programa. El desplazamiento de la amplificación se puede realizar tanto en el eje X, como en el eje Y, de forma independiente. Un ejemplo de esta aplicación se puede ver en la Figura 3.4.(a).

Telescopio invertido

En el caso de que necesitemos una expansión del campo visual, seleccionando un aumento menor que 1 podemos simular un telescopio invertido, Figura 3.4.b.

Sistemas anamórficos

También se pueden simular sistemas anamórficos introduciendo deformaciones en el meridiano horizontal o vertical, Figura 3.4.c.

En la Figura 3.4 podemos ver un ejemplo de estos tres últimos casos. Las tres imágenes están capturadas de la salida VGA del simulador de conducción.

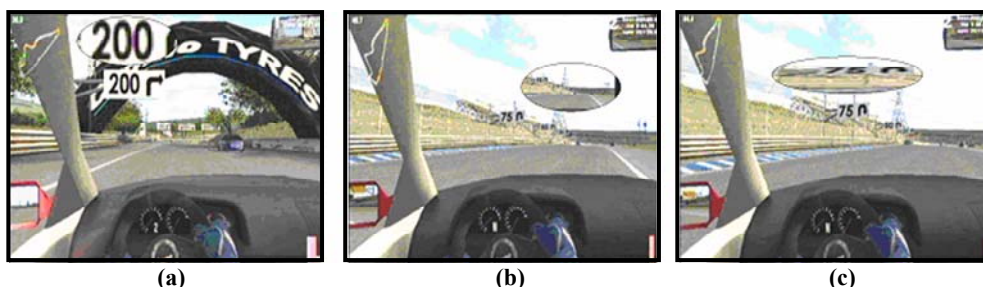


Figura 3.4.-Ejemplos: (a) Simulvisión; (b) telescopio invertido; (c) sistema anamórfico.

3.2.3. Descripción del programa realizado en C++

En este apartado vamos a realizar una descripción del programa y de las librerías utilizadas.

3.2.3.1 Librerías

Las librerías más significativas que utilizamos son:

vfw.h: *Video for Windows* permite a una aplicación capturar y procesar vídeo. En la actualidad muchas de las funciones que realizaba “*video for Windows*” son realizadas por Directx. Puede capturar hasta 30 imágenes por segundo, el problema es que sólo se puede usar para cámaras que soporten VFW, ya que los nuevos dispositivos de captura sólo soportan WDM (*Windows Driver Model*).

Los archivos vfw.h contienen varias APIs (*Application Programming Interface*) que conforman el vídeo para Windows, de las cuales nosotros vamos a utilizar:

- DRAWDIB.- Rutinas para dibujar.
- VIDEO.- Interfaz de captura de vídeo.

isense.h: Esta librería se utiliza para el control del sistema de seguimiento y la suministra el fabricante.

3.2.3.2 Formulario del programa

Vamos a realizar ahora una breve descripción del programa.

El primer paso es inicializar la captura, seleccionando la fuente de la misma de una lista donde se encuentran todos los dispositivos de captura disponibles. Una vez seleccionado el dispositivo se muestra la siguiente pantalla (Figura 3.5).

En el recuadro negro que se ve en la Figura 3.5 aparecerá una previsualización de la captura. La simulación de un Bióptico (imagen original más amplificación) se mostrará en la zona del recuadro blanco con el tamaño seleccionado por el usuario.

Se puede seleccionar cualquier tamaño para mostrar la imagen final, pero un tamaño excesivo produce un aumento del tiempo necesario para componer las imágenes.

Desde esta ventana (Figura 3.5) podemos modificar algunos parámetros de la captura, como son el número de imágenes por segundo, la fuente de la señal de vídeo y el formato de la señal de vídeo. A estas dos últimas opciones se accede mediante el botón “*Format*”.

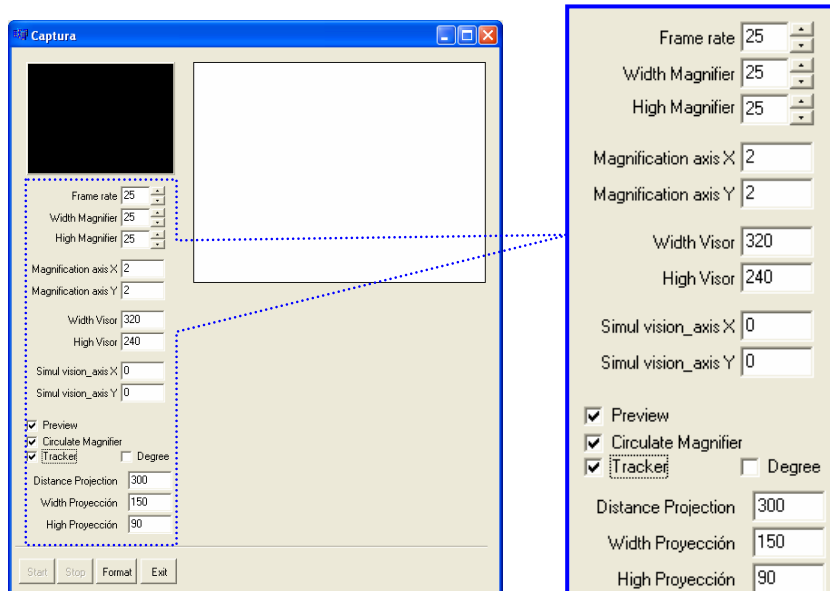


Figura 3.5.- Imagen de la pantalla de inicio del programa de simulación de conducción.

Las demás opciones del formulario son:

- *Width and High Magnifier*.- Te permite introducir el tamaño de la lupa que se va a mostrar. Puedes introducir el alto y el ancho de forma independiente, teniendo como resultado lupas ovaladas o rectangulares.
- *Magnification axis X and Y*.- Es el orden de amplificación que se quiere conseguir. Desde el punto de vista del programador estos parámetros fijan el tamaño de la zona a amplificar. Como el caso anterior podemos introducir de forma independiente el aumento en el eje X e Y. Esto nos permite introducir deformaciones en la imagen amplificada.
- *Width and High Visor*.- Es el ancho y alto con el que se muestra la imagen capturada y sobre la que se mostrará la amplificación.
- *Simulvision_axis X and Y*.- Nos permite desplazar el punto donde se va a mostrar la imagen amplificada respecto del origen de la zona seleccionada para la amplificación. Se puede generar un desplazamiento en el eje X o en el Y.
- *Preview*.- Si está seleccionado se muestra una previsualización de la captura en el rectángulo negro.
- *Circulate Magnifier*.- La lupa puede ser circular o rectangular.
- *Tracker*.- Activa el sistema de seguimiento de cabeza.
- *Degree*.- Permite introducir en grados los parámetros de *simulvision*, cuando está el sistema de seguimiento de cabeza activo.

- *Distance, Width, High proyeccion.*- Datos necesarios para la conversión de grados a pixel, ya que el programa, internamente, trabaja con los tamaños en píxeles.

3.2.3.3 Utilización de hebras

Una aplicación multihebra es una aplicación que contiene varias vías simultáneas de ejecución.

Hemos utilizado una hebra en la programación, para la ejecución de la captura.

El módulo *execute* de la hebra lo empleamos para sincronizar la ejecución de la función *UpdateCaptura*, que será la encargada de componer y mostrar la imagen de simulación de conducción. Esta función (*UpdateCaptura*) se ejecuta cíclicamente con una frecuencia fijada mediante la variable *timer*.

3.2.3.4 Descripción del programa

La función *UpdateCaptura*, como hemos mencionado anteriormente, es la encargada de componer y mostrar nuestra imagen final. Para ello necesita que estén creados tres mapas de bits cuyos manipuladores de objeto son *Output, Bitmap, Submap* y con manipuladores de contexto de dispositivo *OutDC, BitDC, SubDC*.

El mapa de bits (*Bitmap*) contiene la imagen original y nos permite trabajar con ella. En *Submap*, copiamos una parte de la imagen original para poder ampliarla o reducirla. El tamaño de este mapa de bits es el de la zona seleccionada para la modificación (MinW,MinH) por el aumento que le introducimos en coordenadas cartesianas (ViewScale,ViewScaleY) y por el escalado que realizamos a la imagen total de salida (OutW/BitW,OutH/BitH). (BitW,BitH) es el tamaño del formato de captura. (OutW,OutH) es el tamaño de salida de la imagen final. (*SubW,SubH*) es el tamaño final de la zona seleccionada dentro de la imagen total.

OutDC es un identificador auxiliar que nos permite procesar y modificar la composición de imágenes.

Para la representación final tenemos WinDC y todos los manipuladores anteriores son compatibles con éste.

Generación de la máscara:

Cuando generamos el *Submap* también creamos una máscara que utilizamos para tener una visualización circular de la zona reescalada.

La máscara es un mapa de bit con anchura SubW, altura SubH. Es una máscara binaria (sólo dos colores, blanco y negro).

La máscara que queremos es la que aparece en la Figura 3.6.

Función UpdateCapture:

Como hemos mencionado anteriormente, esta función es la encargada de componer nuestras dos imágenes, la de la captura con la de la zona de ésta que queremos con diferente escalado. La función se ejecuta cíclicamente con una frecuencia que se selecciona utilizando la variable *timer*. La frecuencia seleccionada fue de 50ms (*timer*). La función está sincronizada con la captura de vídeo mediante una hebra.

En esta función se comprueba si tenemos el seguidor de cabeza activo. Si el módulo seguidor de cabeza está activo las coordenadas de la zona correspondiente al manipulador SubDC no serán las del ratón, sino las del sistema seguidor.

El sistema seguidor de cabeza nos proporciona ángulos de desviación respecto de una posición y para la correcta ejecución del programa hay que pasar esta información a píxel. Para ello tenemos que calibrar el sistema introduciendo la distancia entre el sujeto y la imagen de simulación de conducción, y el tamaño de la proyección de esta simulación.

Se utiliza la función *StretchBlt*, que copia un mapa de bits desde un rectángulo origen en el interior de un rectángulo destino, y realiza un estiramiento o compresión del mapa de bits para ajustarlo a las dimensiones del rectángulo de destino, si es necesario. En este caso se utiliza para copiar la zona de la imagen que queremos reescalar en la zona cuyo manipulador es *SubDC*. La imagen se copia con el reescalado ya hecho.

El siguiente paso en el programa es unir la dos imágenes, la original aumentada y la zona interior de ésta que hemos reescalado. La zona reescalada puede ser elíptica o rectangular.

CASO ELÍPTICO:

Para conseguir la forma elíptica en la representación de la lupa se emplea la máscara descrita anteriormente.

Ahora vamos a hacer una descripción muy resumida de los pasos seguidos para conseguir componer dos imágenes que constituyen una simulación de un Bióptico.

Para ello utilizaremos de forma sucesiva la función *BitBlt* con diferentes parámetros. Los parámetros son:

- SRCERASE: Combina los colores invertidos del rectángulo de destino con los colores del rectángulo de origen usando el operador booleano AND.
- SRCAND: Combina los colores de los rectángulos de origen y destino usando el operador booleano AND.
- SRCINVERT: Combina los colores de los rectángulos de origen y destino usando el operador booleano XOR.
- SRCCOPY: Copia mapas de bits.

Lo primero es hacer una copia de la máscara para poder modificarla y mantener la original.

$$\text{BitBlt}(\text{BckDC}, 0, 0, \text{SubW}, \text{SubH}, \text{SubDC}, 0, 0, \text{SRCERASE}) \quad (3.1)$$

La función (3.1) realiza la operación AND entre la imagen invertida de la máscara y la imagen que está en la zona cuyo manejador es SubDC. El resultado es el mostrado en la Figura 3.6.

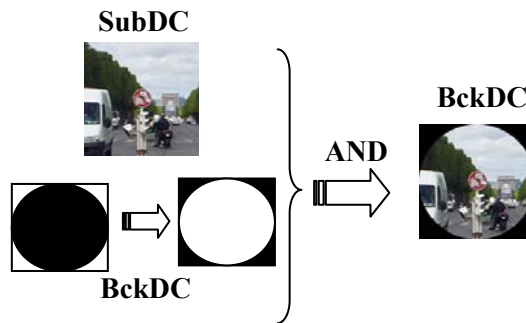


Figura 3.6.- Ejemplo de la operación AND que se realiza con la función (3.1).

$$\text{BitBlt} (\text{OutDC}, \text{SubX}, \text{SubY}, \text{SubW}, \text{SubH}, \text{MskDC}, 0, 0, \text{SRCAND}) \quad (3.2)$$

La función (3.2) realiza la operación *AND* entre la máscara y la imagen que está en la zona cuyo manejador es *OutDC*. El resultado es el mostrado en la Figura 3.7.

$$\text{BitBlt} (\text{OutDC}, \text{SubX}, \text{SubY}, \text{SubW}, \text{SubH}, \text{BckDC}, 0, 0, \text{SRCINVERT}) \quad (3.3)$$

La función (3.3) se ocupa de unir las dos anteriores para conseguir una representación circular. Lo que hacemos es aplicar entre las imágenes la función XOR, es decir lo que sea negro, en alguna de las imágenes, quedara ocupado por el contenido de la otra imagen. El resultado lo podemos ver en la Figura 3.8.

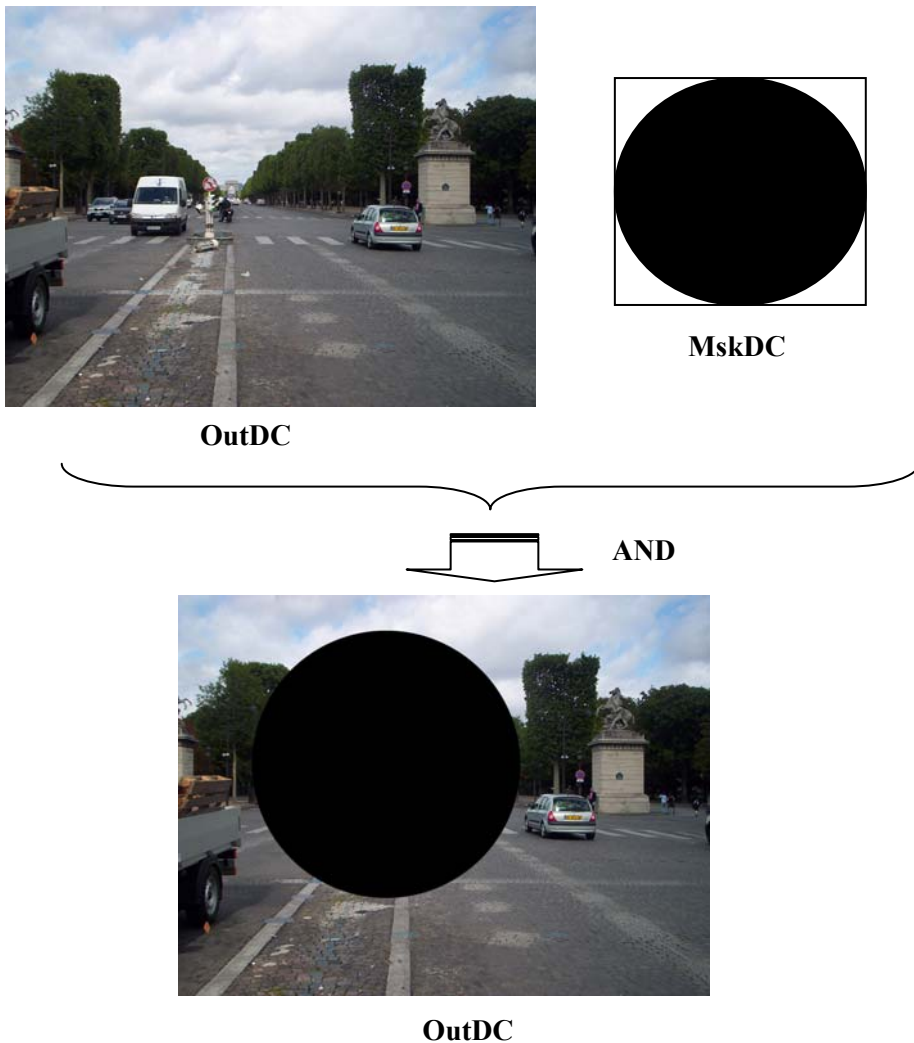


Figura 3.7.- Ejemplo de la operación AND que realiza la función (3.2).

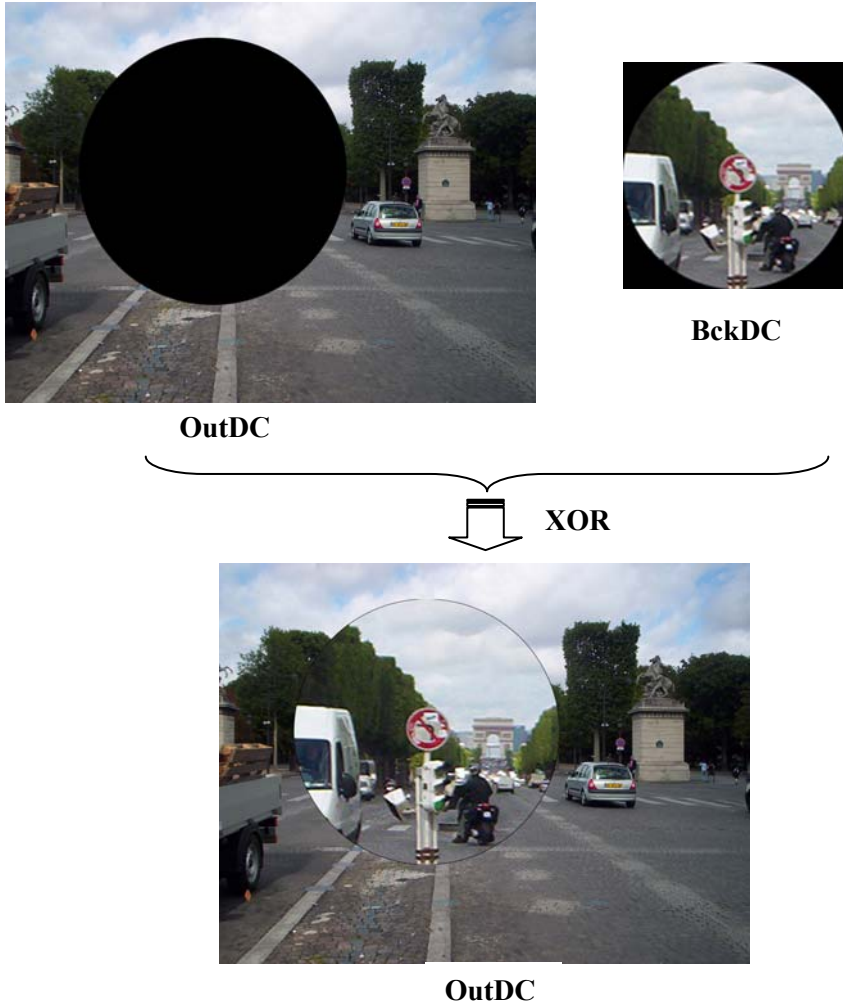


Figura 3.8.- Ejemplo de la operación XOR que realizaría la función (3.3).

En la Figura 3.9, se muestra la imagen original y el resultado final del procesado realizado por el simulador.



Figura 3.9.- Imagen original e imagen con la simulación de bióptico.

CASO RECTANGULAR:

En este caso, queremos que en la posición ($SubX, SubY$), de la imagen final, aparezca lo que tenemos en la zona del $SubDC$. Para conseguirlo sólo tenemos que copiar esta zona en el interior de la zona del $OutDC$, sin necesidad de reescalarla, porque ya estaba guardada con el tamaño deseado. Para ello utilizamos la función *BitBlt*.

Por último, ya queramos una representación circular o cuadrada, sólo nos quedará pasar la combinación de imágenes al manejador de la zona que se corresponde con el formulario ($WinDC$), para que se muestre la imagen final.

3.3. S.E.R.B.A.

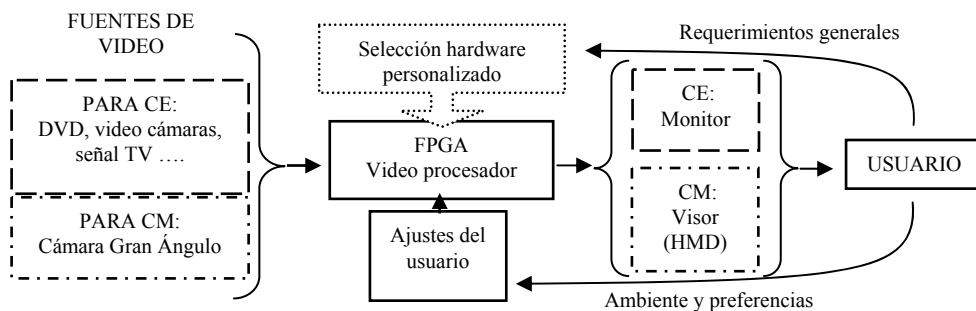
S.E.R.B.A. son las siglas de “*Sistema Electro-óptico Reconfigurable de ayuda para Baja Visión*” y es el nombre que se denominó al sistema de ayuda principal propuesto en este trabajo [38, 40].

El SERBA puede ser descrito como un CCTV (sistema de adquisición de imagen) con procesamiento en tiempo real. Como hemos mencionado anteriormente, el núcleo de este sistema es una FPGA. La fuente de las imágenes puede ser una minicámara, un DVD, una señal de TV, o cualquier otra señal de vídeo. La FPGA realizará el procesado de la imagen y el resultado se puede visualizar en un monitor, una TV o un visor “vestible” o *Head-Mounted-Display* (HMD).

En los casos de los pacientes con visión túnel la portabilidad del dispositivo es esencial, puesto que su función es ayudar en la navegación [39]. Por ello tenemos una configuración móvil (CM) del dispositivo empleando como periféricos una minicámara y un HMD.

Si empleamos el dispositivo como ayuda para ver la televisión o leer podemos usar una configuración estática (CE), en la que tenemos como fuentes de imágenes un DVD o una antena de TV y la salida está conectada a un TV o un monitor.

En la Figura 3.10 podemos ver un esquema de las posibles configuraciones.



Las cajas etiquetadas por CE o CM sólo son usadas dentro de la configuración estática (CE) y móvil respectivamente (CM).

Figura 3.10.- Esquema de funcionamiento del SERBA.

Grabadas en la memoria de configuración de la FPGA disponemos de cinco algoritmos de procesamiento de imágenes en tiempo real. Los algoritmos son tres *zoom digitales*, un *realce de contraste* y un algoritmo de *Vista aumentada*. Se escogieron estos algoritmos por cubrir las necesidades más frecuentes que se presentan en personas con baja visión. En los siguientes apartados vamos a realizar una descripción de estos tres algoritmos (la programación de estos algoritmos fue realizada por un grupo de investigadores de la Universidad de Granada). También realizaremos una descripción de la configuración de periféricos más adecuados para cada algoritmo y una breve descripción de la evaluación realizada (apartado 3.3.4). El desarrollo y evaluación de los dos prototipos del SERBA se describirán con más detalle en posteriores capítulos.

3.3.1. Zoom digital

Los pacientes con visión central deteriorada pero con buena visión periférica usan diferentes dispositivos que aumentan el tamaño de la imagen y que les permiten ver la TV, leer y andar. Sin embargo, la amplia variedad de dispositivos que necesitan para adaptarse a cada tarea hace que esta opción sea cara y poco práctica.

El *zoom digital* que proponemos puede ser controlado fácilmente mediante dos botones y la zona de la imagen a amplificar se puede seleccionar mediante un ratón.

Este sistema se puede adaptar a diferentes aplicaciones cambiando y adaptando el formato de salida a un monitor, un televisor o un HMD. También la señal de entrada puede proceder de una cámara, un DVD, una señal de TV o cualquier otra señal de vídeo. Se han desarrollado tres tipos de *zoom* que permiten ampliaciones de $\times 2$, $\times 4$, $\times 8$ y $\times 16$.

3.3.1.1 Descripción del algoritmo

El primer tipo de *zoom* usa un algoritmo del “vecino más cercano” (*nearest*) que sólo hace la réplica del píxel.

Se han puesto en práctica dos tipos más de *zoom*. El primer algoritmo de *zoom* realiza una *interpolación bilineal clásica* [93]. El modelo consigue resultados buenos con solamente una pequeña disminución en la resolución.

Para corregir esta pérdida de resolución se ha utilizado alternativamente la *interpolación direccional*. Es un método que intenta interpolar a lo largo de los bordes de una imagen, no a través de ellos.

Veamos con un poco más de detalle cada una de las interpolaciones utilizadas:

Método del vecino más próximo. Sitúa en cada píxel de la imagen corregida el valor del píxel más cercano en la imagen original. Esta es la solución más rápida y la que supone menor transformación de los valores originales, obteniéndose un mayor contraste. Su principal inconveniente radica en la distorsión que introduce en rasgos lineales de la imagen.

Interpolación bilineal. Supone promediar los valores de los cuatro píxeles más cercanos en la capa original. Este promedio se pondera según la distancia del píxel original al corregido, de este modo tienen una mayor influencia aquellos píxeles más cercanos en la capa inicial. Reduce el efecto de distorsión en rasgos lineales pero difumina los contrastes espaciales. Los cálculos realizados para determinar el valor del nuevo píxel se muestran en la Figura 3.11 y en las ecuaciones de la (3.4) a la (3.12).

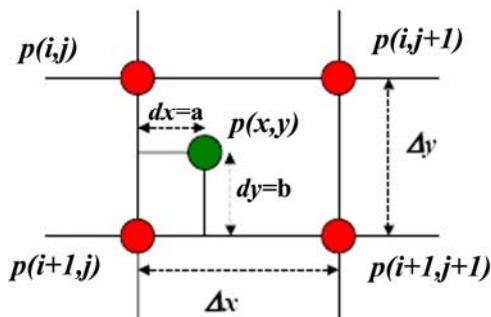


Figura 3.11.- Promedio ponderado de cuatro vecinos.

$$a_1 = \left(1 - \frac{dx}{\Delta x}\right) \left(1 - \frac{dy}{\Delta y}\right) \tag{3.4}$$

$$a_2 = \left(\frac{dx}{\Delta x}\right) \left(1 - \frac{dy}{\Delta y}\right) \tag{3.5}$$

$$a_3 = \left(1 - \frac{dx}{\Delta x}\right) \left(\frac{dy}{\Delta y}\right) \tag{3.6}$$

$$a_4 = \left(\frac{dx}{\Delta x} \right) \left(\frac{dy}{\Delta y} \right) \quad (3.7)$$

En nuestro caso la distancia entre píxeles es constante, por lo que tomamos $\Delta x=1$ y $\Delta y=1$. Con esta simplificación las ecuaciones de la (3.4) a la (3.7) quedan:

$$a_1 = (1 - dx)(1 - dy) \quad (3.8)$$

$$a_2 = (dx)(1 - dy) \quad (3.9)$$

$$a_3 = (1 - dx)(dy) \quad (3.10)$$

$$a_4 = (dx)(dy) \quad (3.11)$$

Con lo que el resultado del promediado ponderado los cuatro píxeles vecinos es el que aparece en la ecuación (3.12), siendo los coeficientes a los que aparecen en las ecuaciones de la (3.8) a la (3.11).

$$p(x, y) = a_1 p(i, j) + a_2 p(i, j + 1) + a_3 p(i + 1, j) + a_4 p(i + 1, j + 1) \quad (3.12)$$

La **interpolación direccional** [94] es una interpolación basada en un algoritmo no lineal [95]. Este algoritmo utiliza máscaras de 3×3 píxeles.

El proceso es equivalente a una replicación del píxel seguida de una corrección no lineal de todas las muestras (es decir, sería posible modificar los valores originales). La corrección es necesaria para reducir el efecto de los errores, que se producen debido a los bordes y el suavizado de las transiciones entre diferentes niveles de gris que se presentan.

La máscara que utilizamos se puede ver en la Figura 3.11. Las líneas más gruesas identifican la máscara correspondiente a la submáscara S_l , utilizada para interpolar el píxel y_1 .

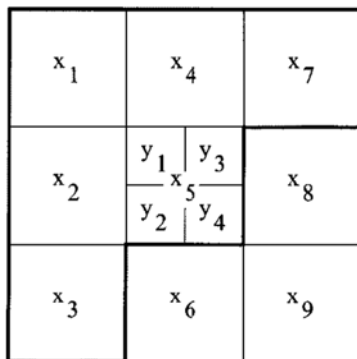


Figura 3.12.- Píxeles utilizados en el proceso de interpolación.

Lo primero que se hace es dividir en cuatro cada píxel que se va a interpolar (Figura 3.11). Después, el valor de cada uno de los píxeles resultantes se corrige utilizando la información de una submáscara S_k de 6 píxeles, suavizando la presencia de bordes. Para y_1 , que está en la esquina izquierda superior, se utiliza la submáscara $S_1 = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_7]$, que es la parte superior izquierda de la máscara.

La rotación obvia de esta submáscara proporciona las máscaras para los otros tres píxel.

El número de píxeles de la submáscara se eligió como un compromiso entre tener suficiente información de los píxeles vecinos y la complejidad del operador

Los siguientes pasos se aplican sobre el píxel y_1 y su submáscara S_1 , pero el proceso es idéntico para los otros tres píxeles, y sus submáscaras. Las correcciones se realizan utilizando algunas de las diferencias entre píxel, introduciendo un peso a estas diferencias.

Se consideran las siguientes diferencias:

$$d_1 = x_1 - x_5 \tag{3.13}$$

$$d_2 = x_2 + x_4 / 2 - x_5 \tag{3.14}$$

$$d_3 = x_3 + x_7 / 2 - x_5 \tag{3.15}$$

Con estas ecuaciones tenemos que:

$$y_1 = x_5 + \sum_{k=1}^3 w_k d_k \tag{3.16}$$

El operador debe “reconocer” los bordes. Los bordes muy pronunciados deben ser emborronados por el interpolador.

El operador de interpolación es:

$$y_1 = x_5 + \sum_{k=1}^3 w_k d_k = x_5 + (q_1 d_1 + q_2 d_2 + q_3 d_3) / q_4 + \varepsilon \quad (3.17)$$

donde el término ε , está solamente para evitar denominadores nulos. El valor de los pesos es:

$$\begin{aligned} y_1 = & p_{1j} \cdot (x_1 - x_5)^2 + p_{2j} \cdot (x_2 - x_4)^2 + p_{3j} \cdot (x_3 - x_7)^2 \\ & + p_{4j} \cdot ((x_1 - x_2)^2 + (x_1 - x_4)^2) \\ & + p_{5j} \cdot ((x_1 - x_3)^2 + (x_1 - x_7)^2) \\ & + p_{6j} \cdot ((x_2 - x_5)^2 + (x_4 - x_5)^2) \\ & + p_{7j} \cdot ((x_3 - x_5)^2 + (x_7 - x_5)^2) \\ & + p_{8j} \cdot ((x_3 - x_2)^2 + (x_7 - x_4)^2) \\ & + p_{9j} \cdot ((x_3 - x_4)^2 + (x_7 - x_2)^2) \end{aligned} \quad (3.18)$$

con $j= 1 \dots 4$.

En la Figura 3.13, se muestra la un detalle de la imagen estandarizada Lena tras aplicarle los tres tipos de interpolación utilizados en el desarrollo del *zoom digital* del SERBA.

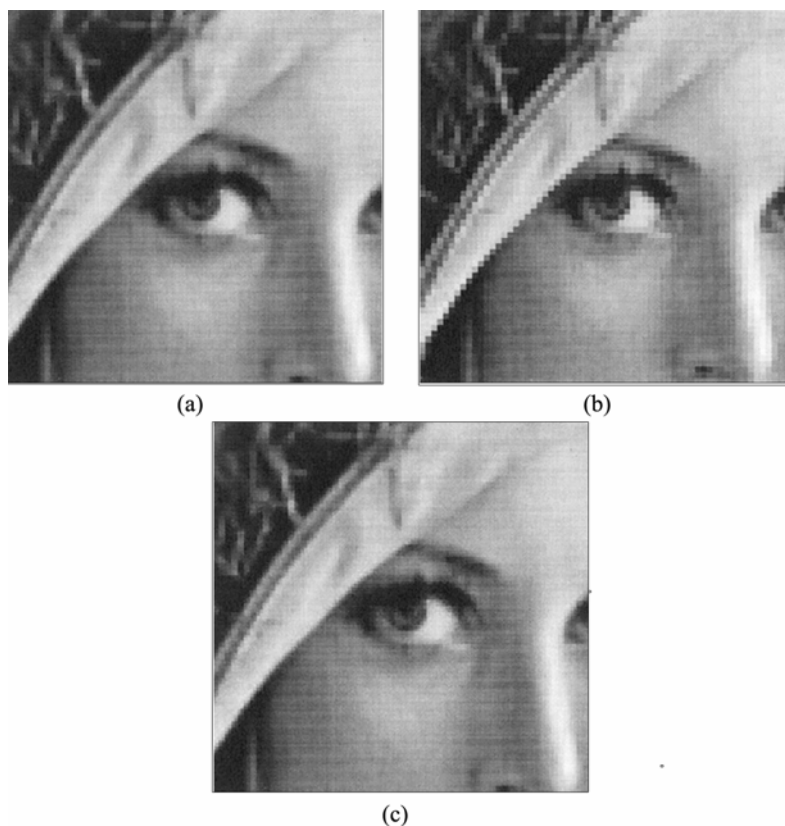


Figura 3.13.- Comparación de las interpolaciones utilizadas: (a) interpolación direccional; (b) Método del vecino más próximo; (c) interpolación bilineal

3.3.1.2 Configuración del dispositivo

Para esta aplicación el dispositivo puede adquirir tanto una configuración móvil como estática, dependiendo de las necesidades del usuario.

3.3.2. Vista Aumentada

Peli en el 2000 propuso teóricamente el novedoso concepto de *Vista Aumentada* (*Vista Aumentada*) para la creación de nuevas ayudas en la rehabilitación visual [24, 45]. Esta estrategia permitiría proporcionar a los pacientes con visión en túnel la información necesaria acerca de objetos en periferia, y así aumentar la capacidad de movilidad, sin comprometer su visión residual. La idea aprovechaba las nuevas tecnologías emergentes de periféricos informáticos. El sistema estaría formado por un *Head-Mounted-Display* (HMD) transparente, una mini-cámara de vídeo montada en el HMD y un procesador de imagen de vídeo. La cámara mediante una lente gran angular adquiere la imagen de un campo visual muy amplio (más de 75°). Esta imagen se procesa haciendo una detección de bordes, dando como resultado una imagen estilizada

a modo de dibujo de líneas brillantes. El HMD permite la visión a través, a la vez que presenta la imagen de vídeo estilizada, a modo de mapa, reducida 4-8 veces de manera que se ajusta al campo visual residual del paciente [96]. El efecto es que el paciente tiene percepción (no detallada, pero suficiente para la navegación) de los objetos dentro de un campo amplio (75°) a la vez que puede seguir disfrutando de la alta resolución de su visión residual al mirar a través del HMD.

Mediante esta estrategia se pretende restablecer la información visual perdida (en este caso la visión periférica) aprovechando la visión residual sin comprometer sus cualidades. En la Figura 3.14 vemos una composición de imágenes que simula la visión de los sujetos que emplean la ayuda propuesta.



Figura 3.14.- Simulación de visión túnel con la ayuda visual *Vista Aumentada*.

3.3.2.1 Descripción del algoritmo

El algoritmo empleado en la ayuda de *Vista Aumentada* está descrito en la Figura 3.15. La FPGA realiza una extracción de borde (algoritmo de Sobel) de la señal original captada por la minicámara. La imagen resultante se compone sólo de los bordes en escala de gris de la imagen original. Esta imagen podría mostrarse directamente, sin embargo preferimos una imagen más estilizada para aumentar la transparencia. Para ello, se aplica un umbral, que fijará el usuario del sistema, para seleccionar los píxeles con valores de gris por encima de ese nivel. Por lo tanto, el umbral controla el número de líneas en la imagen de vídeo final. Es importante notar que el número de líneas aumenta o reduce la visibilidad a través del HMD.

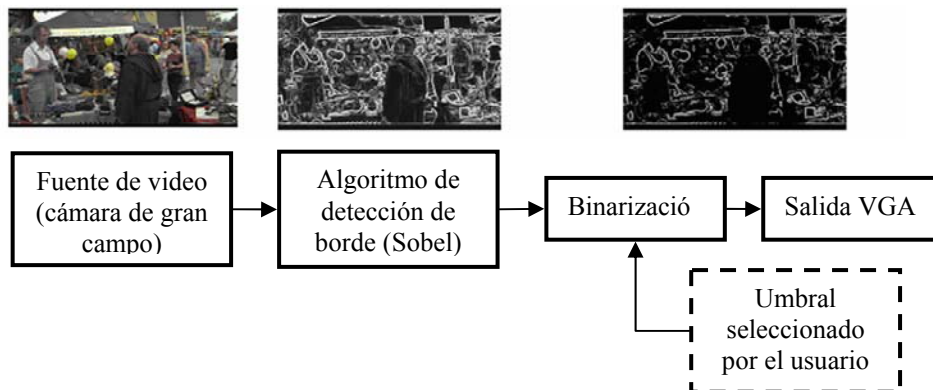


Figura 3.15.- Diagrama del procesamiento de imagen para la detección de bordes.

3.3.2.2 Configuración del dispositivo

Para la aplicación del *Vista Aumentada* es fundamental la configuración móvil del dispositivo, ya que esta ayuda se utiliza principalmente para facilitar la navegación. Para ello es necesario seleccionar un HMD que permita al usuario mantener el contacto visual con el entorno y tener una imagen nítida de los bordes generados por la FPGA del SERBA.

Se desarrollaron dos prototipos. El primer prototipo, en la práctica, resultó no ser lo suficientemente transparente, y el contraste con el que se mostraba la imagen de borde era insuficiente. Por ello se desarrolló un segundo prototipo, con unas especificaciones más estrictas, en cuanto a transparencia y contraste del HMD. El objetivo era conseguir mantener intacto el resto visual de los sujetos.

Los elementos empleados para estas configuraciones fueron:

Primer Prototipo:

- **HMD Virtual IO glasses.** El primer HMD con el que trabajamos fue Virtual IO glasses (www.i-glasses.com). Este HMD permitía ver a través de él, es de bajo coste y trabaja con señales NTSC. El campo visual horizontal de este HMD es de 27° .
- **CAMERA CAM 2.** 1/4" CMOS monocromo, con una sensibilidad de 0,5 lx. Esta cámara fue elegida por su pequeño tamaño y peso.
- **PESO.** El peso del HMD era de 287gr y el de la bolsa 1400gr (incluida batería y ratón).



Figura 3.16.- Imagen del primer prototipo del SERBA.

Segundo Prototipo:

- **HMD Microvision NOMAD ND2000**, seleccionado por su transparencia, alto contraste, brillo y por un bloqueo casi nulo del campo visual. También permite el contacto visual con el interlocutor y es estéticamente aceptable. Campo visual nominal del Nomad: 17,5° Vertical, 23° Horizontal
- **CAMERA Supercircuits PC180XS** (Exview CCD). Una eficacia alta a la luz IR permite capacidades de visión nocturna.
Campo visual de la cámara: 78°.
- **PESO:**
 - Módulo del visor: 128 gr más el peso de la gorra (205 gr en total)
 - Bolsa con el módulo generación de imágenes del Nomad (más su batería), la FPGA (más la batería que alimenta a la FPGA y a la minicámara): 2500 gr

Las evaluaciones realizadas al SERBA se hicieron con el segundo prototipo. El visor de este segundo prototipo muestra imágenes de hasta SVGA (800 × 600). En nuestro caso la imagen que generamos con la FPGA es de 670 × 480 píxeles, por lo que no utilizamos todo el campo que nos podría proporcionar el Nomad, sino que trabajamos con un campo visual un poco menor:

Campo visual del Nomad (para una imagen de 800 × 600 píxeles):

23° CVH por 17.25 CVV

Campo visual del Nomad (para una imagen de 670 × 480 píxeles):

Teóricos: 13,8° CVV, 19,26° CVH

Experimentales: 13,8° CVV, 16,5° CVH

Comparando los campos visuales de la cámara y del Nomad vemos que la imagen de bordes generada supone un aumento de $\times 4$ en el campo visual del sujeto.

Este aumento se puede observar en la Figura 3.17, donde se muestra una fotografía tomada a través del visor del SERBA. Para tomar esta imagen se situó el SERBA a 1m de distancia de una pantalla de proyección donde se mostraban círculos concéntricos, separados $2,5^\circ$. La minicámara del SERBA captaba la imagen de la pantalla, la FPGA la procesaba y se mostraba en el visor. Podemos observar cómo entre cada dos líneas circulares de la imagen original equivalen a 4 de la imagen del SERBA.

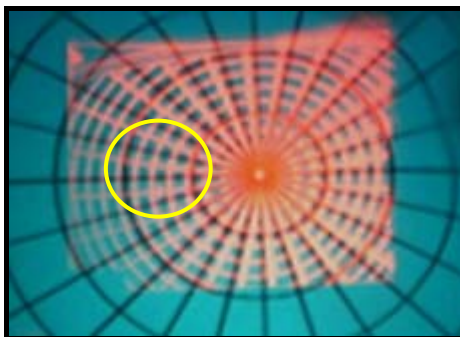


Figura 3.17.-Imagen que muestra el aumento de campo visual que proporciona el SERBA

En la Figura 3.18 se muestra una imagen tomada a través del visor del Nomad. Podemos observar que la imagen a través del Nomad es nítida, sin pérdida de resolución y que la imagen de bordes tiene un contraste muy bueno.



Figura 3.18.- Imagen tomada a través del visor del Nomad.

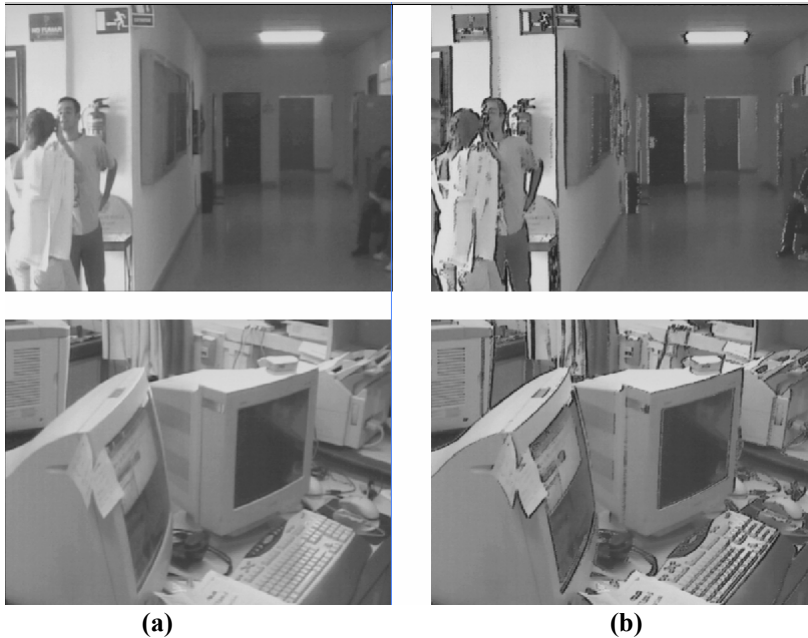
Se midió el consumo del SERBA, que era de 410 mA (80 mA son de la minicámara). El Nomad tiene una batería interna, independiente del resto del sistema, que le proporciona una autonomía de 8 horas. Se utilizaron baterías estándar de Ni-Mh de 2400 mA, que proporcionaban al sistema una autonomía de 5 horas y media.

3.3.3. Realce de contraste

Hay patologías en Baja Visión que hacen que los pacientes perciban imágenes borrosas, por lo que no son capaces de identificar objetos y caras. Este efecto puede ser considerado como un filtro paso bajo de la imagen original. Un aumento en las frecuencias altas puede ayudar a los pacientes a identificar objetos [5, 24, 45].

3.3.3.1 Descripción del algoritmo

El realce de contraste que se propone consiste en extraer los bordes y superponerlos con la imagen original en la misma posición con una polaridad que depende del contexto. Esto significa que utilizamos negro sobre un fondo claro y blanco sobre un fondo oscuro, como se puede ver en la Figura 3.19. El sujeto puede controlar la intensidad relativa de los bordes con dos botones. Las imágenes mostradas en la Figura 3.19 fueron capturadas de la salida VGA de la FPGA (RC100 de Celoxica) del SERBA.



Imágenes reales capturadas de la salida VGA de la FPGA del SERBA.

Figura 3.19.- Realce de contraste: (a) imágenes originales; (b) con realce de contraste.

3.3.3.2 Configuración del dispositivo

Para esta aplicación el dispositivo puede adquirir tanto una configuración móvil como estática, dependiendo de las necesidades del usuario.

3.3.4. Evaluación del SERBA

Realizamos dos evaluaciones independientes para valorar si la ayuda propuesta, para personas con visión túnel (*Vista Aumentada*) y para personas con pérdidas de agudeza visual (*zoom digital*), les aportaba beneficios para desenvolverse en su vida cotidiana.

En estas evaluaciones han intervenido 14 pacientes con baja visión (8 sujetos presentan Retinosis Pigmentaria con reducción severa del campo periférico y 6 sujetos sufrían de reducción de su agudeza visual) y 9 sujetos de control con visión normal.

Para evaluar el SERBA como ayuda para sujetos con restricción del campo visual (*Vista Aumentada*) hemos diseñado una prueba de movilidad, complementada con tareas que los sujetos realizan en dos salas similares habilitada para ello. En la evaluación del SERBA como ayuda para sujetos con pérdidas de agudeza visual hemos tomado medidas, con varios test ETDRS, de la agudeza visual de los sujetos. Las medidas se tomaban sin el SERBA y con el SERBA, seleccionando los diferentes algoritmos de *zoom digital* almacenados en la memoria de la FPGA.

En la evaluación del algoritmo de *Vista Aumentada* pudimos comprobar que el sistema no deterioraba el resto visual de los sujetos y que les facilitaba la movilidad y las tareas de localización. En la evaluación del *zoom digital*, obtuvimos aumentos en la agudeza visual de los sujetos de igual proporción al aumento introducido por el zoom en los test ETDRS, hasta llegar a una saturación de la agudeza visual debida a los límites impuestos por la resolución de los test ETDRS digitalizados empleados.

Estas evaluaciones se describirán con más detalle en capítulos posteriores. El concepto de realce de contraste como ayuda visual ha sido evaluado por otro autor [97].

CAPÍTULO 4

Evaluación de los algoritmos de zoom

4.1. Introducción

Se diseñaron dos técnicas para evaluar el efecto del *zoom digital* en la agudeza visual de sujetos, normales y con baja visión. Las dos evaluaciones se realizaron empleando cartas ETDRS, que son procesadas por la FPGA del SERBA mediante los tres algoritmos de *zoom* digital de los que disponemos. La principal diferencia entre las dos evaluaciones es que en una de ellas se mantuvo fija la distancia entre el sujeto y el test (prueba DF), y en la otra se aumentaba la distancia entre el sujeto y el test en igual proporción que la ampliación realizada a las cartas ETDRS mediante el SERBA (prueba DV). Los resultados de éstas prueban una saturación en el aumento de la agudeza visual de los sujetos, entorno a los 0 logMAR (logaritmo del mínimo ángulo de resolución), en la prueba DF, mientras que en la prueba DV se consigue un aumento, en la agudeza visual, igual a la ampliación realizada en los test. Esta diferencia en los resultados se debía a las limitaciones en la resolución de las cartas ETDRS utilizadas en la prueba DF.

4.2. Sujetos

La muestra de los sujetos que participaron en la evaluación del *zoom digital* estaba compuesta por 9 sujetos con visión normal y 6 sujetos con baja visión. Los 9 sujetos con visión normal utilizaron su mejor corrección óptica para realizar las pruebas.

En una de las pruebas diseñadas para evaluar el zoom digital se seleccionaron 6 sujetos con visión normal y se les redujo su agudeza visual hasta límites por debajo de la baja visión (0,5 logMAR). Para ello se interpuso una lámina difusora entre el sujeto y el test. Las pruebas las realizaron con el difusor a 9 cm, 15 cm, 50 cm del test y sin difusor. Con el difusor simulamos agudezas visuales entorno a 0,5, 0,8 y 0,93 logMAR respectivamente.

En la Tabla 4.1 se muestran los datos de los sujetos con visión normal que participaron en la evaluación. Se muestra la edad, el sexo, la agudeza visual natural y la agudeza visual con un difusor ante el test ETDRS a 9, 15 y 50 cm. En la Tabla 4.2 se muestran los datos de los sujetos con baja visión que participaron en el estudio. Se muestra la edad, el sexo, con que ojo realizaron la prueba y que agudeza visual tenían en ese ojo.

La agudeza visual se expresa en logMar (logaritmo del mínimo ángulo de resolución).

En los sujetos con baja visión el ojo que se seleccionó, para hacer la prueba, fue el de peor agudeza visual. En 5 de los sujetos el ojo de mayor agudeza visual estaba por encima del rango de la baja visión, dando como resultado una agudeza visual binocular superior a la de baja visión.

Sujetos	Edad	A.V. (Binocular)				Sexo
		Natural	9cm	15cm	50cm	
1	28	-0,08	0,54	0,86	0,93	V
2	36	-0,08	0,50	0,74	0,92	V
3	32	-0,16	0,54	0,82	0,93	V
4	28	-0,12	0,54	0,82	0,94	V
5	47	-0,20	0,52	0,72	0,93	M
6	23	-0,18	--	--	--	M
7	23	0,08	--	--	--	M

Tabla 4.1.- Datos de los sujetos con visión normal que realizaron las pruebas.

Sujetos	Edad	Ojo	A.V.	Sexo
1	74	O.I.	0,89	V
2	74	O.D.	0,94	M
3	53	O.D.	0,93	M
4	82	O.I.	0,88	V
5	21	O.D.	0,89	M
6	69	O.D.	0,81	V

O.I. Ojo Izquierdo. O.D. Ojo derecho. V varón, M mujer. A.V. en logMar.

Tabla 4.2.- Datos de los sujetos con baja visión que realizaron las pruebas.

4.3. Dispositivo

La ayuda del *zoom digital* se puede emplear con una configuración móvil o estática del dispositivo, dependiendo de los periféricos que nos convenga conectar en cada instante. Por ejemplo, para ver la TV se puede utilizar una configuración estática donde la señal de vídeo, a procesar por la FPGA, sea la señal de TV de la casa y la salida de la FPGA se muestre en el televisor. Si la ayuda se quiere utilizar en el exterior, podemos utilizar una minicámara y un HMD. La FPGA tiene almacenada tres tipos de *zoom digital*. El primer *zoom digital* usa un algoritmo del vecino más cercano (*nearest*) que sólo hace la réplica del píxel.

Se han puesto en práctica dos tipos más de *zoom digital*. El primer *zoom digital* con una *interpolación bilineal* clásica consigue resultados buenos con solamente una pequeña disminución en la resolución. Para corregir esta pérdida de resolución se ha utilizado la *interpolación direccional*. Es un método que intenta interpolar a lo largo de los bordes de una imagen, no a través de ellos.

Hemos realizado dos montajes para evaluar la eficacia de los tres tipos de *zoom* de los que disponemos.

4.4. Evaluación

Como hemos mencionado anteriormente tenemos dos tipos de montaje para evaluar el efecto del *zoom digital* en la agudeza visual. Para una de las pruebas seleccionamos 3 sujetos con visión normal portando su mejor corrección (Prueba DV). En la otra prueba trabajamos con los otros 6 sujetos con visión normal y 6 sujetos de baja visión (Prueba DF).

4.4.1. Prueba DV

Para esta prueba utilizamos tres láminas de optotipos ETDRS a 4m comercializadas por el distribuidor para la determinación de agudezas visuales en el ojo derecho, en el ojo izquierdo y binocular. Utilizamos tres test ETDRS diferentes para poder balancear las medidas y evitar errores en las mismas producidos por la memorización de las cartas. También empleamos una videocámara Canon MV600i (640 × 480 píxel) para capturar la imagen del test, la FPGA con los tres algoritmos de *zoom digital* y un

proyector Optoma EP 757. La salida de la FPGA tiene una resolución que coincide con la de la videocámara utilizada, 640×480 píxel.

El proyector Optoma EP 757 empleado en la evaluación es un DLP con una proporción de contraste (rango de contraste) de 2000:1. Esta proporción alta de contraste hace que sea más fácil distinguir entre colores o escala de grises.

Los tres optotipos ETDRS estaban situados en una habitación donde la única luz que les llega procede de dos focos que proporcionaban una iluminación homogénea en los test. Mantenemos las mismas condiciones de iluminación para todos los sujetos.

Se sitúa la videocámara frente al test, la imagen que proporciona la cámara será procesada por la FPGA, la salida de la FPGA se conecta con la entrada VGA del proyector. Empleamos una pantalla de retroproyección para mostrar la salida de la FPGA.

Se sitúa la pantalla y el proyector en una estancia diferente a la utilizada para los optotipos y la cámara. Para conseguir una resolución máxima en las letras proyectadas, de los optotipos, situamos el proyector lo más cerca posible de la pantalla (ancho de la proyección $28,5 \times 21$ cm), este punto está fijado por la distancia de enfoque mínima del proyector. Estamos trabajando con un test ETDRS a 4 m (se sitúa el sujeto a 4 m del test) por lo que el tamaño de la línea 20/200 (la primera línea del test) es de 44,1 cm. Para conseguir este tamaño de línea lo que hacemos es dejar fijo el proyector y desplazar la videocámara respecto al test hasta conseguir el tamaño deseado. Así conseguimos la mínima distancia entre la cámara y el test, lo que supone tener el mayor número de puntos de imagen, de la cámara, por letra. En la Tabla 4.3 podemos ver el número de píxels (puntos de imagen) que se utilizan para las letras de cada línea del test.

Fila	Tamaño línea (mm)	Ancho y alto letra (píxels)
20/200	441	112
20/160	351	89
20/125	280	71
20/100	222	56
20/80	176	45
20/63	140	35
20/50	111	28
20/40	88	22
20/32	70	18
20/25	56	14
20/20	44	11
20/16	35	9
20/12,5	28	7
20/10	22	5

Tabla 4.3.- Resolución de cada letra del test ETDRS en la prueba DV.

Como los sujetos que realizaron la prueba tienen visión normal, en las primeras medidas realizadas, con los sujetos a 4m del test, los resultados de las agudezas estaban entorno al 0 logMAR (línea 20/20, 11×11 píxeles) en los tres sujetos y para los tres *zoom digitales*. Un aumento del tamaño del test de ×2 supondría que los sujetos podrían alcanzar agudezas de -1 logMAR, pero nos encontramos con limitaciones técnicas para generar líneas de letras de menor tamaño que la 20/10 (5×5 píxeles). Para solventar este problema cuando realizamos un *zoom* en el test ETDRS utilizamos la misma proporción para aumentar la distancia de los sujetos al test ETDRS. Con esto simulamos una reducción de la agudeza visual de los sujetos y deberíamos conseguir que su mínimo ángulo de resolución (agudeza visual) se mantenga entorno a la línea 20/20 en todos los casos.

4.4.1.1 Protocolo prueba DV

Se midió la agudeza visual, con los tres algoritmos de *zoom digital*, de tres sujetos con visión normal (sujetos 5, 6 y 7 de la Tabla 4.1) que portaban su mejor corrección. Se han balanceado las cartas ETDRS empleadas y el orden en el que se presentan los diferentes tipos de *zoom*, para que las medidas sean independientes de estos factores. Las medidas se tomaban mostrando los tres tipos de *zoom* a una distancia de 4 m, para después pasar a una distancia de 8 m con un aumento de ×2 en el tamaño del test ETDRS, 16 m con un aumento de ×4 y 32 m con un aumento de ×8. Se utilizó el resultado de la agudeza visual a 4 m para normalizar el resto de medidas y poder comparar los resultados entre sujetos.

4.4.2. Prueba DF

En esta prueba pretendimos acercarnos más al caso real, por lo que trabajábamos con sujetos con visión normal a los que se les simuló agudezas visuales próximas a la baja visión y con sujetos con baja visión. En esta evaluación se utilizaron tres cartas ETDRS generadas a través del ordenador con el programa *Adobe Illustrator 7.0*, seleccionando las letras y su posición en el test de forma aleatoria. Las cartas se correspondían con el estándar de las ETDRS y para ello utilizábamos como fuente para las letras la librería *Sloan* [98]. Por limitaciones técnicas trabajábamos con distancias fijas de los sujetos al test ETDRS de 2 m. Reducíamos el tamaño de las letras y la distancia entre letras para mantener constante la agudeza visual y respetar el estándar de los test ETDRS.

Estas cartas se enviaban a la salida de vídeo compuesto del ordenador y se introducían en la FPGA. El resultado del procesamiento de imagen, en tiempo real, realizado por la FPGA se mostraba en una pantalla de retroproyección mediante el proyector Optoma EP 757, descrito en la anterior evaluación. La entrada del Optoma utilizada fue la de VGA.

Para realizar las medidas situábamos los sujetos a 2 m de la proyección del test. Esta distancia se mantenía fija durante toda la evaluación. En los casos en los que la prueba fue realizada por sujetos con visión normal se utilizó un difusor entre el test y el sujeto para simular agudezas visuales próximas a las de baja visión.

En la Figura 4.1 podemos ver algunas imágenes de las cartas ETDRS utilizadas en la evaluación. Las cartas aparecen con una ampliación de $\times 8$ sin difusor y a través del difusor situado a 15 cm del test. La imagen superior es la del test sin ampliar y ha sido recortada sin modificar su tamaño respecto de las imágenes inferiores.

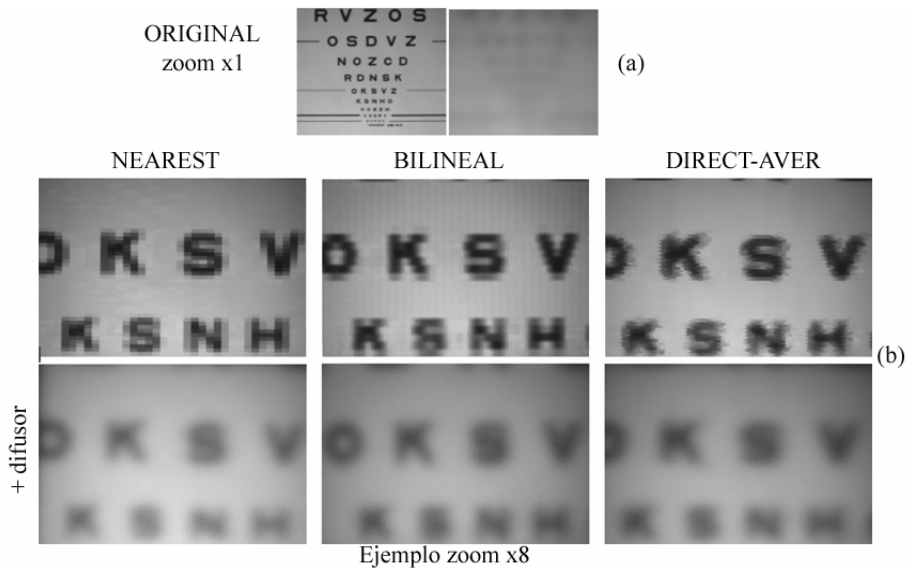


Figura 4.1.- (a) Imagen de la carta ETDRS con y sin difusor. (b) $zoom \times 8$ de la fila 5 de la imagen “a”.

En la Tabla 4.4 podemos ver el número de píxeles que se utiliza para las letras de cada línea del test ETDRS.

Fila	Ancho (píxeles)	Alto (píxeles)
20/200	53	85
20/160	41	67
20/125	33	54
20/100	26	42
20/80	20	33
20/63	16	26
20/50	13	22
20/40	11	17
20/32	8	13
20/25	7	11
20/20	5	8
20/16	4	7
20/12,5	4	6

Tabla 4.4.- Resolución de cada letra del test ETDRS en la prueba DF.

4.4.2.1 Protocolo prueba DF

Se midieron las agudezas visuales de 6 sujetos (sujetos del 1 al 6 de la Tabla 4.1), con visión normal, y de 6 sujetos con baja visión (Tabla 4.2), con los tres tipos de *zoom* digital. A los sujetos con visión normal se les simuló una disminución en su agudeza visual mediante un difusor situado a 9 cm, 15 cm, 50 cm del test. También se midió su agudeza visual sin el difusor. Se balancearon las tres cartas ETDRS empleadas y el orden en el que se presentaban los diferentes tipos de *zoom*, para que las medidas fueran independientes de estos factores. La primera medida que se tomó fue la agudeza visual natural del sujeto, para ello se generaron las cartas ETDRS a través de la salida de vídeo compuesto del ordenador y se enviaron, sin procesar por la FPGA, al proyector. La agudeza visual natural se utilizó para normalizar el resto de medidas y así poder comparar los resultados obtenidos entre sujetos. En esta evaluación se utilizó un *zoom* máximo de $\times 16$ en los algoritmos *Nearest* y *Bilineal*. El *DirectAver* realizaba una ampliación máxima de $\times 8$.

4.5. Proyector

En esta evaluación la calidad del proyector era clave para cumplir los estándares de contraste exigidos a las cartas ETDRS. Se midió el contraste que proporcionaba el proyector, para asegurarnos que estaba por encima del 80% que es el límite para la medición correcta de la agudeza visual. Para ello, se seleccionó un 50% en el brillo del proyector y un contraste del 45%. Estos valores se mantuvieron durante toda la evaluación. Para determinar el contraste medimos la luminosidad máxima que tiene el proyector (lum_max), generando en el ordenador una imagen blanca que es enviada al proyector. Se midió la luminancia de la pantalla, con esta imagen blanca, utilizando un luxómetro (*Go352 OPTOMETER de Graseby Optronics*). Después se midió la luminosidad mínima (lum_min) proyectando una imagen de negro al 100% con el mismo luxómetro. El contraste será el resultado de la siguiente ecuación:

$$\text{Contraste} = \frac{lum_min - lum_max}{lum_min + lum_max} \quad (4.1)$$

El contraste que obtuvimos fue del 85%, que estaba dentro de los límites del estándar exigido para la determinación de la agudeza visual.

4.6. Resultados

En este apartado se muestran los resultados obtenidos en las pruebas DV y DF.

4.6.1. Prueba DV

En esta prueba participaron tres sujetos (sujetos 5, 6 y 7 en la Tabla 4.1) del grupo de control (con visión normal y portando su mejor corrección). Se tomaron tres medidas de cada sujeto para cada *zoom* y cada aumento del tamaño de las cartas

ETDRS ($\times 1$, $\times 2$, $\times 4$ y $\times 8$), y se calculó su promedio. Este promedio se normalizó utilizando la agudeza visual natural de cada sujeto. En la Figura 4.2 se muestra el promedio de las agudezas visuales normalizadas de los tres sujetos que participaron en el estudio. Como error en los resultados se muestra la desviación estándar.

Se utilizó el programa *Sigmastat 3.1* para determinar el coeficiente (b_1) y la constante (b_0) de regresión de los resultados obtenidos con cada uno de los *zoom* digitales. Este programa también nos proporcionó el error estándar de la estimación.

Zoom DirectAvert:	$b_0 = 0,0354$	$b_1 = 1,296$
	Error estándar = 0,026	
Zoom Nearest:	$b_0 = -0,0649$	$b_1 = 1,353$
	Error estándar = 0,033	
Zoom Bilineal:	$b_0 = 0,0243$	$b_1 = 1,304$
	Error estándar = 0,010	

Como esperábamos, la introducción de un aumento en la imagen del test ETDRS, con cualquiera de los *zoom digital* de los que disponemos, conseguimos un aumento, de igual magnitud, en la agudeza visual de los sujetos que participaron en el estudio.

No observamos diferencias significativas entre los tres tipos de *zoom digital* evaluados con esta prueba.

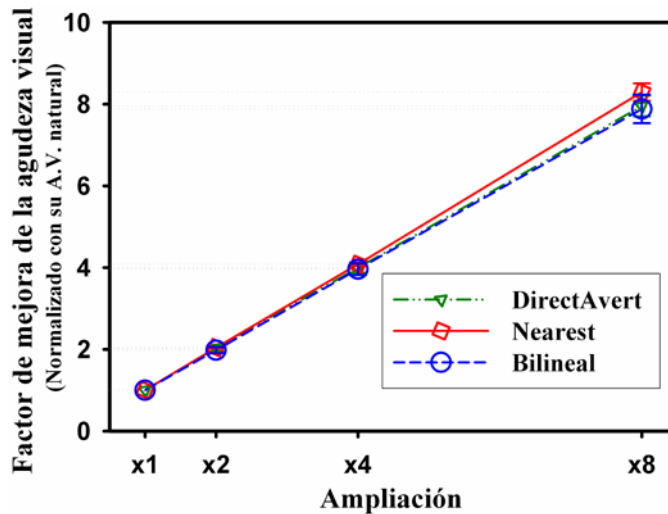


Figura 4.2.- Resultados de los promedios de A.V. de tres sujetos con visión normal, en la prueba DV.

4.6.2. Prueba DF

En esta prueba participaron 6 sujetos (sujetos del 1 al 6 en la Tabla 4.1), con visión normal, pertenecientes al grupo de control, y 6 sujetos con baja visión. En la Figura 4.3 podemos ver el promedio de las agudezas visuales normalizadas de los 6 sujetos del grupo de control, con los tres tipos de *zoom digital*, y realizando ampliaciones de $\times 1$, $\times 2$, $\times 4$, $\times 8$ y $\times 16$. Los resultados se normalizaron con la agudeza visual natural de cada sujeto. Recordemos que a los sujetos se les simuló agudezas visuales próximas a la baja visión mediante un difusor interpuesto, a diferentes distancias, entre el test ETDRS y el sujeto. El error que se muestra es la desviación estándar.

La mayor reducción en la agudeza visual simulada de los sujetos se conseguía situando el difusor a 50 cm del test ETDRS. Observamos en la gráfica que se obtenían aumentos más significativos en la agudeza visual de los sujetos cuando su agudeza visual de partida era menor. Sin el difusor no se consiguen mejoras en la agudeza visual de los sujetos con ninguno de los aumentos generados en las cartas ETDRS. En el apartado de discusión justificaré este hecho.

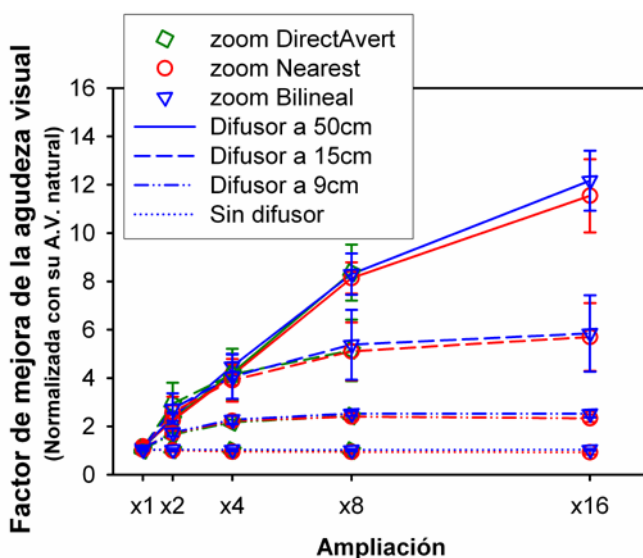


Figura 4.3.- Resultados de los promedios de A.V. de 6 sujetos con visión normal, en la prueba DF.

Tras esta evaluación con sujetos del grupo de control, se pasó a trabajar con sujetos con baja visión. Como ejemplo individual, se muestra en la Figura 4.4 el resultado de esta evaluación sobre uno de los sujetos con baja visión (sujeto 5). Las medidas se tomaron sólo del ojo derecho, en el que tenía una agudeza visual natural de 0,9 logMAR. En el ojo izquierdo tenía una agudeza visual por encima de los niveles de la baja visión. En la Figura 4.4 se ha representado el promedio de tres medidas de agudeza visual tomadas para cada ampliación ($\times 1$, $\times 2$, $\times 4$, $\times 8$ y $\times 16$) y con cada uno de

los *zoom digital* disponibles. El error mostrado en todos los casos es la desviación estándar.

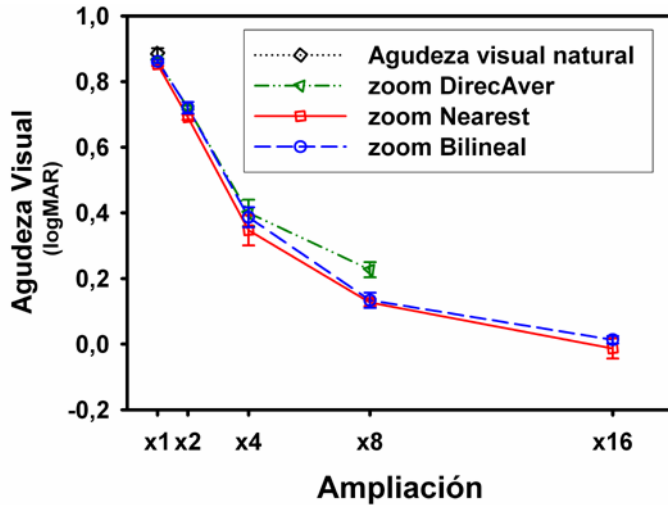


Figura 4.4.- Resultados del promedio de A.V. de un sujeto con baja visión, en la prueba DF.

En la Figura 4.5 se muestran los resultados del promedio de las agudezas visuales de 6 sujetos pertenecientes al grupo de control y los resultados individualizados de 6 sujetos con baja visión. Estos resultados corresponde exclusivamente al *zoom bilineal*, con aumentos de $\times 1$, $\times 2$, $\times 4$, $\times 8$ y $\times 16$. También se muestra la agudeza visual natural, que se obtuvo sin procesar la imagen del test ETDRS con el SERBA. Se tomaron tres medidas de la agudeza visual de cada sujeto para cada una de las ampliaciones que se realizaron. Recordemos que se redujo la agudeza visual natural de los 6 sujetos pertenecientes al grupo de control utilizando un difusor interpuesto entre el sujeto y el test ETDRS. En la Figura 4.5 mostramos el promedio obtenido para cada ampliación y para cada una de las distancias a las que se sitúa el difusor.

En este caso no normalizamos la agudeza visual obtenida, con la agudeza visual natural, para ninguno de los sujetos.

El error de los resultados, mostrados en la Figura 4.5, es la desviación estándar.

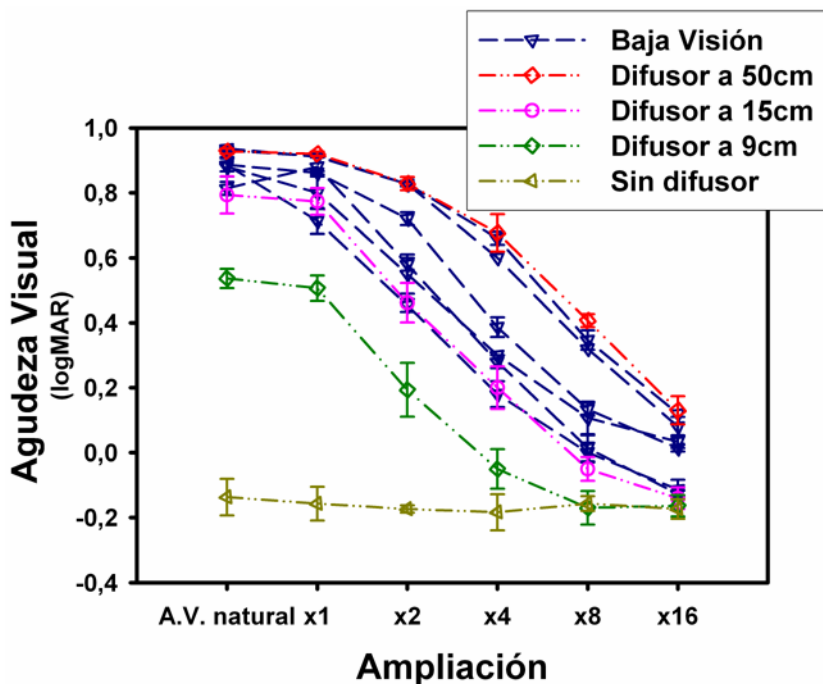


Figura 4.5.- Resultado de la prueba DF. Promedio de las agudeza visual de 6 sujetos del grupo de control y resultados individuales de 6 sujetos con baja visión, para el *zoom bilineal*.

Se observa en la gráfica de la Figura 4.5 que la desviación estándar, en el promediado realizado con los sujetos del grupo de control, es mayor que en los sujetos con baja visión. El aumento en la dispersión de los datos se debe a que realizamos el promediado sin normalizar las agudezas visuales de los sujetos.

4.7. Discusión

Puesto que queremos evaluar la utilidad de un *zoom digital*, la forma más apropiada es ver el efecto que tiene sobre la agudeza visual de los usuarios del SERBA. Para medir esta agudeza visual se utilizaron varias cartas ETDRS, que son las estándar para realizar medidas de agudeza visual en sujetos con baja visión [81].

Estas cartas se digitalizan, ya que sobre ellas vamos a aplicar un *zoom digital*. Esta digitalización supone una pixelación de las letras que forman las cartas ETDRS. El efecto que tienen los tres tipos de *zoom*, sobre las letras de las cartas, es una suavización de los contornos (Figura 4.1). Estudios realizados por Bailey en 1987 [99] con monitores CRT, y sujetos con baja visión (con daños en la visión central), concluyeron que se obtiene mejor agudeza visual con letras suavizadas. Sin embargo, para investigar con más profundidad este efecto, Li en 2001 [100, 101], utilizó un monitor CRT de alta resolución, sus resultados indicaban que para sujetos normalmente videntes, utilizando su visión periférica, el reconocimiento de letras “pixeladas” no difiere del de letras suavizadas. El termino “pixeladas” se refiere a que

el zoom realizado no aplica ningún algoritmo de interpolación y los píxeles que conforman las letras se distinguen de forma individual.

Los resultados de las pruebas DV y DF, realizadas en este trabajo, no muestran diferencias significativas entre los tres tipos de *zoom digital* de los que disponemos. Los diferentes grados de suavizado que se aplicaron a las letras del test ETDRS, con cada uno de los *zoom digitales*, no es determinante en el aumento conseguido en la agudeza visual de los sujetos. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Li en 2001 [100, 101]. Bailey [99] tomó como letras suavizadas las letras generadas con el estándar *Times Roman*, y la pixelación la generaron reduciendo la resolución de las letras. En el estudio de Li [100, 101] las letras pixeladas tenían la misma resolución que las letras suavizadas, la única diferencia entre ellas era que la escala gris de los píxeles contenidos en las letras suavizadas fue binarizada, en blanco y negro, en las letras pixeladas. La forma de generar el suavizado de la letra en el estudio de Li es más similar a la forma en que generan nuestros algoritmos el suavizado que el del método utilizado por Bailey [99]. Esto justifica el hecho de que nuestros resultados no concuerden con los de Bailey.

4.7.1. Prueba DV

En la Figura 4.2 podemos ver el promedio de las agudezas normalizadas de los tres sujetos que participaron en la evaluación. En el análisis de los resultados vimos que teníamos unos coeficientes de regresión entorno a 1,3 y una constante de regresión entorno a cero. El error en esta estimación está entre 0,033 y 0,010. Con estos resultados podemos afirmar que los tres tipos de *zoom digital* de los que disponemos tiene un muy buen comportamiento, proporcionando un aumento de la agudeza visual de igual orden que la ampliación realizada al test ETDRS.

Observando el resultado de la evaluación no podemos apreciar si las características de alguno de los *zoom* proporciona una mayor agudeza visual, ya que las diferencias entre los resultados obtenidos con los tres *zoom* entran dentro de los márgenes de error (desviación estándar).

4.7.2. Prueba DF

En la Figura 4.3 se puede ver el promedio de las agudezas normalizadas de los 6 sujetos con visión normal que participaron en el estudio.

En estas gráficas podemos apreciar un efecto de saturación en la agudeza visual. Esta saturación se producía cuando nos aproximábamos a agudezas de 0 logMAR.

En el caso concreto del difusor a 50 cm, para ampliaciones hasta $\times 8$ obtenemos un coeficiente (b_1) y constante (b_0) de regresión para el *zoom bilinea* igual a:

$$b_1 = 1,015 \quad b_0 = 0,262$$

$$\text{Error estándar de la estimación} = 0,182$$

Para los otros *zoom* obtenemos resultados similares. Para ampliaciones mayores nos encontramos que no tenemos el aumento en la agudeza visual deseado. Este efecto

se presenta antes con el difusor situado a menor distancia del test. Esto se debe a que en estos casos la agudeza visual de partida de los sujetos es mayor, con lo que se llega antes al límite de los 0 logMAR.

En la Figura 4.4 esta representada la evolución de la agudeza visual del sujeto 5 (con baja visión) para cada uno de los *zoom digitales* de los que disponemos. Podemos ver un comportamiento lineal hasta ampliaciones superiores a $\times 4$, corroborado por los resultados de la regresión lineal calculada en esta zona.

Zoom DirectAvert:	$b_0 = -0,209$	$b_1 = 1,363$
	Error estándar = 0,079	
Zoom Nearest:	$b_0 = -0,216$	$b_1 = 1,483$
	Error estándar = 0,053	
Zoom Bilineal:	$b_0 = -0,247$	$b_1 = 1,399$
	Error estándar = 0,121	

Esta regresión está calculada con los valores de agudeza visual normalizados.

Para agudezas visuales superiores a 0,4 logMAR se pierde esta tendencia y se aprecia una tendencia al valor 0 logMAR de la agudeza visual.

Como ya hemos mencionado, no se aprecian diferencias significativas entre los *zoom*, por ello hemos seleccionado uno de ellos, el *zoom Bilineal*, para representar las medidas de agudeza visual de todos los sujetos que participaron en el estudio (Figura 4.5). Las agudezas visuales de los sujetos con baja visión estaban entre los 0,81 y los 0,94 logMAR (Tabla 4.2), y como se esperaba la evolución de su agudeza visual es similar a la los sujetos visualmente normales con un difusor a 50cm (0,93 logMAR) y 15cm (0,74 logMAR) de las cartas ETDRS (Tabla 4.1).

En todas las medidas realizadas a los sujetos del estudio podemos apreciar la misma tendencia a la saturación, de la agudeza visual, hacia el valor de 0 logMAR.

Esta tendencia no se presentaba en las agudezas visuales obtenidas en la prueba DV. En la prueba DF, al mantener la distancia entre el sujeto y el test constante, nos encontramos con límites impuestos por la resolución de las cartas ETDRS, que fueron generadas por un ordenador.

En la Tabla 4.4 podemos apreciar que para la línea de agudeza 20/12,5 (-0,3 logMAR), en la prueba DF, el número de píxel para definir cada letra (4 \times 6 píxeles) es muy insuficiente. Lo que justifica la incapacidad del sistema para conseguir agudezas visuales mayores.

En la Figura 4.3 vemos que esta saturación se presenta para aumentos menores con difusores puestos más próximos al test. Esto se debe a que la agudeza visual de partida es mayor, con lo que se llega antes al límite de resolución del sistema.

En la prueba DV, al aumentar la distancia al test en igual proporción que se aumenta el tamaño de las letras, la menor línea que pueden leer, independientemente de la amplificación realizada, es aproximadamente la de 20/12,5 (5 \times 5 píxeles). En el caso de la prueba DF, suponiendo que la agudeza visual natural de los sujetos fuera de 0,94 logMAR, para un *zoom* $\times 1$ los sujetos podrían leer hasta la línea 20/1200 (*zoom* $\times 6$ realizado por el ordenador a la línea 20/200) Esto supone una resolución de 318 \times 510 píxel por letra. Si se mantuviera la tendencia lineal deseada en la evolución de la

agudeza visual, significaría que para una ampliación de $\times 16$ los sujetos deberían poder leer la línea 20/25 (0,04 logMAR) que tiene una resolución de 7×11 píxeles. Esta resolución resulta insuficiente para una identificación cómoda de la letra en personas con baja visión. Para sujetos con agudezas visuales naturales mayores de los 0,94 logMAR la saturación aparece para ampliaciones menores de $\times 16$.

4.8. Conclusiones

No hemos obtenido diferencias significativas en la agudeza visual de los sujetos, para cada uno de los tres tipos de *zoom digital*, con los que se realizaron las pruebas. Los diferentes grados de suavizado que se aplicaron a las letras del test ETDRS, con cada uno de los *zoom digitales*, no es determinante en el aumento conseguido en la agudeza visual de los sujetos. Este resultado es coherente con el obtenido por otros investigadores [100, 101], cuyos resultados indicaban que para sujetos normalmente videntes, utilizando su visión periférica, el reconocimiento de letras pixeladas no difiere del de letras suavizadas.

Para cada uno de los zoom digitales hemos obtenido un aumento en la agudeza visual del sujeto igual al aumento introducido en el tamaño de las letras del test. Los resultados sólo están limitados por la resolución empleada en la digitalización de las cartas ETDRS, que ocasiona limitaciones en la máxima agudeza visual que se puede conseguir en los sujetos.

Este resultado justifica de forma rotunda este tipo de ayudas con aumento digital de la imagen para pacientes con poca agudeza visual.

CAPÍTULO 5

Evaluación del algoritmo de Vista Aumentada

5.1. Introducción

Este capítulo está dedicado a la evaluación del algoritmo de *Vista Aumentada*, en condiciones de iluminación diurna. En esta evaluación participaron 8 sujetos con Retinosis Pigmentaria, y tres sujetos con visión normal, pertenecientes a un grupo de control. En la evaluación se les pasó a los sujetos el test VFQ25, para valorar su calidad de vida. Se les realizaron medidas de su campo visual, agudeza visual y sensibilidad al contraste, sin que portaran el SERBA y portando el SERBA, para ver si el SERBA deterioraba su resto visual. Tras estas medidas los sujetos realizaron una prueba de movilidad y otra de localización de objetos, en las que pretendíamos valorar si el SERBA les facilitaba la realización de estas pruebas. Para terminar, los sujetos respondieron a varios test, para que expresaran la dificultad percibida en la realización de las pruebas y para que valoraran subjetivamente la calidad del SERBA.

5.2. Sujetos

La muestra se compuso de 8 sujetos con Retinosis Pigmentaria (RP), que componían el grupo experimental, y 3 sujetos sin patología ocular, que componían el grupo de control.

En el grupo experimental ninguno de los sujetos utilizó ayudas (bastones, muletas,...) para desplazarse durante las pruebas, aunque el sujeto 6 sí que utilizaba habitualmente una muleta. Se le consultó si podría realizar las pruebas sin la muleta y no tuvo ningún inconveniente. Como características especiales de algunos de los sujetos, destacamos que el sujeto 1 era un deportista de élite muy ágil. El sujeto 3 tenía un campo visual horizontal considerablemente mayor al resto de los sujetos. En la Tabla 5.1 podemos ver las características de la muestra. En uno de los sujetos (sujeto 6) no se evaluó el campo visual horizontal (CVH) del ojo izquierdo, ya que se le había extraído el cristalino (afáquico) y necesitaba portar un cristal esmerilado. Cuando se extrae el cristalino generan en el ojo un defecto de refracción de alrededor de +12 D (dioptrías), y si eso lo corrigen con lente en gafa se produce una diferencia de tamaño de imagen retiniana imposible de fusionar. Además, el cristal que necesitaría (lente positiva de alta potencia) limitaría el campo visual y alteraría el resultado de la medida. Todos los datos que aparecen de este sujeto en la Tabla 5.1 se refieren a su ojo derecho.

Sujetos	Edad	Sexo	A.V.B.* (logMar)	C.V.H.** O.D.(grados)	C.V.H.** O.I.(grados)	Independencia en la movilidad
1	35	V	0,50	4,97	7,70	Sí
2	33	M	0,40	2,23	15,90	Sí
3	53	M	0,30	26,01	34,36	Sí
4	26	V	0,38	4,36	6,11	Sí
5	22	V	0,30	6,69	-----	Sí
6	36	M	0,21 o.d.	6,55	-----	No (muleta)
7	57	M	0,30	7,59	7,65	Sí
8	33	M	0,16	13,09	17,15	Sí

A.V. B*.: Agudeza Visual Binocular. (LogMAR.- logaritmo del mínimo ángulo de resolución)

C.V.H.**: Campo Visual Horizontal

O.D.: Ojo Derecho

O.I.: Ojo Izquierdo.

Tabla 5.1.- Características fisiológicas de los sujetos que componían el grupo experimental, que participaron en la evaluación.

El sujeto 8 del grupo experimental tenía islas (zonas con cierta detección visual) en la campimetría de su ojo izquierdo, a 20° del campo visual expresado en la tabla anterior.

5.3. Dispositivo

Como ya he mencionado, Peli (2000) propuso teóricamente el novedoso concepto de Vista Aumentada (*Augmented View*) para la creación de nuevas ayudas en la rehabilitación visual [45, 96]. Esta estrategia permitiría proporcionar a los sujetos con visión túnel, la información necesaria acerca de objetos en su periferia, y así aumentar la capacidad de movilidad sin comprometer su visión residual. La idea aprovechaba las nuevas tecnologías emergentes de periféricos informáticos. Para la aplicación del algoritmo de *Vista Aumentada* es fundamental la configuración móvil del dispositivo, ya que esta ayuda se utiliza principalmente para facilitar la navegación. El sistema que seleccionamos es el segundo prototipo del SERBA, que está detallado en el apartado 3.3.2.2. Este prototipo está formado por un visor portable (*Head-Mounted-Display* (HMD)) transparente (NOMAD ND2000), una minicámara de vídeo de alta sensibilidad (PC180XS CCD ExView) montada en el HMD y la FPGA RC100 de *Celoxica* que realiza el procesamiento de imagen en tiempo real. La cámara adquiere la imagen de un campo visual amplio (C.V. de la cámara: 78°). Esta imagen es procesada por la FPGA aplicándole una detección de bordes (Sobel), dando como resultado una imagen estilizada a modo de dibujo de líneas brillantes. El *Nomad ND2000* fue seleccionado por su transparencia, alto contraste, brillo y por un bloqueo casi nulo del campo visual (C.V. del Nomad: 13° Vertical, 19° Horizontal). Estas características hacen posible ver a través de él, y tener una buena resolución en la imagen de bordes que se muestra en el visor. Mediante esta estrategia se pretende restablecer la información visual perdida (no detallada, pero suficiente para la navegación), introduciendo un campo mayor dentro de su campo visual (aumento aproximado del campo de $\times 4$), a la vez que puede seguir disfrutando de la resolución de su visión residual al mirar a través del HMD.

En la Figura 5.1 se muestra una imagen real del algoritmo de *Vista Aumentada*, tomada del visor del SERBA.



Figura 5.1.- Imagen real del algoritmo de *Vista Aumentada*.

5.4. Evaluación

Se realizaron varias pruebas optométricas, con el objetivo de demostrar que el sistema de ayuda propuesto no perjudica el resto visual de los usuarios y para determinar el aumento de campo visual que proporciona. El ojo en el que se situaba el visor del SERBA era el de mayor agudeza visual y mejor sensibilidad al contraste. En el caso en el que las diferencias no fueran significativas [49], se dejaba que el sujeto decidiera en que ojo le resultaba más cómodo llevar el visor.

Una vez realizadas estas medidas enfrentábamos a los sujetos a una prueba de movilidad. Para completar la evaluación preparamos dos salas con varios ejercicios de localización. Todas las pruebas fueron realizadas por los sujetos portando su mejor corrección óptica. A todos los sujetos se le pasó el test VFQ-25 [76, 77], para conocer de qué forma interfería su problema visual en el desarrollo de las tareas cotidianas.

Al finalizar cada prueba, los sujetos contestaron a un test sobre la dificultad que habían apreciado en la realización de las pruebas con el SERBA y sin el SERBA. También se les realizó un test en el que debían calificar el sistema y opinar libremente sobre sus ventajas e inconvenientes, y realizar propuestas de mejora.

5.4.1. Pruebas optométricas

Se evaluaron el campo visual (CV), la agudeza visual (AV) y la sensibilidad al contraste (SC). Todas las medidas se tomaron con la mejor corrección de cada sujeto.

Las medidas monoculares se realizaban ocluyendo el ojo no evaluado con un parche opaco.

Este tipo de medidas han sido utilizadas por otros autores [55], para evaluar ayudas opto-electrónicas para personas con baja visión.

5.4.1.1 Campimetría

Se realizaron campimetrías a los 8 sujetos del grupo experimental (con Retinosis Pigmentaria) y en un sujeto del grupo control. En el sujeto del grupo control se simuló una restricción severa del campo visual utilizando unas gafas opacas con un agujero estenopeico que coincidía con su pupila. Se tomaron dos medidas cambiando el diámetro del agujero estenopeico, produciendo una reducción en el campo visual del sujeto de 8° y 16° centrales, respectivamente.

Para realizar la campimetría se utilizó el programa *Autoplot* [78, 79]. Para medir el campo visual del sujeto sin SERBA se utilizó un estímulo de 20mm de diámetro, y de 40mm para medir el aumento de campo mediante el dispositivo de *Vista Aumentada* (SERBA). El aumento de tamaño del estímulo, en las medidas con el SERBA, se hizo para compensar la expansión de campo que induce el SERBA (que implica en una disminución del tamaño de los objetos). La luminancia de la proyección (pantalla blanca y estímulo negro), empleada para la evaluación del campo visual, era de 100 cd/m².

En el sujeto del grupo de control, las medidas se tomaron sólo de su ojo derecho, que es en el que se situó el visor del SERBA. En los sujetos del grupo experimental

(con RP) se tomaron medidas en ambos ojos sin el SERBA y sólo en el ojo en el que se situaba el visor cuando mediamos con el SERBA.

Todas las medidas se realizaron portando los sujetos su mejor corrección óptica.

5.4.1.2 Agudeza visual

Se midió la agudeza visual de los 8 sujetos del grupo experimental y en los tres sujetos del grupo control. En este caso, no se restringió la visión de los individuos del grupo de control.

Para la medida de la agudeza visual se utilizó un test ETDRS presentado a 4 m, ya que es el estandarizado para baja visión [81]. La agudeza visual se registró en unidades logMAR (logaritmo del mínimo ángulo de resolución)

La iluminación con la que se realizó el test fue de 919 lx sobre la cabeza del sujeto (orientado al techo), 580 lx a 2m del test ETDRS y a 1m del suelo (orientado al techo), de 240 lx en el centro del optotipo ETDRS (orientado al techo), y la iluminancia que llegaba a los ojos del sujeto era de 288 lx la iluminancia que llega a los ojos del sujeto. Estos niveles se midieron con un luxómetro (ISO-TEGH ILM350).

En los sujetos del grupo de control se midió la agudeza visual sólo en el ojo seleccionado para situar el visor del SERBA. Se tomaron medidas de la agudeza visual sin el SERBA en ese ojo, y de la agudeza visual cuando con el SERBA. En todas las medidas los sujetos portaban su mejor corrección óptica.

En los sujetos del grupo experimental (con RP) se midió la agudeza visual sin SERBA y con el SERBA, del ojo derecho, izquierdo y binocular, siempre con su mejor corrección visual.

Para las medidas en el ojo en el que el sujeto portaba el SERBA, se seleccionó en la FPGA el nivel máximo de bordes de la imagen. El sujeto debía leer los optotipos del test ETDRS a través de la imagen de bordes que proyectaba el Nomad ND2000 en su retina. En la Figura 5.2 se muestra lo que veía un sujeto que portaba el SERBA, durante la determinación de su agudeza visual.

Con estas medidas de agudeza visual queríamos comprobar que, como afirmamos anteriormente, el sistema diseñado no comprometía el resto visual (en este caso la agudeza visual) de los sujetos.



*Extraída de un vídeo, con baja resolución.

Figura 5.2.- Imagen real tomada del visor del SERBA durante la determinación de la A.V..

5.4.1.3 Sensibilidad al contraste

Se midió la sensibilidad al contraste en los 8 sujetos del grupo experimental (con RP), y en tres sujetos del grupo control a los que no se les restringió su campo visual.

Las medidas de sensibilidad al contraste se realizaron utilizando un test CSV-1000E. Ésta es una unidad de evaluación de contraste estandarizada que ha sido descrita en el apartado 2.2.3.3. La distancia entre el sujeto y el test fue la recomendada por el fabricante, 2,5m.

La iluminación fue de 60 lx en el centro del test (orientado al techo), 41 lx en los ojos del sujeto y 191 lx sobre la cabeza del sujeto (orientado al techo). Estos niveles de iluminación se midieron con un luxómetro (ISO-TEGH ILM350).

En todos los sujetos se midió la sensibilidad al contraste monocular y binocular, con su mejor corrección visual. La sensibilidad al contraste se registró como el último valor de contraste en el que el individuo era capaz de ver el enrejado en cada frecuencia.

5.4.2. Prueba de movilidad

La prueba de movilidad se llevó a cabo con 7 sujetos del grupo experimental (con RP). El sujeto 8 no pudo realizar esta prueba por dificultades en la disponibilidad de las instalaciones, ajenas a los investigadores.

Para evaluar el efecto de la ayuda en la movilidad de los sujetos, y basándonos en estudios similares anteriores [55-57, 59], se desarrolló una prueba que consistía en un recorrido con obstáculos en el interior de nuestras instalaciones, similar al de [55]. Este recorrido tenía dos secciones.

Primera sección: la longitud del recorrido de esta sección era de 31 m. Todo el trayecto estaba limitado por dos líneas blancas, entre las que debían caminar los sujetos, que determinaban un ancho homogéneo de 1,6 m. Se utilizaron 40 obstáculos situados en el suelo y 14 colgados del techo. Los situados en el suelo estaban al nivel de tobillo, la rodilla y la cadera. Los obstáculos aéreos estaban situados aproximadamente a 150 cm del suelo. La distribución de estos obstáculos fue aleatoria, al igual que su color y tamaño. Los objetos empleados fueron cajas, corchos (blancos y negros) y pivotes de señalización de 75 cm de altura (azules o verdes con franja de material reflectante; ver Figura 5.3). En la Figura 5.3 tenemos una fotografía del camino de obstáculos. Este trayecto se subdividió en 8 zonas separadas por unas cortinas de papel de estraza. El objetivo de esta separación era que los sujetos no tuvieran una visión completa del recorrido para, de esta manera, dificultar la memorización y la localización de los obstáculos a distancia.



Figura 5.3.- Imagen del recorrido de obstáculos.

La densidad media de obstáculos en todo el recorrido fue del 9,5%. La densidad de obstáculos de cada tramo la calculamos dividiendo la superficie ocupada por todos los objetos por la superficie total del tramo. La superficie que ocupa cada objeto se puede ver en las tablas del apéndice C.

En la Tabla 5.2 se muestra los siguientes datos de cada uno de los 8 tramos (T) en los que se subdividió el recorrido: la densidad de objetos (D), la longitud del tramo (L) en metros (el ancho del mismo era en todos de: 1,6m), el número de obstáculos en el suelo (S) y el número de obstáculos aéreos (A).

	T 1	T2	T3	T4	T 5	T6	T 7	T 8
D	10%	8,6%	10,8%	9,5%	11,6%	5,7%	9%	8,2%
L (m)	3,4	4,4	4,6	5	5,4	2,6	3	2,4
S	5	7	5	7	6	4	3	3
A	1	2	2	2	2	1	2	2

Tabla 5.2.- Características de cada tramo (T) en el que se subdivide el recorrido.

De la Tabla 10.1 a la Tabla 10.8 del apéndice C, se hace una descripción más detallada de cada uno de los objetos que había en cada tramo. El recorrido estaba delimitado por dos líneas blancas, que dejaban un pasillo de 1,6 m de ancho a lo largo de todo el recorrido, como hemos dicho anteriormente; algunos objetos estaban situados sobre estas líneas, quedando parte del objeto fuera del recorrido.

De la Figura 5.4 a la Figura 5.7, se puede ver la distribución de los objetos de cada uno de los 8 tramos que conforman el recorrido de movilidad.

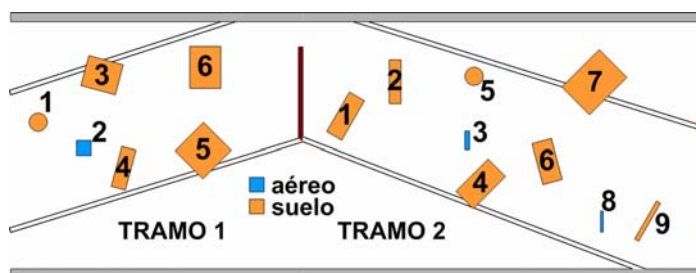


Figura 5.4.- Distribución de los objetos, del tramo 1 y tramo 2.

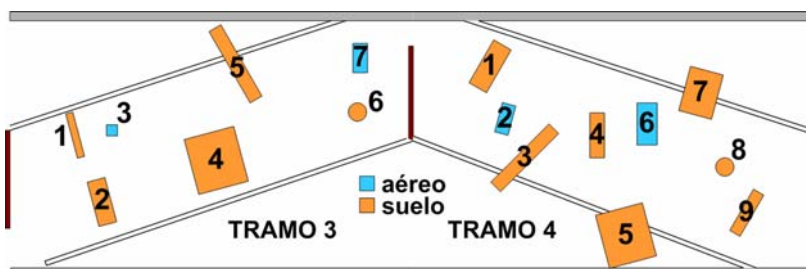


Figura 5.5.- Distribución de los objetos, del tramo 3 y tramo 4.

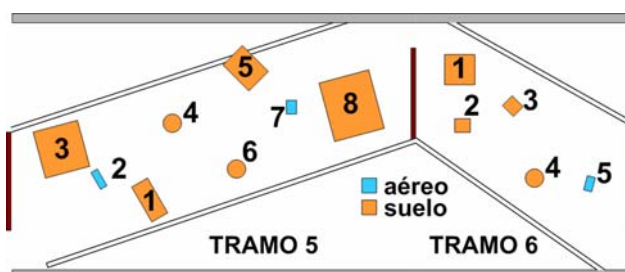


Figura 5.6.- Distribución de los objetos, del tramo 5 y tramo 6.



Figura 5.7.- Distribución de los objetos, del tramo 7 y tramo 8.

Los objetos a la altura del tobillo tenían una altura menor de 35 cm, los objetos a la altura de la rodilla tenían una altura entre 35 y 60 cm, y los objetos a la altura de la

cadera tenían una altura mayor de 60 cm. En total disponíamos de 17 objetos a la altura del tobillo, 11 a la altura de la rodilla y 13 a la altura de la cadera.

Segunda sección: Estaba formada por un tramo de 16 escaleras (dos tramos de 8 escaleras separadas por un descansillo de 128×120 cm) y dos halls de 9×3,5 m. La dimensión de los escalones era de 32 cm de profundidad, 17 cm de alto y 126 cm de ancho.

Dada la importancia de los niveles de iluminación para la visión de estos sujetos, se midió la iluminancia en todo el recorrido, en intervalos de 1,2 m, con un luxómetro (ISO-TEGH ILM350) situándolo a 1 m del suelo y orientado hacia el techo [55]. La iluminación del recorrido se debía a la luz que entraba por las ventanas y a la luz procedente de tubos de neón situados en el techo. Puesto que todos los sujetos realizaron la prueba entre las 10 a.m. y las 12:30 a.m. horas, se tomaron medidas de la iluminancia del recorrido a las 10:10, a las 11:30 y a las 12:45. Los niveles de iluminancia de las distintas secciones del recorrido se muestran en la Figura 5.8.

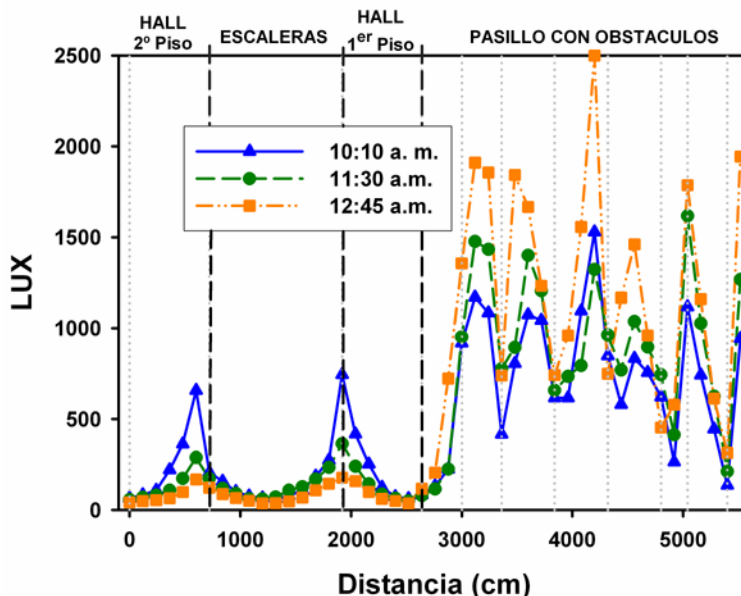


Figura 5.8.- Iluminancia del recorrido realizado por los sujetos.

Como podemos observar en la Figura 5.8, la iluminación media, en el pasillo con obstáculos, era de 900 lx, con un máximo de 2500 lx a las 13:00 en el tramo 4, y un mínimo de 78 lx a las 11:30 en el tramo 1. En los halls teníamos una iluminación media de 190 lx, con un máximo de 744 lx y un mínimo de 37 lx. La iluminación en las escaleras es la más uniforme con un valor medio de 119 lx, un valor máximo de 300 lx y un mínimo de 36 lx.

Se seleccionó esta configuración de iluminación, dentro de las limitaciones metodológicas, porque eran las más próximas posibles a una situación real diurna. Las

líneas punteadas verticales, en la zona del “pasillo de obstáculos”, separan los datos de iluminación de cada uno de los 8 tramos en los que subdividimos el recorrido.

5.4.2.1 Protocolo

En este apartado se hace una descripción y una justificación de los pasos que se siguieron en la realización de la prueba de movilidad. Los pasos se muestran en orden cronológico y se incluyen en este protocolo las pruebas optométricas correspondientes al apartado 5.4.1. Como se verá en este apartado, el orden cronológico de las pruebas fue crítico para conseguir una buena adaptación de los sujetos al SERBA, antes de que se enfrentaran al recorrido de obstáculos.

Velocidad natural.- Comenzamos la prueba determinando la velocidad natural [61] de los sujetos. La velocidad natural es la relación espacio/tiempo obtenida midiendo el tiempo que el sujeto tarda en recorrer un pasillo de 20 m, con unas condiciones de iluminación similares a las que tiene la zona donde se va a realizar la prueba de movilidad. El pasillo no tenía obstáculos, y el sujeto llevaba su mejor corrección óptica y no portaba ayudas ópticas o no ópticas. Los sujetos debían recorrer el pasillo completo en tres ocasiones, y tomamos como velocidad natural el promedio de estas tres medidas. Este dato nos permitió expresar los resultados de la prueba de movilidad en función del PPWS (*percentage of their preferred walking speed*) [61, 62] de cada sujeto. El PPWS es una medida objetiva de la movilidad funcional que ha sido usada en varios estudios [56, 102-104], que permite la normalización de la velocidad de paso de los sujetos, haciéndola independiente de la edad, altura, peso y salud física [103].

Reconocimiento del recorrido.- Previamente al comienzo de la prueba de movilidad se les mostró a los sujetos el recorrido de obstáculos al que se iban a tener que enfrentar. Con esto se pretendía minimizar el efecto del aprendizaje en la segunda medida.

Pruebas optométricas.- Tras el reconocimiento del recorrido, se realizaron las medidas de la agudeza visual, la sensibilidad al contraste y la campimetría, descritas en el apartado 5.4.1. Estas pruebas duraron aproximadamente una hora. Realizar estas pruebas optométricas, antes que la prueba de movilidad, permitía a los sujetos familiarizarse con el sistema antes de enfrentarse al recorrido de obstáculos. De esta forma, se reducían los errores de movilidad debidos a la utilización de una ayuda nueva (SERBA) durante la prueba.

Entrenamiento.- Para aumentar la adaptación de los sujetos al SERBA, se realizaba un entrenamiento previo, dejando que se movieran con el SERBA en una zona aislada del recorrido de obstáculos, que tenía una configuración similar a éste. Durante este entrenamiento los sujetos se adaptaban a la ergonomía del SERBA, se acostumbraban a localizar y utilizar la imagen de bordes que le proporciona el visor, y aprendían a regular y seleccionar el nivel de bordes más apropiado. Recordemos que el SERBA permite al usuario ajustar algunos parámetros, como puede ser el nivel de bordes de la

imagen que se les muestra en el visor. Este ajuste se realiza con los dos botones de un ratón conectado a la FPGA del SERBA. El período de entrenamiento duraba entre 5 y 10 minutos y era esencial para evitar errores debidos a la falta de práctica en el uso de un sistema nuevo.

Por tanto, para permitir que los sujetos se familiarizaran con el SERBA evitando al máximo el efecto aprendizaje, se tomaron las siguientes precauciones antes de la realización de la prueba de movilidad:

- Mostrar el recorrido de obstáculos.
- Medir la agudeza visual, la sensibilidad al contraste y el campo visual de los sujetos, con el SERBA y sin el SERBA, para que se familiarizaran con él.
- Realizar entre 5 y 10 minutos de entrenamiento en una zona similar al recorrido de obstáculos.

Normas del recorrido.- Antes de comenzar la prueba de movilidad se les leían las normas del recorrido: no podían salirse de las líneas blancas que limitaban el trayecto, debían evitar los obstáculos del suelo y los que se encontraran a la altura de la cabeza, no podían explorar la zona ayudándose de las manos o los pies, ni rozar las cortinas que separaban las secciones del recorrido; debían concentrarse en el recorrido y no hablar con el investigador en el transcurso de la prueba. Estas normas se les repetían un mínimo de dos veces, para asegurarnos de que las habían entendido.

Nivel de bordes.- También se les dejaba un tiempo, antes de comenzar la prueba, para que ajustasen el nivel de bordes (umbral de binarización) de la imagen hasta encontrar el más adecuado. Durante el recorrido podían modificar este nivel, cuando los cambios de iluminación a lo largo del recorrido así lo requiriesen. Estos ajustes debían hacerlos sin detenerse, para que esta maniobra no supusiese un aumento del tiempo empleado en la realización del recorrido. Sin embargo, este aumento de tiempo era inevitable puesto que se movían con un dispositivo que les era desconocido. A pesar de este inconveniente, se consideró necesario que realizaran la prueba con un nivel de bordes adaptable a las necesidades de cada tramo.

Realización del recorrido.- Una vez ajustado el nivel de bordes, los sujetos realizaban el recorrido con el SERBA o sin el SERBA. Puesto que disponíamos de un único recorrido y los sujetos debían realizarlo en dos ocasiones, se hizo que en ambas cambiasen el sentido del recorrido, balanceándolo el orden del sentido entre sujetos, para que este factor no afectara a los resultados.

Extracción de parámetros.- Durante toda la prueba un investigador seguía al sujeto anotando los obstáculos con los que chocaba, si se ayudaba con las manos o con el pie, si pisaba la línea blanca o si tocaba alguna de las cortinas de papel que separaban los tramos. También se anotaban las incidencias que se producían, como puede ser que el

sujeto dudara en la dirección de su siguiente paso, que aminorara su paso, que se parara o que diera un paso en falso para evitar un obstáculo inexistente. Por último, se registró el tiempo empleado en la realización de la prueba.

Con el tiempo que tardaba en realizar el recorrido, se calculó la velocidad media del sujeto durante la prueba, esta velocidad se normalizó con su PPWS [61, 62], lo que nos permitió comparar los resultados entre sujetos.

5.4.2.2 Test de valoración subjetiva de la prueba de movilidad

Los sujetos, tras realizar el recorrido (con SERBA o sin SERBA), debían responder a una serie de cuestiones. Con estas cuestiones pretendíamos evaluar el grado de dificultad subjetiva apreciada por los sujetos en la realización de la prueba y si creían que el SERBA les resultaba útil en la ejecución de esta prueba. Cuestionarios similares han sido utilizados en otros estudios [55, 57] de evaluación de ayudas visuales. Se ha documentado la opinión de los sujetos que participan en un estudio, así como las apreciaciones de los especialistas que los siguen durante las pruebas, es tan fundamental como los resultados objetivos de dichas pruebas [57].

Las posibles respuestas y las puntuaciones fueron las mismas para todas las cuestiones:

Muy fácil = 5, Fácil = 4, Poco fácil = 3, Difícil = 2, Muy difícil = 1.

Las cuestiones del test que se les pasó eran las siguientes:

Cuestión 1.- “¿Qué le ha parecido el recorrido?”

Con esta cuestión pretendíamos valorar el grado de dificultad subjetivo que los sujetos experimentaban cada vez que tienen que realizar el recorrido, con SERBA y sin SERBA. Con esto tenemos una primera impresión sobre si los sujetos encontraban el sistema útil.

Cuestión 2.- “Determinar la distancia a la que se encontraba el objeto le ha resultado...”

Puesto que la imagen que se mostraba a los sujetos, a través del visor del SERBA, les proporcionaba un aumento de su campo próximo a los $\times 4$, esta imagen podía desorientarlos a la hora de determinar la distancia real a la que se encontraban los objetos.

Cuestión 3.- “Determinar la posición en la que se encontraba el objeto (derecha, izquierda, centro, etc.), le ha resultado...”

Uno de los problemas que presenta la visión túnel es la dificultad para detectar o localizar objetos que se encuentran fuera del campo visual central (el resto visual de estos sujetos). El SERBA proporcionaba a los sujetos un aumento de su campo visual, lo que debería facilitarles la percepción y localización de los objetos.

Cuestión 4.- “Evitar los obstáculos le ha resultado...”

Puesto que el SERBA se diseñó pensando en facilitar la percepción y localización de objetos a los usuarios del sistema, queríamos saber si les resultaba más fácil evitar los obstáculos del recorrido con el SERBA que sin el SERBA.

5.4.3. Pruebas de localización

Para investigar si el SERBA facilitaba la localización de objetos en sujetos con visión en túnel, se desarrollaron varias pruebas que duplicamos en dos salas con iguales dimensiones, iluminación, número y tipo de objetos. En la Figura 5.9 tenemos dos imágenes de las salas utilizadas. Las salas eran de 25 m² cada una, en una de ellas los sujetos empleaban el SERBA para realizar las pruebas, y en la otra las realizaban sin el SERBA. Se balanceó la sala que se utilizaba para evaluar el SERBA entre los sujetos, para evitar que este parámetro afectara a los resultados.



Figura 5.9.- Imágenes de las salas donde se realizaron las pruebas de localización. (a) Sala 1. (b) Sala 2.

En estas salas se colocaron sendas mesas, un número aleatorio de sillas y varios pilones de señalización.

También se colocaron, en cada sala, unas gafas de sol (12 cm), dos pinzas (6,5 cm), una cámara de fotos desechable (6×9×3,5 cm), una hoja de papel amarillo (21×12 cm) y una hoja imprimida de un periódico digital (A4). En la Figura 5.10 y la Figura 5.11 se puede ver un esquema de las salas, y la distribución de los objetos en cada una de ellas. Para completar el material de las pruebas, se seleccionó una zona de la pared situada junto a la puerta de entrada y a 1,60 m del suelo, para pegar 5 figuras geométricas. Estas figuras eran triángulos o cuadrados, con 5,5 cm de lado, con bordes rojos o azules y con números (1,4 cm) de cinco cifras escritos en su interior.

Sobre las mesas, que estaban disponibles en cada una de las salas, se situaron los objetos correspondientes a la última prueba que realizaron los sujetos. Estos objetos eran: 6 números, de 1 cm de alto, escritos en cuadrados blancos de 2 cm de lado y pegados de forma aleatoria sobre la mesa; unas pinzas; un cable; una cinta de vídeo de 8mm y su funda.

La función de cada uno de estos objetos, en las pruebas que se realizaron en las salas, está descrita en el apartado 5.4.3.

Distribuidos de forma aleatoria en cada una de las salas había varios objetos distractores.

La iluminación de la sala procedía exclusivamente de dos fluorescentes situados en el techo. Se bloqueó la entrada de luz exterior por las ventanas bajando las persianas totalmente. La iluminación se midió con luxómetro (ISO-TEGH ILM350), muestreando con una separación de 1,2 m, situándolo a 1m del suelo y orientado hacia el techo [55]. En la Figura 5.12.a y Figura 5.12.b se muestran los niveles de iluminación en las dos salas.

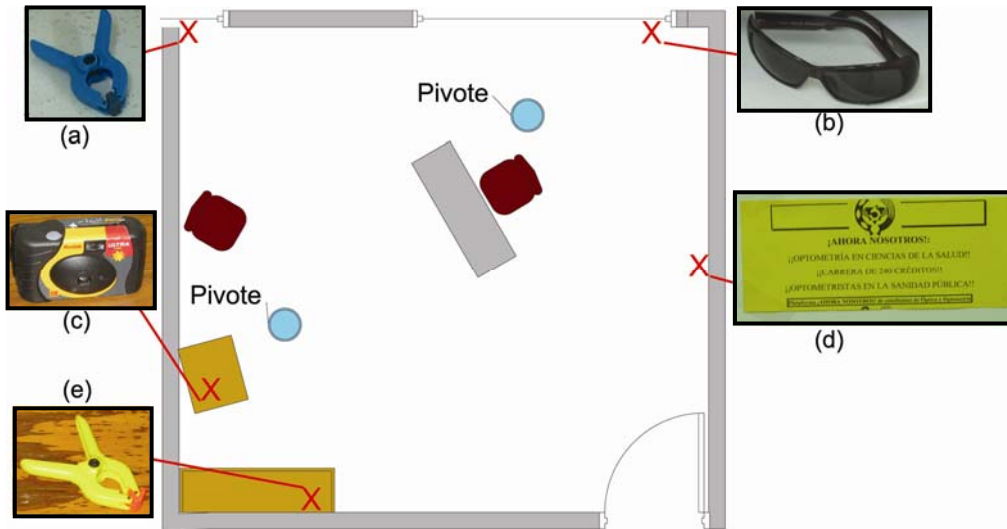


Figura 5.10.- Objetos de la sala 1. (a) Pinza sobre alféizar de la ventana, (b) gafas de sol sobre alféizar de la ventana, (c) cámara de fotos desechable sobre mesa de madera, (d) hoja amarilla pegada en la pared y (e) pinza sobre mueble de madera.

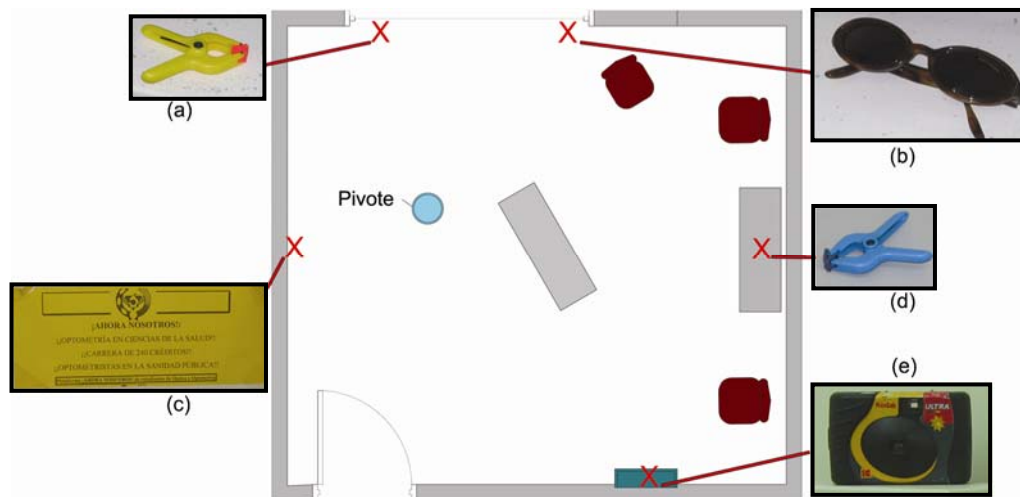


Figura 5.11.- Objetos de la sala 2. (a) Pinzas sobre alféizar de la ventana, (b), gafas de sol sobre alféizar de la ventana (c) Hoja amarilla pegada en la pared, (d) pinzas sobre mesa y (e) cámara de fotos desechable sobre oftalmoscopio de pared.

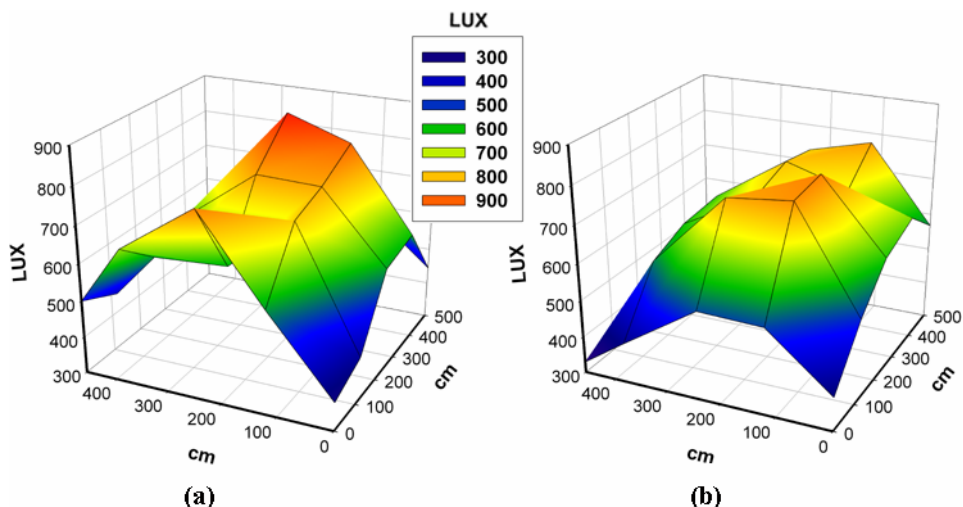


Figura 5.12.- Gráfica de la iluminancia de las salas donde se realizaron las pruebas de localización. (a) Sala 1. (b) Sala 2.

Los sujetos con restricción del campo visual tienen dificultades para encontrar objetos, ya que deben rastrear visualmente la zona con un campo visual menor de 20°. Con estas pruebas queríamos comprobar si la ayuda propuesta reducía el tiempo de rastreo.

En la realización de las pruebas tomamos como parámetro el tiempo empleado y si las ejecutaban correctamente o no.

5.4.3.1 Descripción de las pruebas de localización

Prueba 1. Localización de objetos en campos visuales de 180°

Esta prueba consistía en que el sujeto abriera la puerta de la sala y, desde la entrada, dijera el número de sillas, mesas y pilones que veía. Para evitar confusión en la realización de la prueba, previamente se le había mostrado un pilón similar a los que tenía que localizar. Cuando creía que había localizado todos los objetos, cerraba la puerta y los enumeraba. Con esta prueba se pretendía evaluar la ayuda que proporciona el SERBA para localizar objetos grandes (75 cm de altura) distribuidos en un campo visual de 180° y a una distancia máxima de 6,5 m.

Prueba 2. Localización de objetos a corta distancia

En la siguiente prueba se guió a los sujetos hasta situarlos a 40 cm de una de las paredes de la sala. En esta pared había una serie de figuras geométricas, cuadrados y triángulos, con bordes azules o rojos, y con números en su interior. Las figuras quedaban dentro de un campo visual de 90°. En la Figura 5.13 tenemos dos imágenes de las figuras geométricas que se utilizaron en la prueba 2, para cada una de las salas. En todo momento los sujetos mantuvieron la mirada fija en el suelo hasta que dio comienzo la prueba. Los sujetos debían localizar el único triángulo de bordes rojos, o cuadrado de bordes azules, dependiendo de la sala en la que se hacía la prueba, y leer el número que contenía. Los parámetros que queríamos evaluar en esta prueba eran la localización de objetos de alto contraste, que ocupaban 8° de campo visual, distribuidos en un campo de 90°, y si el SERBA no comprometía la visión central de los sujetos, permitiéndoles leer los números que hay en el interior de la figura (1° de campo).

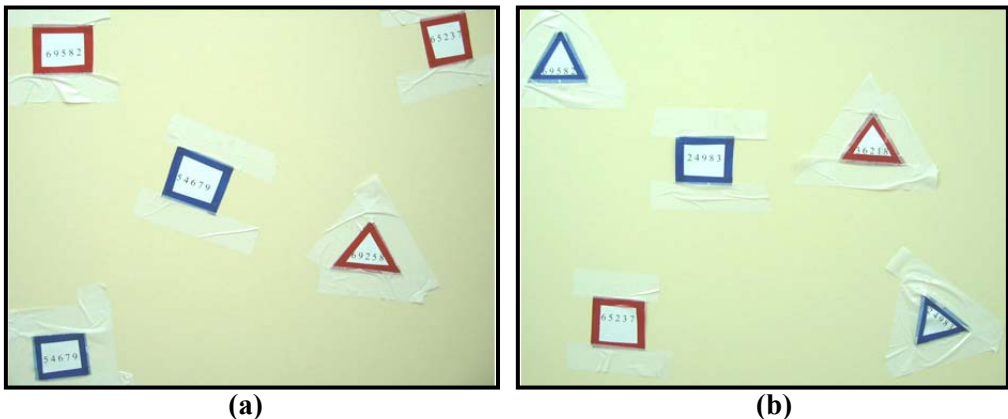


Figura 5.13.- Fotografías tomadas de la prueba 2 en (a) la sala 1 y en (b) la sala 2.

Prueba 3. Localización de objetos en campos visuales de 360°

Fuera de la sala se les explicaba la siguiente prueba. En ella se les guiaba hasta el centro de la sala, haciendo que mirasen al suelo hasta el momento en que comenzaba la prueba y, entonces, se les pedía que localizaran 5 objetos. Los objetos eran una hoja amarilla que se encontraba pegada en una de las paredes, unas gafas de sol, una cámara de fotos desechable y dos pinzas. Se les repetía la lista de objetos hasta asegurarnos que la habían memorizado. Para evitar confusiones con algunos de los elementos, se les mostró el tipo de pinza que tenían que localizar. En la Figura 5.10 y la Figura 5.11 podemos ver la distribución de estos objetos y las fotografías de los 5 objetos, en cada una de las salas. Las fotografías de los objetos fueron tomadas en las posiciones que ocuparon durante la prueba. .

A lo largo de la prueba se les iba diciendo qué objetos les faltaban por localizar. Una vez localizados todos los objetos, los sujetos se posicionaban mirando al suelo.

El propósito de esta prueba era evaluar la ayuda que proporciona el SERBA para localizar objetos comunes, de un tamaño máximo de 40×15 cm, distribuidos en un campo visual de 360° y a una distancia máxima de 3,25 m.

Prueba 4. Composición de la escena

Al finalizar la prueba 3, los sujetos permanecían en el centro de la sala con la vista en el suelo, y se les pedía que localizaran una hoja de papel blanco, tamaño A4, que contiene texto e imágenes (página de un periódico digital). Esta hoja estaba pegada en una de las paredes blancas de las salas, que proporcionaba poco contraste al objeto. Si el sujeto hubiera visto esta hoja en la prueba anterior, se marca como cero el tiempo de ejecución de la prueba. Pretendíamos ver si con el SERBA les resultaba más sencillo hacerse una composición mental de los diversos objetos distribuidos por la sala. Esto les permitiría tener localizado el folio blanco con antelación a la realización de la prueba 4. En el caso de que no la hubieran visto durante la prueba previa, mediamos el tiempo que empleaban en localizarlo.

Prueba 5. Pruebas de manipulación de objetos

Esta prueba consta de 5 apartados, en cada uno de los cuales se le pedía al sujeto que realizara una serie de actividades sobre una de las mesas de las salas:

- Prueba 5.A.- Localizar un cable y hacerle un nudo.
- Prueba 5.B.- Localizar una pinza y engancharla al tirador de la persiana de la ventana que queda a su izquierda.
- Prueba 5.C.- Localizar una cinta, su caja y guardarla dentro.
- Prueba 5.D.- Unir con un rotulador mediante una línea, por orden creciente, 6 cuadrados blancos de 1 cm² numerados del 1 al 6, con los números en negro. Estos cuadrados estaban pegados sobre la mesas.

En cada prueba sólo estaban sobre la mesa los elementos necesarios para ella. Los cambios de elementos entre pruebas se realizaban con el sujeto colocado de espaldas a la mesa.

La finalidad de estas pruebas era ver si el SERBA aportaba beneficios para la realización de tareas manuales.

5.4.3.2 Test de valoración subjetiva de la prueba de localización

Después de realizar las pruebas de cada sala (con SERBA o sin SERBA), se les pasaba un test. Con las cuestiones que se seleccionaron para este test se pretendía que los sujetos compararan la dificultad subjetiva experimentada al realizar las pruebas con el SERBA frente a la dificultad que experimentada cuando las habían realizado sin el SERBA. El test se les pasó inmediatamente después de terminar las pruebas de las dos salas.

Las posibles respuestas y las puntuaciones para cada cuestión eran siempre las mismas:

Muy fácil = 5, Fácil = 4, Poco fácil = 3, Difícil = 2, Muy difícil = 1.

Las cuestiones del test que se les realizó fueron:

Cuestión 1.- “¿Qué dificultad has encontrado en la tarea de contar objetos (sillas, mesa, pilón)?” (*Prueba 1*).

Cuestión 2.- “¿Qué dificultad has encontrado en la tarea de localizar el cuadrado o triángulo?” (*Prueba 2*).

Cuestión 3.- “¿Qué dificultad has encontrado en la tarea de localizar objetos (Hoja amarilla, gafas, cámara, pinzas y cámara desechable)?” (*Prueba 3*).

Cuestión 4.- “¿Qué dificultad has encontrado en las tareas realizadas en la mesa?” (*Prueba 5*).

5.4.4. Test de valoración subjetiva del SERBA

Al final de la evaluación, a los sujetos se les pasó un test para recoger su opinión sobre el dispositivo. Estas cuestiones las podemos subdividir en tres apartados. En el primer bloque de cuestiones, los sujetos evaluaban las cualidades estéticas del dispositivo, en el segundo sus cualidades técnicas y las tres últimas preguntas eran para que opinaran libremente sobre el dispositivo, cómo se podría mejorar y si se lo llevarían a casa.

- **Valoración estética del SERBA:**

Cuestión 1.- “¿Le resulta cómodo el dispositivo?”

Las posibles respuestas y su puntuación eran:

Muy cómodo = 5, Cómodo = 4, Poco cómodo = 3, Incómodo = 2,
Muy incómodo = 1.

Si el dispositivo no les resultaba cómodo, podía ser un factor a tener en cuenta en el análisis de los resultados. La incomodidad a la hora de realizar las pruebas podría producir aumentos en el tiempo de ejecución, entorpecer los movimientos, provocar choques con los objetos, etc.

Cuestión 2.- “¿Qué le parece el peso del dispositivo?”

2.A.- “De la gorra.”

2.B.- “De la bolsa.”

Las posibles respuestas y su puntuación eran:

Muy ligero = 5, Ligero = 4, Poco ligero = 3, Pesado = 2, Muy pesado = 1.

Un peso excesivo del dispositivo podría afectar negativamente a los resultados de las pruebas. En este caso valoramos por separado el peso de la gorra, que es donde se localiza el visor del SERBA, y el peso de la bolsa, donde van las baterías, FPGA y los controles del visor del NOMAD.

Cuestión 3.- “¿Qué le parece estéticamente el dispositivo?”

Las posibles respuestas y su puntuación eran:

Muy estético = 5, Estético = 4, Poco estético = 3, Antiestético = 2,
Muy antiestético = 1.

Algunas ayudas comerciales para baja visión son rechazadas por los usuarios por motivos estéticos. Aunque el SERBA empleado en la evaluación es un prototipo, hemos querido saber la opinión de los sujetos respecto a las cualidades estéticas del mismo.

- **Valoración técnica del SERBA:**

Cuestión 4.- “¿Cómo le ha resultado el empleo del dispositivo?”

Las posibles respuestas y su puntuación eran:

Muy sencillo = 5, Sencillo = 4, Poco sencillo = 3, Complicado = 2,
Muy complicado = 1.

Es importante que a los sujetos les resultara sencillo el empleo de los controles del dispositivo, localizar la imagen de bordes en el visor y saber acceder a las diferentes opciones que les aporta el sistema.

Cuestión 5.- “¿Qué le ha parecido la calidad de la imagen?”

Las posibles respuestas y su puntuación eran:

Muy buena = 5, Buena = 4, Poca calidad = 3, Mala = 2, Muy mala = 1.

Es muy importante que el contraste y el brillo de la imagen permitan al sujeto tener una imagen con la calidad suficiente sin entorpecer su visión residual.

Se ha documentado [55], que el nivel de contraste de la imagen puede afectar a los resultados obtenidos. También es importante que los sujetos puedan modificar el nivel de brillo de la imagen, opción que tiene integrada el NOMAD ND2000.

Cuestión 6.- “¿Qué le parece el campo visual que le proporciona el sistema?”

Las posibles respuestas y su puntuación eran:

Muy bien = 5, Bien = 4, Adecuado = 3, Pequeño = 2, Muy pequeño = 1.

Con el SERBA se les proporcionaba un aumento de campo visual. Debido a este aumento en el campo visual, la posición de los objetos en la imagen que se les mostraba en el visor no se correspondía con la real. Esto podía dificultar la interpretación de la imagen de bordes.

Cuestión 7.- “¿Le ha resultado difícil orientarse dentro de la imagen de bordes?”

Las posibles respuestas y su puntuación eran:

Muy fácil = 5, Fácil = 4, Poco fácil = 3, Difícil = 2, Muy difícil = 1.

Esta pregunta se realizó porque en otros estudios realizados sobre el algoritmo de *Vista Aumentada*, a la imagen de bordes se le añadía un círculo en el centro, que utilizaban los sujetos para orientarse dentro de la imagen [105]. Si la imagen de bordes es mayor que su campo visual, puede ocurrir que no sepan en que posición sobre la imagen tienen puesta su mirada. En nuestro sistema no añadimos este punto de referencia y les preguntamos si tenían algún problema para orientarse dentro de la imagen de bordes.

Cuestión 8.- “Localizar objetos con el sistema, comparado con no tener el sistema es...”

Las posibles respuestas y su puntuación eran:

Mucho más fácil = 5, Más Fácil = 4, Igual = 3, Más difícil = 2,
Mucho más difícil = 1.

Con esta cuestión pretendemos averiguar si los sujetos tenían la sensación de que el sistema les ayudaba.

- **Cuestiones de respuesta libre:**

Cuestión 9.- “¿Se llevaría el dispositivo a casa?”

Cuestión 10.- “¿Qué opina del dispositivo?”

Cuestión 11.- “¿Cómo cree que se podría mejorar?”

5.5. Resultados

En este apartado se muestran los resultados de las pruebas optométricas, pruebas de movilidad y pruebas de localización realizadas para evaluar el algoritmo de *Vista Aumentada* implementado en el SERBA.

5.5.1. Pruebas optométricas

En las pruebas optométricas participaron sujetos con Retinosis Pigmentaria y sujetos con visión normal, por lo que se muestran los resultados de estas pruebas clasificados en dos apartados. En el primer apartado mostramos los resultados de los sujetos con visión normal y en el segundo se muestran los resultados de los sujetos con Retinosis Pigmentaria.

5.5.1.1 Campimetría

Sujetos con visión normal

La evaluación se realizó a un sujeto con visión normal, simulando una restricción severa del campo visual (8 ° visión central) mediante un agujero estenopeico.

En la Figura 5.14.a se muestra el aumento del campo visual obtenido con el algoritmo de *Vista Aumentada*, usando como HMD el Nomad ND2000. El aumento de campo visual que experimentó este sujeto fue de un factor de $\times 4,5$.

El límite en el aumento de campo visual lo impone la cámara, siempre que el campo visual del sujeto sea menor que el campo visual del visor del SERBA (C.V. del Nomad ND2000: 13° Vertical, 19° Horizontal). Si el campo del sujeto fuera mayor que el del visor del SERBA, el campo visual aumentado tendría una forma rectangular, que se corresponde con los límites del visor. En la Figura 5.14.b se muestra el resultado de la campimetría de un sujeto con visión normal, al que se le ha restringido su campo visual central a 16°. La restricción de campo se le realizó de la misma forma que al sujeto anterior.

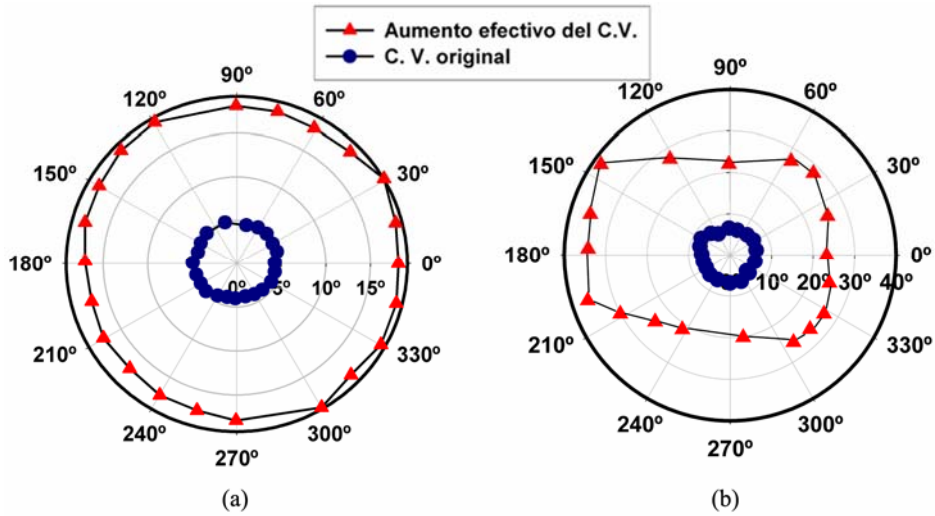


Figura 5.14.- (a) Simulación de Visión Túnel (8°); (b) simulación de Visión Túnel (16°).

Sujetos con baja visión

Se tomaron medidas del campo visual natural de los sujetos para ambos ojos. El SERBA es monocular, por lo que las medidas de campo visual con el SERBA se tomaron sólo sobre el ojo en el que se situaba el visor.

Los sujetos portaban su mejor corrección óptica.

Comparando el campo visual horizontal con el SERBA y sin el SERBA, en el ojo en el que se situaba el visor, obtuvimos los valores de expansión que aparecen en la Tabla 5.3.

En la Figura 5.15 aparecen algunas imágenes de las campimetrías realizadas.

Las expansiones del campo visual que se obtuvieron en sujetos con baja visión, van desde un aumento de $\times 1,73$ hasta $\times 4,12$ (Tabla 5.3). El sujeto número 3, tenía un campo visual de horizontal de $26,01^\circ$ que era aproximadamente 1,4 veces mayor que el campo visual horizontal del visor del SERBA. Esto es lo que ocasionaba que tuviéramos sólo una expansión de $\times 1,73$ en el campo visual de este sujeto. En el resto de sujetos, obtuvimos expansiones entre $\times 3$ y $\times 4$, como cabía esperar (*C.V. de la cámara: 78° , C.V. del Nomad: 13° Vertical, 19° Horizontal*).

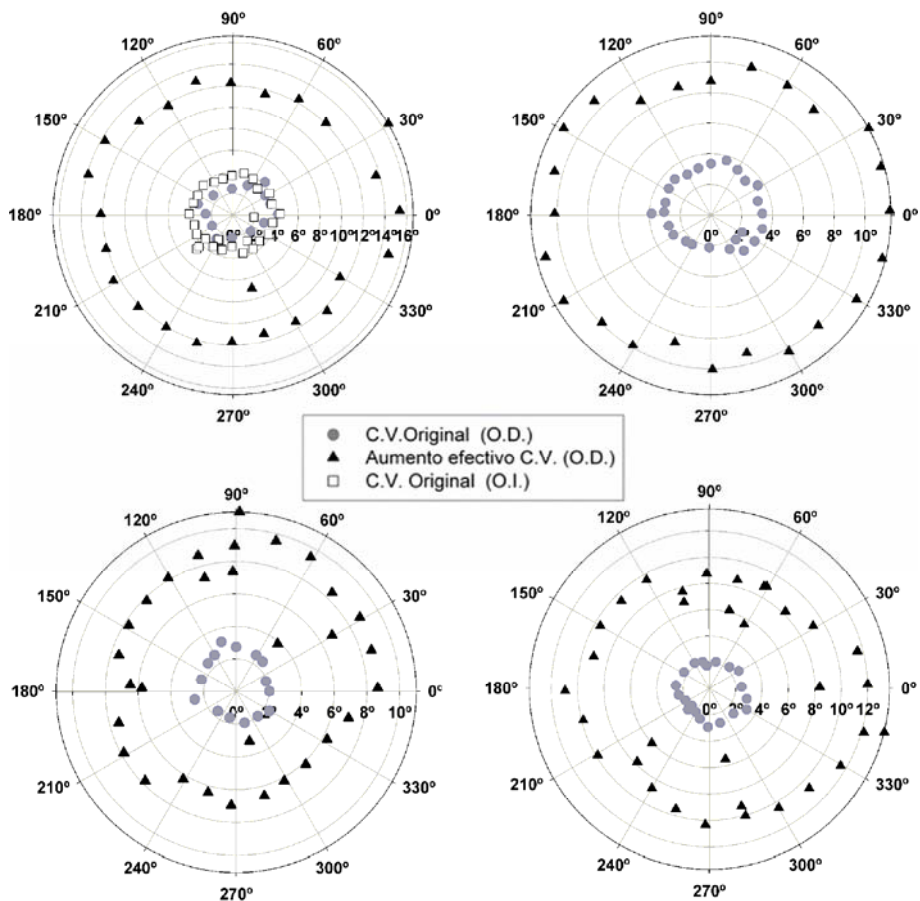


Figura 5.15.- Campimetrías realizadas a sujetos afectados de Retinosis Pigmentaria.

Sujetos baja visión	Ojo	Sin SERBA	Con SERBA	Expansión
1	O.D.	4,97°	19,28°	× 3,88
2	O.D.	2,23°	6,48°	× 2,91
3	O.D.	26,01°	45,10°	× 1,73
4	O.D.	4,36°	14,42°	× 3,31
5	O.D.	6,69°	27,54°	× 4,12
6	O.D.	6,55°	21,7°	× 3,31
7	O.D.	7,59°	23,01°	× 3,04
8	O.D.	13,09°	47,62°	× 3,64

Tabla 5.3.- Campo visual horizontal del ojo que porta el visor del SERBA.

5.5.1.2 Agudeza visual

Sujetos con visión normal

Se utilizó un optotipo ETDRS para tomar tres medidas de la agudeza visual natural de los sujetos y otras tres de su agudeza visual portando el SERBA. En las medidas realizadas con el SERBA, los sujetos debían leer las cartas ETDRS a través del visor del SERBA, seleccionando el nivel máximo de bordes en la imagen mostrada en el visor del NOMAD ND2000. Las medidas se realizaron sólo en el ojo en el que situábamos el visor del SERBA (ojo derecho).

En la Tabla 5.4 podemos ver la media de las medidas realizadas; dado que su desviación estándar era menor que el error de medida del sistema ($\pm 0,04$ para el 97% de las personas [87]), se seleccionó el error del sistema como el margen de error de los resultados. Como se puede apreciar en la Tabla 5.4, la diferencia entre la agudeza visual sin SERBA de los sujetos y su agudeza visual portando el SERBA estaba dentro de los márgenes de error del sistema de medida.

Sujetos con baja visión

Se midió la agudeza visual natural de los sujetos en cada ojo y binocularmente. Con los sujetos portando el SERBA, se midió la agudeza del ojo en el que se había situado el visor del SERBA y la agudeza visual binocular, manteniendo el otro ojo ocluido.

Los sujetos portaban su mejor corrección óptica.

Con esto queríamos comprobar si el sistema preservaba el resto visual (en este caso la agudeza visual central) de los sujetos. En la Tabla 5.5 se muestran las agudezas visuales obtenidas.

SUJETOS CON VISIÓN NORMAL			
	SUJETO 1	SUJETO 2	SUJETO 3
AV sin SERBA	0	- 0,16	- 0,17
AV con SERBA	- 0,12	- 0,15	- 0,1

Error $\pm 0,04$. La A.V. está expresada en logMAR.

Tabla 5.4.- Agudeza visual de los sujetos con visión normal, con SERBA y sin SERBA.

Sujetos baja visión	Agudeza visual original			A.V. Con SERBA	
	O.D.	O.I.	Binocular	O.D	Binocular
1	0,60	0,50	0,50	0,60	0,50
2	0,46	0,46	0,40	0,58	0,50
3	0,33	0,30	0,30	0,26	0,30
4	0,34	0,38	0,38	0,32	0,32
5	0,28	0,32	0,30	0,32	0,32
6	0,21	Esmerilado*	Esmerilado*	0,23	Esmerilado*
7	0,38	0,32	0,30	0,34	0,30
8	0,24	0,24	0,16	0,20	0,28

*.- El sujeto 6 portaba un cristal esmerilado en el ojo izquierdo. La A.V. en logMAR.

Tabla 5.5.- Agudezas visuales de los sujetos con baja visión que participaron en el estudio.

El error que se comete con el sistema de medida estándar ETDRS es de $\pm 0,04$ (para el 97% de las personas) [87].

Como se puede apreciar en las tablas, el SERBA con el algoritmo de *Vista Aumentada*, y utilizando el HMD Nomad ND2000, no deteriora la agudeza visual del sujeto de forma significativa. La mayor diferencia es de 0,12, y se considera como cambio significativo en la agudeza visual con este test una diferencia de 0,3 (en unidades decimales) o tres líneas del optotipo [106].

5.5.1.3 Sensibilidad al contraste

Sujetos con visión normal

Se tomaron tres medidas de la sensibilidad al contraste sin el SERBA de los sujetos y otras tres de su sensibilidad al contraste portando el SERBA, utilizando el test CVS-1000E. Las medidas se tomaron sólo en el ojo que portaba del visor del SERBA.

Utilizamos valores de sensibilidad al contraste en escala logarítmica para representar el resultado de las medidas que se pueden ver en la Figura 5.16.

En todos los sujetos, la sensibilidad al contraste era mayor sin el SERBA. Sin embargo, sólo en un sujeto, para 18 ciclos/grado, hubo una diferencia entre medidas mayor que su desviación estándar. Esta diferencia era de 0,24 y quedaba por debajo de 0,3 log que supondría un cambio significativo en la sensibilidad al contraste [49].

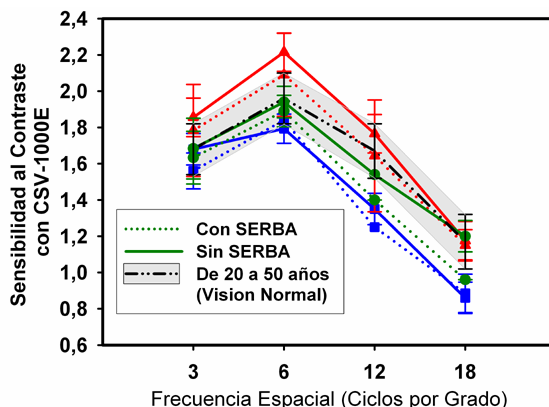


Figura 5.16.- Gráfica de la S.C. de tres sujetos con visión normal.

Sujetos con baja visión

En cada sujeto se tomaron medidas de la sensibilidad al contraste de ambos ojos y binoculares. También se tomaron medidas de sensibilidad al contraste con el SERBA, en el ojo en el que situaba el visor, y en binocular. En las medidas de sensibilidad al contraste del ojo que portaba el visor, se le especificó al sujeto que debía ver el test a través de él, ignorando la imagen de bordes rojos que le proporcionaba el SERBA. Los sujetos, como siempre, portaban su mejor corrección óptica.

Los valores de sensibilidad al contraste se expresaron en escala logarítmica. En la Tabla 5.6 se muestran los resultados de la sensibilidad al contraste natural de los sujetos (S.S. - sin SERBA) y la sensibilidad al contraste de los sujetos cuando portaban el SERBA (C.S. - con SERBA). Se han marcado en “negrita” los valores de sensibilidad que resultaban diferentes en los apartados de S.S. y C.S. Cuando la sensibilidad al contraste era la misma, para las medidas S.S. y C.S., se han fundido las casillas para mostrar un único valor.

En los casos en los que el sujeto no detectaba ni siquiera las bandas sinusoidales de la imagen de muestra, se restaban 0,3 unidades logarítmicas del menor valor de la fila (p. ej. En la fila A: 0,4, en la B: 0,61, en la C: 0,31 y en la D. -0,13). En la Tabla 5.6 estos datos aparecen con fondo gris.

Sujetos	OJO DERECHO				OJO IZQUIERDO				BINOCULAR				
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	
1	S.S.	0,4	0,61	0,31	-0,13	0,4	0,61	0,31	-0,13	0,4	0,61	0,31	-0,13
	C.S.												
2	S.S.	0,4	0,61	0,31	-0,13	0,4	0,61	0,31	-0,13	0,4	0,61	0,31	-0,13
	C.S.												
3	S.S.	1,34	1,38	0,31	-0,13	1,34	1,38	0,31	-0,13	1,34	1,38	0,91	-0,13
	C.S.		1,21									0,31	
4	S.S.	1,34	0,61	0,31	-0,13	1,17	0,61	0,31	-0,13	1,34	1,21	0,31	-0,13
	C.S.	1,43	0,71								0,61		
5	S.S.	1,34	1,55	0,31	-0,13	1,49	1,38	0,31	-0,13	1,34	1,55	0,31	-0,13
	C.S.									1,49			
6	S.S.	1,44	1,44	0,76	-0,13	Esmerilado*				Esmerilado*			
	C.S.			0,31									
7	S.S.	1,17	0,61	0,31	-0,13	1,17	0,91	0,31	-0,13	1,34	0,91	0,31	-0,13
	C.S.		0,91							1,17			
8	S.S.	1,34	1,38	0,91	0,17	1,49	1,55	1,25	0,64	1,49	1,55	0,91	0,17
	C.S.			0,31	-0,13					1,17	0,91	0,31	-0,13

* Llevaba un cristal esmerilado en su ojo izquierdo.

A= 3 ciclos/grado. B=6 ciclos/grado. C= 12 ciclos/grado. D=18 ciclos/grado.

S.S.- Sin SERBA

C.S.- con SERBA

Rojo.- diferencias significativas / Negrita.- diferencias no significativas.

Tabla 5.6.- Sensibilidad al contraste en sujetos con R.P.

Los cambios en la sensibilidad al contraste se consideraban significativos cuando eran mayores de 0,3 log [49]. Se han marcado en rojo las diferencias significativas entre la sensibilidad al contraste sin SERBA y con SERBA. Vemos que entre las 88 pares de medidas, sin SERBA y con SERBA, solo 8 mostraban una diferencia significativa. Seis de estas diferencias se presentaron en el límite de la sensibilidad visual de cada sujeto, es decir, que para frecuencias mayores ya no distinguían las franjas. Solo el sujeto 8 mostró un inesperado empeoramiento de su sensibilidad al contraste binocular portando el SERBA. Se realizó un estudio estadístico con los test paramétricos (ANOVA de medidas repetidas, paired t-test) y dos test no paramétricos

(Friedman, Wilcoxon signed-ranks) para establecer si había diferencias significativas entre la sensibilidad al contraste sin el SERBA o con el SERBA. Para este estudio se utilizó el SPSS 14.0. En todos los casos, el valor de p fue mayor de 0,05, por lo que las diferencias observadas en la sensibilidad al contraste no eran estadísticamente significativas.

En la Figura 5.17 se muestra una representación gráfica de los resultados de la sensibilidad al contraste sin SERBA y con SERBA de los 8 sujetos que participaron en el estudio. Se han representado sólo los datos del ojo que portaba el visor del SERBA.

Como podemos ver en la Figura 5.17, no se apreciaban grandes diferencias entre la sensibilidad al contraste con el SERBA o sin el SERBA, salvo en uno de los sujetos que para la frecuencia de 12 ciclos/grados mostró una mayor sensibilidad al contraste sin el SERBA.

En la gráfica se ha representado la línea que corresponde a sujetos normales entre los 20 y los 50 años (línea gris sobre fondo gris). Las personas con Retinosis Pigmentaria (R.P.) tienen peor sensibilidad al contraste que los sujetos normales, y esta sensibilidad es mucho menor a altas frecuencias. Los sujetos del estudio tenían una sensibilidad al contraste que estaba por debajo de la normal. Esta diferencia se acentuó con el aumento de la frecuencia, llegando a no poder distinguir las bandas sinusoidales de la muestra para frecuencias igual o superior a 12 ciclo/grados.

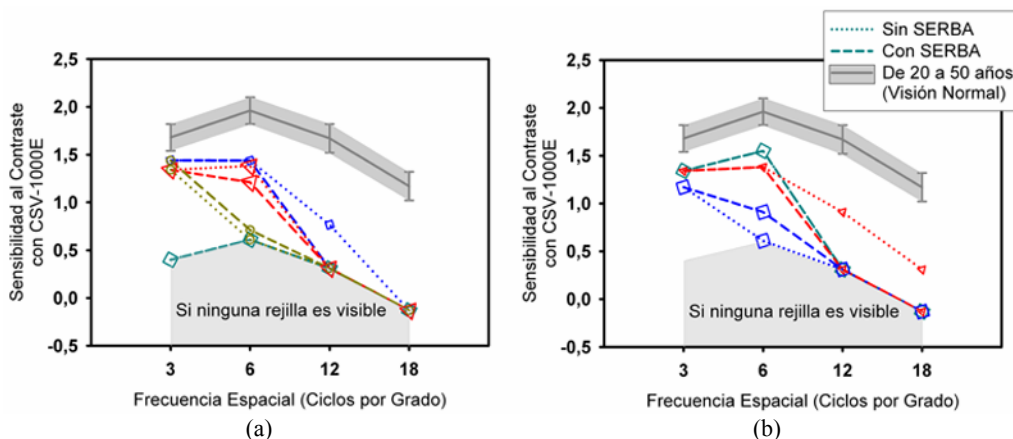


Figura 5.17.- Gráficas de la sensibilidad al contraste de sujetos con R. P. (a) Sujetos 5, 7 y 8; (b) Sujetos del 1 al 4 y sujeto 6.

5.5.2. Prueba de movilidad

Los resultados de la prueba de movilidad se muestran en la Tabla 5.7.

En esta tabla aparece el tiempo total empleado en la realización de la prueba, el PPWS, y el número de contactos que tuvieron los sujetos con los objetos del recorrido. Se considera contacto con objetos del recorrido: que los sujetos pisaran las líneas blancas limitadoras de los márgenes del recorrido; que rocen las cortinas separadoras de los tramos del recorrido; que contacten con los objetos del suelo o los aéreos. En el

apartado “Otros”, podemos ver las veces que los sujetos dudaban al dar su siguiente paso, o las veces que exploraban la zona en la que se encontraban con la mano o con el pie. En las dos últimas filas se muestran la media y la desviación estándar de los resultados.

Durante la realización de la prueba de movilidad el sujeto 7 sintió un rechazo hacía el SERBA, que no manifestó durante las pruebas optométricas. Esto ocasionó que el sujeto no realizara la prueba de forma correcta, motivo por el que se eliminaron sus resultados de la prueba de movilidad.

Sujetos	Sin SERBA				Con SERBA			
	tiempo*	contactos	otros	PPWS (%)	tiempo*	contactos	otros	PPWS (%)
1	2:39,67	1	1 Duda	26,6	4:52,00	2		14,55
2	2:56,51	5	3 Busca pie.	18,74	3:19,60	2		16,57
3	1:27,49	0		38,18	2:39,51	0		20,94
4	1:38,00	6		28,75	2:39,00	1		17,73
5	1:52,47	4	2 Dudas	22,77	2:09,00	4		19,86
6	3:27,42	6		19,67	5:19,67	9		12,76
MEDIA		3,67		25,79		3,00		17,07
Desv.Est.		2,58		7,20		3,22		3,11

Tiempo*.- (minutos:segundos,milésimas de segundo)

PPWS.-percentage of their preferred walking speed.

Tabla 5.7.- Datos obtenidos de la prueba de movilidad.

Se utilizaron dos test paramétricos (ANOVA de medidas repetidas, *paired t-test*) y dos tests no paramétricos (Friedman, Wilcoxon signed-ranks) para establecer si había diferencias significativas entre los resultados sin el SERBA y con el SERBA. Para realizar este estudio estadístico se utilizó el SPSS 14.0.

En los resultados de la prueba de movilidad, podemos ver una disminución en el PPWS cuando realizan la prueba con el SERBA, respecto al PPWS de la realización de la prueba sin el SERBA. En la Tabla 5.10 vemos que la *p* obtenida en el estudio estadístico era de 0,008, con lo que la diferencia entre las PPWS era estadísticamente significativa.

El resultado en los tests paramétricos, para los contactos producidos sin el SERBA y con el SERBA, arrojó una $p = 0,595$ ($F = 0,323$ obtenida de la ANOVA). Con los tests no paramétricos obtuvimos $p = 0,581$ en el Wilcoxon signed-ranks, y $p = 1$ en el de Friedman. Es decir, no se observaban diferencias significativas entre el número de contactos que se produjeron sin el SERBA o con el SERBA.

Resultó interesante clasificar los contactos, según la altura del objeto, en 5 categorías (Tabla 5.8): contactos con objetos aéreos; con objetos que estaban a la altura del tobillo, rodilla y cadera; y por último contactos con la cortina que separa cada tramo del recorrido.

	Aéreos	Tobillo	Rodilla	Cadera	Cortina	TOTAL
Sin SERBA	3	7	2	4	7	23
Con SERBA	7	4	1	1	5	18

Tabla 5.8.- Contactos con objetos, según la altura del objeto.

Podemos ver, en la Tabla 5.8, cómo se reducían los contactos con los objetos cuando los sujetos utilizaban el SERBA, para todos los objetos excepto para los aéreos.

En la Tabla 5.10 se muestran los contactos que realizó cada uno de los sujetos, separados en función de la altura del objeto.

Sujetos	Contactos	Aéreos	Tobillo	Rodilla	Cadera	Cortina
1	S.S.	1	0	0	0	1
	C.S.	2	1	1	0	0
2	S.S.	5	1	1	0	2
	C.S.	2	1	0	0	1
3	S.S.	0	0	0	0	0
	C.S.	0	0	0	0	0
4	S.S.	6	1	3	0	0
	C.S.	1	1	0	0	0
5	S.S.	4	1	0	1	1
	C.S.	4	2	1	0	0
6	S.S.	6	0	2	1	1
	C.S.	9	2	2	1	0

Tabla 5.9.- Contactos de cada sujeto con los objetos separados por su altura.

Separando los contactos por categorías y realizando un estudio estadístico similar al realizado con los contactos de la Tabla 5.7, obtenemos las p que se muestran en la Tabla 5.10. En los tests paramétricos, se marca en negrita las muestras con un test de normalidad con $p > 0,05$; en los test no paramétricos, se marcan en negrita las muestras con un test de normalidad con $p < 0,05$.

	PARAMÉTRICOS			NO PARAMÉTRICOS	
	Paired t-test	ANOVA		Signed Rank	Friedman
		F	P		
AÉREOS	0,102	4	0,102	0,102	0,83
TOBILLO	0,611	0,294	0,611	0,705	1
RODILLA	0,363	1	0,363	0,317	0,317
CADERA	0,076	5	0,076	0,083	0,83
CORTINA	0,576	0,357	0,576	0,577	0,317
PPWS	0,008	14,804	0,008	0,028	0,014
CONT. MENOS AÉREOS*	0,206	2,105	0,206	0,197	0,317

*CONT. MENOS AÉREOS.- Se han tenido en cuenta todos los contactos menos los aéreos.

Tabla 5.10.- Resultados del estudio estadístico de las 5 categorías de contactos

5.5.2.1 Test de valoración subjetiva de la prueba de movilidad

Al final de cada recorrido se les pidió que rellenaran un test en el que se les preguntaba sobre la dificultad percibida en la ejecución de la prueba. La escala de respuestas era del 1 al 5, con las siguientes equivalencias:

Muy fácil=5, Fácil=4, Poco fácil=3, Difícil=2, Muy difícil=1.

Las cuestiones realizadas fueron:

- *Cuestión 1.- ¿Qué le ha parecido el recorrido?*
- *Cuestión 2.- Determinar la distancia a la que se encontraba el objeto le ha resultado...*
- *Cuestión 3.- Determinar la posición relativa del objeto (derecha, izquierda, centro...), le ha resultado...*
- *Cuestión 4.- Evitar los obstáculos le ha resultado...*

Los resultados del test realizado se muestran en la Tabla 10.9 del apéndice D. Una representación gráfica del resultado se puede ver en la Figura 5.18. Se representan la media y mediana, y las cajas representan los rangos intercuartiles ($Q_1 = 25^{\text{th}}$ percentil y $Q_3 = 75^{\text{th}}$ percentil). Las p se calcularon utilizando el test no paramétrico de Wilcoxon.

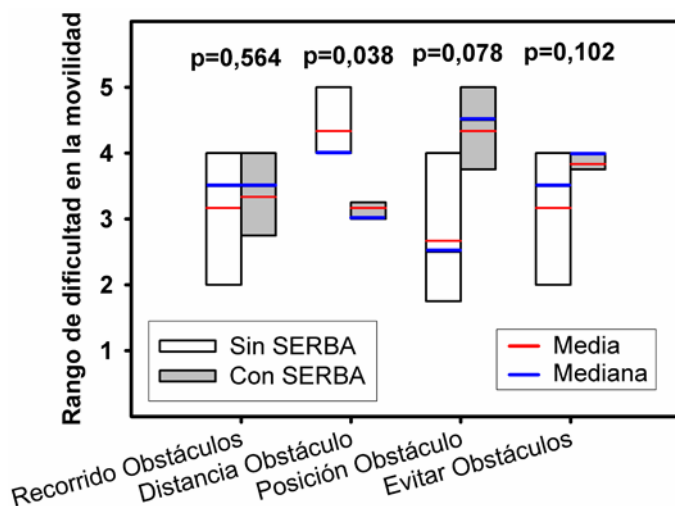


Figura 5.18.- Gráfica de las respuestas al test de la prueba de movilidad.

Si utilizamos el test de Friedman para determinar la p en la diferencia de cada una de las cuestiones, obtenemos resultados muy similares.

5.5.3. Pruebas de localización

El sujeto 7 no realizó la prueba de localización de forma correcta debido al rechazo que sintió hacia el SERBA durante la prueba de movilidad, por lo que hemos eliminado sus resultados del estudio.

En la Tabla 5.11 y Tabla 5.14 se muestra el tiempo que empleó cada sujeto en cada una de las pruebas de localización. Como en tablas anteriores, se muestran los resultados obtenidos cuando los sujetos portaban el SERBA (C.S.) y cuando no (S.S.).

Una breve descripción de las pruebas realizadas y descritas en el apartado 5.4.3 se muestra a continuación:

- Prueba 1.- ¿Cuántas sillas, cuántas mesas y cuántos pilones hay?
- Prueba 2.- Localice un triángulo rojo/cuadrado azul y dígame el número de su interior.
- Prueba 3.- Localice una hoja amarilla en la pared, dos pinzas, una cámara de fotos desechable y unas gafas de sol.
- Prueba 4.- Busque un folio y léalo.

Sujetos		Subir escaleras	Bajar escaleras	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
1	S.S.	00:18,9	00:17,2	00:22,7	00:35,9	01:20,0	00:18,8
	C.S.	00:33,5	00:19,0	00:18,0	00:08,8	00:23,3	00:05,8
2	S.S.	00:22,9	00:50,8	00:35,4	00:25,6	01:51,2	00:20,7
	C.S.	00:27,7	00:58,2	00:23,5	00:06,0	01:29,0	00:28,9
3	S.S.	00:15,2	00:19,7	00:08,9	00:06,0	00:21,4	00:06,3
	C.S.	00:29,7	00:23,7	00:12,2	00:14,0	00:33,4	00:15,1
4	S.S.	00:13,6	00:11,4	00:12,0	00:02,0	01:26,0	00:00,0
	C.S.	00:14,6	00:14,6	00:33,0	00:05,5	05:57,0	00:00,0
5	S.S.	00:12,3	00:12,9	00:10,3	00:06,2	01:19,0	00:44,2
	C.S.	00:12,5	00:13,2	00:08,8	00:07,1	01:01,5	00:00,0
6	S.S.	-----	-----	00:09,5	00:03,1	00:33,5	00:09,0
	C.S.	-----	-----	00:10,1*	00:07,5	01:33,3	00:08,4
8	S.S.	-----	-----	00:04,3	00:05,5	00:29,0	00:06,1
	C.S.	-----	-----	00:07,3	00:04,1	00:10,9	00:05,7
MEDIA	S.S.	00:16,6	00:22,4	00:14,7	00:12,0	01:02,9	00:15,0
Desv Est.	S.S.	00:04,3	00:16,2	00:10,7	00:13,2	00:34,5	00:14,8
MEDIA	C.S.	00:23,7	00:27,4	00:16,1	00:07,6	01:35,5	00:09,1
Desv Est.	C.S.	00:09,6	00:21,0	00:09,4	00:03,2	01:59,6	00:10,1

-----.- No se tomó este dato. *No localiza una de las sillas.

S.S.- Sin SERBA / C.S.- Con SERBA / x:y,z.- x minutos, y segundos, z milésimas de segundo

Tabla 5.11.- Tabla de tiempos de las pruebas de localización.

El estudio estadístico de los resultados obtenidos en las pruebas de localización se muestran en la Tabla 5.12.

	PARAMÉTRICOS			NO PARAMÉTRICOS	
	Paired t-test	ANOVA		Signed Rank	Friedman
		F	p		
Subir Escaleras	0,091	4,901	0,091	0,043	0,025
Bajar Escaleras	0,042	8,721	0,042	0,043	0,025
Prueba 1	0,344	1,037	0,366	0,398	0,257
Prueba 2	0,411	0,980	0,378	0,866	0,705
Prueba 3	0,467	0,394	0,564	1	0,705
Prueba 4	0,429	0,665	0,461	0,463	0,414

Tabla 5.12.- Resultados del estudio de las pruebas de localización.

La diferencia en los tiempos de ejecución (DIF), entre la realización de las pruebas sin el SERBA y con el SERBA, se muestran en la Tabla 5.13. Las diferencias de tiempos en los que la realización de las pruebas con el SERBA fue más rápida que sin el SERBA se muestran en negrita. Las celdas con fondo morado se corresponden con valores menores de 2 segundos. En la tabla también se muestra el porcentaje

(PORCEN) de reducción de tiempo que se ha producido, respecto al máximo de los dos tiempos, sin SERBA y con SERBA.

Sujetos		Subir escaleras	Bajar escaleras	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
1	DIF.	00:14,6	00:01,8	00:04,7	00:27,1	00:56,7	00:13,0
	PORCEN	44,12	10,53	21,74	75,00	71,25	68,42
2	DIF.	00:04,8	00:07,4	00:11,9	00:19,6	00:22,2	00:08,2
	PORCEN	17,86	12,07	34,29	76,92	19,82	27,59
3	DIF.	00:14,5	00:04,0	00:03,3	00:08,0	00:12,0	00:08,8
	PORCEN	50,00	16,67	25,00	57,14	36,36	60,00
4	DIF.	00:01,0	00:03,2	00:21,0	00:03,5	04:31,0	00:00,0
	PORCEN	6,67	20,00	63,64	80,00	75,91	0,00
5	DIF.	00:00,2	00:00,3	00:01,5	00:00,9	00:17,5	00:44,2
	PORCEN	0,00	0,00	20,00	14,29	22,78	100,00
6	DIF.	-----	-----	00:00,6	00:04,4	00:59,8	00:00,6
	PORCEN	-----	-----	10,00	50,00	64,52	11,11
8	DIF.	-----	-----	00:03,0	00:01,4	00:18,1	00:00,4
	PORCEN	-----	-----	42,86	20,00	62,07	0,00

Tabla 5.13.- La diferencia en los tiempos de ejecución de las pruebas de localización.

Por cuestiones de espacio, mostramos ahora los resultados de la prueba 5 y una breve descripción de ésta.

Sujetos		Prueba 5.A.	Prueba 5.B.	Prueba 5.C.	Prueba 5.D.	
1	S.S.	00:12,9	00:14,4	00:13,5	00:38,0	
	C.S.	00:08,0	00:16,3	00:14,0	00:42,9	
2	S.S.	00:18,9	00:22,2	00:17,8	00:58,3	
	C.S.	00:21,6	00:08,2	00:16,4	01:16,4	
3	S.S.	00:08,0	00:08,0	00:12,0	00:27,0	
	C.S.	00:10,0	00:19,0	00:14,5	00:43,2	
4	S.S.	00:06,0	00:09,0	00:04,0	01:58,0	
	C.S.	00:08,6	00:22,9	00:11,3	04:57,0	
5	S.S.	00:09,0	00:07,1	00:05,7	00:39,4	
	C.S.	00:08,1	00:07,8	00:06,8	00:27,6	
6	S.S.	00:05,8	00:10,0	00:08,7*	00:25,7	
	C.S.	00:07,2	00:11,1	00:08,7	01:07,0	
8	S.S.	00:04,5	00:04,8	00:04,3	00:13,7	
	C.S.	00:03,7	00:05,5	00:06,6	00:09,3	
MEDIA		S.S.	00:09,4	00:10,7	00:09,5	00:45,7
Desv Est.		S.S.	00:05,0	00:05,7	00:05,3	00:34,7
MEDIA		C.S.	00:09,7	00:12,9	00:11,2	01:20,4
Desv Est.		C.S.	00:05,8	00:06,6	00:03,9	01:38,1

*Buscó con la mano la cinta. (x:y,z .- x minutos, y segundos, z milésimas de segundo)

Tabla 5.14.- Tabla de tiempos de la prueba 5 (P5) de localización.

El estudio estadístico de los resultados obtenidos en la prueba 5, de localización, se muestra en la Tabla 5.15.

	PARAMÉTRICOS			NO PARAMÉTRICOS	
	Paired t-test	ANOVA		Signed Rank	Friedman
		F	P		
Prueba 5A	0,386	0,875	0,386	1	0,705
Prueba 5B	0,543	0,416	0,543	0,236	0,059
Prueba 5C	0,146	2,781	0,146	0,116	0,102
Prueba 5D	0,212	1,947	0,212	0,091	0,257

Tabla 5.15.- Resultados del estudio de la prueba 5, de localización

Descripción de la Prueba 5:

- A.- Coja el cable y haga un nudo.
- B.- Coja la pinza y engánchela en el tirador de la persiana.
- C.- Busque una cinta y su caja y guárdela.
- D.- Una los puntos sobre la mesa en orden creciente.

La diferencia en los tiempos de ejecución (DIF), entre la realización de la prueba 5 sin el SERBA y con el SERBA, se muestran en la Tabla 5.16. Al igual que en la Tabla 5.13, se marcan en negrita los resultados correspondientes a un tiempo menor con el SERBA. Las celdas con fondo morado se corresponden con valores menores de 2 segundos. En la tabla también se muestra el porcentaje (PORCEN) de reducción de tiempo que se ha producido, respecto al máximo de los dos tiempos, sin SERBA y con SERBA.

Sujetos		Prueba 5.A.	Prueba 5.B.	Prueba 5.C.	Prueba 5.D.
1	DIF.	00:04,9	00:01,9	00:00,5	00:04,9
	PORCEN	38,46	12,50	0,00	11,63
2	DIF.	00:02,7	00:14,0	00:01,4	00:18,1
	PORCEN	13,64	63,64	5,56	23,68
3	DIF.	00:02,0	00:11,0	00:02,5	00:16,2
	PORCEN	20,00	57,89	14,29	37,21
4	DIF.	00:02,6	00:13,9	00:07,3	02:59,0
	PORCEN	33,33	60,87	63,64	60,27
5	DIF.	00:00,9	00:00,7	00:01,1	00:11,8
	PORCEN	11,11	12,50	14,29	30,77
6	DIF.	00:01,4	00:01,1	00:00,0	00:41,3
	PORCEN	14,29	9,09	0,00	61,19
8	DIF.	00:00,8	00:00,7	00:02,3	00:04,4
	PORCEN	20,00	20,00	28,57	28,57

Tabla 5.16.- La diferencia en los tiempos de ejecución de la prueba 5.

5.5.3.1 Test de valoración subjetiva de la prueba de localización

A los sujetos se les pasó un test para que dieran una apreciación subjetiva de la dificultad que experimentaron en la realización de las pruebas de localización con SERBA y sin SERBA.

Se les pidió que respondieran en una escala del 5 al 1 con las siguientes correspondencias:

Muy fácil=5, Fácil=4, Poco fácil=3, Difícil=2, Muy difícil=1.

Las cuestiones realizadas y las respuestas libres que dieron algunos sujetos fueron:

Cuestión 1.-

¿Qué dificultad has encontrado en la tarea de contar objetos (sillas, mesa, pílón)?

Los comentarios de los sujetos respecto a esta tarea fueron que le resultaba más fácil localizar los objetos con la ayuda, porque no necesitaban hacer un barrido de la estancia (Sujetos 1 y 3). Hubo un sujeto que manifestó que no empleó el SERBA para la ejecución de la prueba porque la estancia tenía suficiente luz como para poder hacer la localización sin muchas dificultades (Sujeto 5).

Cuestión 2.-

¿Qué dificultad has encontrado en la tarea de localizar el cuadrado o triángulo?

El sujeto 5 no utilizó el sistema para esta tarea porque la interpretó como una detección de color, para lo que el sistema no le ofrecía ninguna ayuda.

Cuestión 3.-

¿Qué dificultad has encontrado en la tarea de localizar objetos (hoja amarilla, gafas, cámara, pinzas y cámara desechable)?

Cuestión 4.-

¿Qué dificultad has encontrado en las tareas realizadas en la mesa?

El sujeto 1 tenía algunas dificultades para ver los números de la prueba 5.D a través del sistema. A los sujetos 3, 4 y 5 le resultaron las tareas muchísimo más fáciles con el SERBA, porque toda la mesa quedaba dentro del campo visual que le proporcionaba el SERBA. El sujeto 4 mencionó que el sistema le entorpecía los movimientos.

Los resultados de este test se muestran en Tabla 10.10 del apéndice D. Una representación gráfica del resultado del test se puede ver en la Figura 5.19. Se representan la media, mediana, y los rangos intercuartiles.

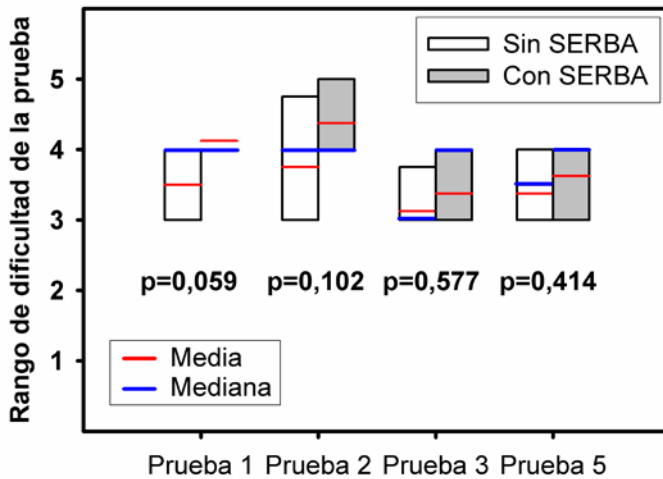


Figura 5.19.- Respuestas al test de las pruebas de localización.

5.5.4. Test de valoración subjetiva del SERBA

Las cuestiones del test que se les pasó a los sujetos, con sus posibles respuestas y la correspondencia de estas respuestas en una escala del 1 al 5, se muestran en el apartado 5.4.4. Los resultados se muestran en la Tabla 10.11.del apéndice D. Una representación gráfica del resultado se puede ver en la Figura 5.20.

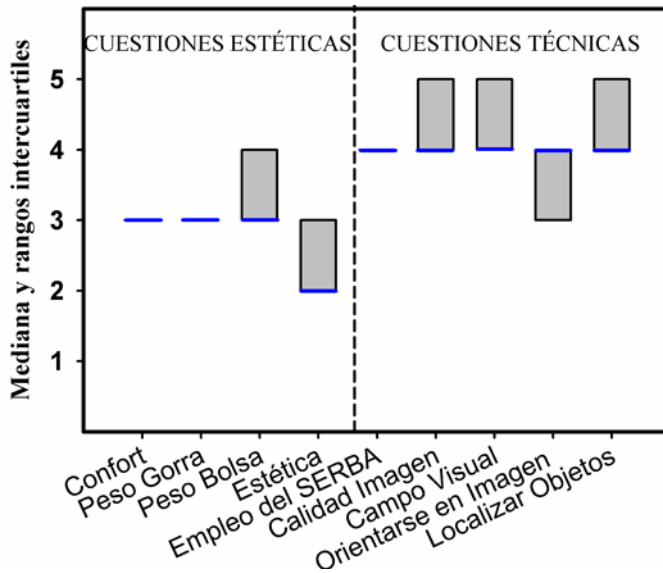


Figura 5.20.- Respuestas al test de evaluación del SERBA.

Durante la realización de los test se les realizó a los sujetos algunas cuestiones de respuesta libre.

Sobre la comodidad del SERBA, comentaron tener problemas con la gorra, que es donde estaba situado el visor del Nomad ND2000. El peso del visor hacía que la gorra se moviera y perdieran la imagen. (Comentario de los sujetos 1, 2, 4 y 6).

Todos estuvieron de acuerdo en que la calidad de la imagen de bordes era mucho mejor en un ambiente con bajas condiciones de iluminación, porque el contraste era mayor.

La mayoría se llevarían el dispositivo a casa, sobretodo para usarlo por la noche (sujeto 2), aunque alguno preferiría ver primero su funcionamiento en el exterior (sujeto 1). El sujeto que dijo que “No” se lo llevaría, manifestó que era por cuestiones estéticas, que como ayuda le había gustado mucho y sí se lo llevaría (sujeto 6).

Les pedimos que opinaran libremente del dispositivo. El sujeto 1 comentó que tenía problemas cuando se encontraba en un ambiente muy iluminado, porque la imagen de bordes se mostraba poco contrastada.

La mayoría de los sujetos comentaron que les había gustado mucho, que era una gran ayuda (sujeto 2), incluso tal y como estaba (sujeto 3), llegando a compararlo con un perro guía (sujeto 4), y que estaba muy contento con el SERBA (sujeto 6). También manifestaron su interés por probarlo en condiciones de iluminación más bajas, durante la noche (sujeto 5).

Como cuestión final, les sugerimos que nos dieran ideas de cómo se podría mejorar el SERBA. Muchas sugerencias fueron de carácter estético (sujeto 2 y 4). El sujeto 3 especificó que prefería que no se usara una gorra, que fueran unas gafas y que la mochila, que contenía la FPGA, las baterías y el control del Nomad, se pudiera llevar en los hombros.

El sujeto 5 consideraba que la gorra era muy inestable. También comentó que suele caminar mirándose los pies, pero si hacía esto con el SERBA la imagen de bordes quedaba fuera de su campo. Prefería un visor mayor que le permitiese mirarse los pies, y seguir viendo la imagen de bordes.

También apreciaron problemas de contraste debidos a los cambios de iluminación, sugiriendo que sería muy interesante que se adaptara automáticamente a estos cambios (sujeto 1), sugirieron una lente que se oscurezca con la luz, para conseguir más contraste (sujeto 4).

El sujeto 6 manifestó tener problemas para determinar la posición real de los objetos debido a la distorsión espacial que se genera en la imagen del SERBA. Sugirió que se trabajara con lentes que proporcionaran menos campo. Sin embargo, también manifestó que con el SERBA era capaz de ver toda la sala sin necesidad de mover la cabeza; hacía mucho tiempo que no conseguía ver así.

5.6. Discusión

En este estudio se ha implementado un dispositivo de visión aumentada realizando un procesamiento de imagen en tiempo real mediante una FPGA, y mostrando el resultado del procesamiento en un visor portable (*Head-Mountain-Display*) transparente. El objetivo principal de este estudio era comprobar que el sistema

(SERBA) facilitaba la movilidad a personas con el campo visual restringido, sin deteriorar su resto visual. Los resultados de este estudio documentan que el SERBA no deteriora significativamente la agudeza visual ni la sensibilidad al contraste de los sujetos, y les proporciona un aumento del campo visual de $\times 4$. Las pruebas de movilidad que se realizaron reflejan una reducción de los contactos con objetos situados por debajo del nivel de los ojos y una reducción de los errores de movilidad.

En publicaciones de evaluaciones de dispositivos similares al nuestro [55], se obtuvieron resultados peores de lo esperado debido a la incapacidad de conseguir mayor contraste en la imagen de bordes respecto al ambiente en el que estaba sumergido el sujeto. El NOMAD ND2000 se seleccionó como visor del SERBA por mostrar unas características de transparencia y contraste mucho mejores que otros dispositivos comerciales. También encontraron insuficiente la sensibilidad de la cámara que utilizaron; nuestra cámara tenía una sensibilidad de 0,003 lx.

5.6.1. Pruebas optométricas

El concepto de *Vista Aumentada* está basado en proporcionar un aumento del campo visual del sujeto sin deteriorar su resto visual. El objetivo de las pruebas optométricas, que se realizaron a los sujetos, era comprobar si el SERBA, como esperábamos, aumenta de campo visual efectivo, sin deteriorar el resto visual de los sujetos.

Para medir el campo visual monocular en ambos ojos, de los sujetos que participaron en la evaluación del SERBA, se utilizó el campímetro *AutoPlot* (Bausch & Lomb, Rochester, NY), por haber sido utilizado en otros estudios, para determinar el campo visual de sujetos con Retinosis Pigmentaria [78], o con degeneración macular [79].

Teniendo en cuenta las características del HMD y la minicámara, que forman parte del SERBA, el aumento en el campo visual de los sujetos debería estar en torno a $\times 4$. Este aumento se produciría siempre que el campo visual original del sujeto sea menor que el campo del visor del SERBA (*C.V. del Nomad*: 13° Vertical, 19° Horizontal). Si el campo visual del sujeto fuera mayor que el del SERBA se produciría el efecto mostrado en la Figura 5.14 y en el sujeto 3 de la Tabla 5.3.

En el caso del sujeto con visión normal, simulando 8° de visión central, el aumento que se consiguió fue de $\times 4,5$. En los sujetos con baja visión obtuvimos aumentos menores de lo esperado en seis de los ocho sujetos. Este efecto se ha presentado en sistemas similares al SERBA, como es el caso del LV-3 descrito por Bowers en 2004 [55]. El coeficiente de correlación, entre el campo visual de los sujetos sin el SERBA y con el SERBA, fue de 0,842 con una significancia de $p=0,009$.

Para la determinación de la agudeza visual se utilizaron test ETDRS, que son los estandarizados para personas con baja visión y con visión normal [81].

Del estudio estadístico realizado sobre las medidas de agudeza visual y sensibilidad al contraste, no se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre las medidas tomadas sin el SERBA y las tomadas con el SERBA.

Una reducción superior a 0,3 en la agudeza visual de un sujeto se puede considerar un cambio significativo [106]. En la agudeza visual, de sujetos con visión normal y con baja visión, no se produjeron reducciones mayores de 0,3, al utilizar el SERBA.

En la sensibilidad al contraste, sólo aparecen diferencias visuales significativas en 8 de las 88 pares de medidas tomadas a los sujetos con baja visión. Estas diferencias resultaron no ser significativas para ninguno de los 4 tipos diferentes de test estadísticos, paramétricos y no paramétricos, empleados en el análisis estadístico de los resultados.

Teniendo en cuenta esto, los resultados de las pruebas optométricas, realizadas a tres sujetos con visión normal y a 8 sujetos afectados de Retinosis Pigmentaria, muestran un aumento de campo visual con el SERBA próximo al esperado, sin que esto comprometa significativamente su resto visual.

5.6.2. Prueba de movilidad

El concepto de *Vista Aumentada* implica proporcionar a los sujetos información de su periferia con el fin de facilitarles la navegación. Esto debería quedar reflejado en los resultados de la prueba de movilidad en la que participaron 8 sujetos afectados de Retinosis Pigmentaria. Esta prueba fue diseñada basándonos en estudios previos sobre el tema [55, 56, 61, 62], que nos permitieron generar pruebas con una adecuada complejidad.

En principio, cabría esperar una reducción en el tiempo empleado en la realización de la prueba con el SERBA, ya que el sistema les aportaría más seguridad en los desplazamientos. Sin embargo, lo que observamos en los resultados mostrados en la Tabla 5.7, es que el PPWS, en la realización de la prueba sin el SERBA, era mayor que el PPWS empleado cuando portaban el SERBA. Por los resultados obtenidos en el estudio estadístico (Tabla 5.10), esta diferencia en el porcentaje utilizado de su velocidad natural es estadísticamente significativa ($p=0,008$). Esta disminución de la velocidad, cuando utilizaban el SERBA, se debía a la incomodidad de llevar un sistema al que no estaban acostumbrados y del que tenían que estar pendientes para no golpear con él ningún objeto. Como se mencionó en el apartado 5.4.2.1, a los sujetos se les permitía ajustar el nivel de bordes de la imagen que les proporcionaba el SERBA, lo que podría derivar en una disminución del PPWS. Es de esperar que un tiempo mayor de aprendizaje o adaptación al SERBA les permitiera aumentar su PPWS.

Fue notable la presencia de errores de movilidad (Tabla 5.7) en la realización de la prueba sin el SERBA. Esto indica que el SERBA proporcionaba seguridad a los sujetos en sus desplazamientos. Fue muy significativo el caso del sujeto 2, que sin el SERBA, exploraba con el pie, de forma instintiva, la zona del siguiente paso. Se le preguntó por qué no hacía esta exploración cuando llevaba el SERBA, y comentó que no era consciente de que no lo había hecho, simplemente no la necesitó.

En un primer análisis de los resultados, no se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) en los contactos totales que se producían entre los sujetos y los obstáculos del recorrido, sin el SERBA o portando el SERBA. Un análisis más detallado de los contactos en función de la altura de los objetos, puso de manifiesto diferencias significativas con un intervalo de confianza del 90% ($p<0,1$) en contactos con los

objetos aéreos y con objetos a la altura de la cadera. Cuando los sujetos portan el SERBA podemos apreciar una reducción en todos los contactos, con los objetos agrupados por altura, excepto en los contactos con los objetos aéreos (Tabla 5.8). La estadística de los contactos producidos con objetos aéreos y con el resto de los objetos, se pueden ver en la Tabla 5.10. Aunque, portando el SERBA, se producía una reducción en los contactos con objetos a la altura del tobillo y con las cortinas separadoras, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. La diferencia en los contactos aéreos era significativa para un intervalo de confianza del 90% ($p < 0,1$), y la diferencia en el resto de contactos era significativa para un intervalo del 80% ($p < 0,2$ correspondiente a la fila “CONT. MENOS AÉRESO”). Estas diferencias suponían un aumento de los contactos con objetos aéreos y una reducción en el resto de los objetos, cuando los sujetos portaban el SERBA.

Algunos sujetos comentaron que la visera de la gorra, donde iba situado el visor del SERBA, les limitaba la visión. Los sujetos no podían hacer una exploración visual cómoda del campo situado por encima de la visera, lo que podría justificar el aumento en el número de contactos con objetos que estaban colgados del techo. Un entrenamiento que incluya técnicas de exploración puede ayudar a aliviar este problema [60].

No se sabe qué parte de responsabilidad tenía el aumento de tiempo (PPWS) en la realización de la prueba con el SERBA, en la mejora en la ejecución de dicha prueba. Debemos tener en cuenta que el sujeto se movía con un sistema nuevo para él, que le proporcionaba una imagen con distorsión espacial que debía compaginar con su visión natural, y que durante el recorrido podía ajustar el nivel de bordes (umbral de binerización) de la imagen que le proporcionaba el SERBA. Todos estos factores producirían contactos con objetos que se podrían evitar con periodos de entrenamiento mayores [63]. Estos contactos podrían compensar parte de los que no se producirían por el aumento en el tiempo de realización de la prueba.

Los especialistas observaron que los sujetos tenían problemas con la distorsión espacial de la posición de los objetos, como resultados de la minimización de la escena que se muestra en el visor del SERBA. Los sujetos entendieron el concepto de minimización durante el periodo de entrenamiento en un espacio similar al del recorrido con obstáculos. Pero este periodo de entrenamiento no les permitió realizar una interpretación ágil de la imagen, que les permitiera determinar la posición real de los objetos. Este problema se vió agravado por la dificultad que les suponía intercambiar la atención de la visión entre la imagen que les proporciona el SERBA y su visión natural. Los sujetos manifestaron que realizaron la prueba de movilidad con el SERBA manteniendo la atención en la imagen que se les proporcionaba, pasando a utilizar en raras ocasiones su visión natural. Aunque esto implicaba que consideraban la imagen que se les proporcionaba muy útil para la realización de la prueba, tenían problemas para determinar la posición real de los objetos. Pruebas realizadas por otros autores en una simulación virtual [105] indican que los sujetos con campos visuales restringidos son capaces de usar una imagen de bordes minimizada como ayuda visual que les permite buscar objetos fuera de su campo visual, y que rápidamente aprenden la relación entre la posición del objeto en la imagen minificada y su posición real.

Si los sujetos se llevaran el dispositivo a casa durante un periodo largo de tiempo podrían habituarse a la distorsión espacial, y agilizar el intercambio de atención visual entre el visor y su visión natural [55]. Con esto conseguirían reducir el tiempo de realización de las pruebas, y el número de contactos con los objetos sería menor [55, 63].

Pese a la utilidad de un periodo de entrenamiento largo, a excepción de la investigación realizada por Hartong en el 2004, los estudios de ayudas opto-electrónicas [50, 58, 107] con pruebas de movilidad no han incluido periodos de adaptación del dispositivo en casa, previos a la evaluación.

5.6.2.1 Test de valoración subjetiva de la prueba de movilidad

Este test constaba de 4 preguntas con las que pretendíamos evaluar si el sujeto consideraba que el SERBA le ayudaba en la ejecución de la prueba.

Por los resultados del test, vemos que los sujetos percibieron la misma dificultad en el recorrido sin el SERBA y con el SERBA. Sin embargo, se produjo una reducción en el número de contactos con los objetos y de los errores de movilidad.

El estudio estadístico nos muestra como diferencia más significativa ($p < 0,05$) las respuestas sobre la dificultad percibida para determinar la distancia que los separaban de los objetos. Pese al entrenamiento realizado con el SERBA, previo a la ejecución de la prueba, los sujetos no consiguieron habituarse a la distorsión espacial de la imagen que les proporciona el SERBA. Como mencionamos en el apartado anterior, creemos que un periodo de entrenamiento mayor permitiría a los sujetos habituarse al SERBA y poder determinar correctamente la distancia a los objetos [63].

La sensación de los sujetos es que el SERBA les ayuda a determinar la posición de los obstáculos ($p = 0,078$ con más de un 90% de intervalo de confianza) y a evitar dichos obstáculos ($p = 0,102$ con un intervalo de confianza del 90%).

Los sujetos percibieron una mejora en sus habilidades para evitar obstáculos con el SERBA, mientras que los resultados objetivos de la prueba de movilidad se pudieron ver influenciados por la carencia de experiencia en el uso del SERBA. Esta diferencia de resultados entre pruebas objetivas y subjetivas refuerza la importancia de periodos de entrenamiento mayores para la adaptación total de los sujetos al SERBA y poder evaluar con más precisión los efectos del SERBA en la movilidad.

5.6.3. Pruebas de localización

El tiempo que emplearon los sujetos en subir y bajar las escaleras fue mayor cuando portaban el SERBA. Esta diferencia de tiempos fue estadísticamente significativa ($p < 0,05$). Los sujetos relataron las diferentes técnicas que utilizaban para subir o bajar escaleras. Cuando subían unas escaleras todos los sujetos solían arrastrar los pies hasta que chocaban con el siguiente escalón e iban contando el número de escalones que tenía cada tramo, de esta forma ya sabían cuántos tendrían que bajar. Uno de los sujetos nos comentó que con el SERBA podía ver todas las escaleras que tenía que subir en la imagen del visor, así que las contó y las subió sin necesidad de arrastrar los pies para localizar el final del escalón. El aumento en el tiempo que emplean para subir y bajar las escaleras con el SERBA se debe a que tenían que moverse con un

dispositivo al que no estaban acostumbrados, y que la utilidad que le daban a la imagen que les proporcionaba el SERBA les requería más tiempo que el que necesitaban con las técnicas que utilizaban habitualmente. Poder utilizar el SERBA durante un periodo de tiempo mayor podría permitirles habituarse al SERBA y reducir los tiempos.

En el análisis estadístico realizado con los resultados objetivos de las pruebas de localización, sin el SERBA y con el SERBA, no aparecían diferencias significativas en ninguna de las pruebas. Sin embargo, los sujetos percibieron mayor facilidad en la realización de las pruebas con el SERBA que sin él, como se apreciaba en las respuestas que dieron al test que se les realizó.

Los sujetos percibieron menos dificultad en la realización de la prueba 1, que consistía en la localización de objetos de más de 50 cm de altura (sillas, mesas y pilones de señalización), con el SERBA que sin el SERBA. La diferencia de puntuación que dieron en el test a esta prueba, sin SERBA y con SERBA, fue estadísticamente significativa ($p=0,059$). Los sujetos encontraron muy útil el SERBA en la realización de la prueba 1, ya que con el SERBA no necesitaban hacer un barrido de la zona con su visión, porque en la imagen que les proporciona el SERBA veían toda la habitación. De los ocho sujetos, sólo tres realizaron la prueba en menor tiempo con el SERBA, pero de los cinco restantes, dos presentaban una diferencia de tiempos menores de 2 segundos.

En la prueba 3 (localización de unas gafas, una cámara, dos pinzas y una hoja de papel) al igual que en la prueba 1, el SERBA debería reducir el tiempo de exploración necesario para la localización de los objetos. Cinco de los ocho sujetos reducían el tiempo de ejecución de la prueba 3 con el SERBA. Sin embargo, la respuesta que dieron en el test, sobre si el SERBA les facilitaba realizar esta tarea, no fue estadísticamente significativa ($p>0,5$). Si comparamos el tamaño de los objetos de la prueba 1 con los de la prueba 3, encontramos la causa de la menor utilidad del SERBA en la ejecución de la prueba 3. En la imagen del SERBA los objetos se muestran con una reducción en su tamaño de $\times 4$. Esta reducción no supone un problema cuando los objetos que se pretenden localizar son grandes, pero los objetos de la prueba 3 eran de un tamaño mucho menor que los de la prueba 1. Pese a que cinco sujetos redujeron el tiempo de realización de la prueba 3 con el SERBA, la sensación que tuvieron de las ventajas que les aportaba el SERBA era menor que la sensación de agilidad en localización de los objetos que experimentaron durante la prueba 1.

En la prueba 2, que consistía en localizar una figura geométrica a poca distancia, tres sujetos emplearon menos tiempo en la ejecución con el SERBA que sin el SERBA. De los cinco restantes, dos la ejecutaron con menos de 2 segundos de diferencia. Por las respuestas que dieron al test, valorando la dificultad de esta prueba, sin el SERBA y con el SERBA, vemos que encontraron el SERBA muy útil ($p=0,102$).

Con la prueba 4, localización de una hoja de tamaño A4, pretendíamos ver si con el SERBA eran capaces de detectar esta hoja durante la realización de la prueba 3. Esto nos podría indicar si, con el SERBA, a los sujetos les resulta más sencillo percatarse de los objetos que había en su entorno. Cinco sujetos necesitaron menos tiempo para localizar esta hoja con el SERBA que sin el SERBA. De estos cinco, sólo dos vieron la hoja durante la realización de la prueba 3 con el SERBA, y uno de ellos también logró localizarla, durante la prueba 3, sin el SERBA.

Es muy interesante el caso del sujeto 1. Este sujeto es un deportista de élite en activo, que se mostró muy interesado en el SERBA, y realizó todas las pruebas con mucho interés y concentración. Este sujeto, utilizando el SERBA, redujo considerablemente el tiempo de ejecución de las pruebas de localización 1, 2, 3 y 4.

El sujeto redujo el tiempo de ejecución de las pruebas en un 20% para la prueba 1, un 75,5% para la prueba 2, un 71% para la prueba 3 y un 69% para la prueba 4. Es una mejora en la realización de la prueba muy notable. Quizás por su condición de deportista, a este sujeto le resultó más fácil habituarse al SERBA, ya que está habituado a moverse en unas condiciones en las que la utilización ágil de su resto visual es crítica. Es de suponer que aumentando el tiempo de adaptación al SERBA, el resto de sujetos conseguirían también mejores resultados en la ejecución de las pruebas.

El sujeto 2 también obtuvo buenos resultados en la ejecución de las pruebas 1, 2 y 3, con una mejora en los tiempos de ejecución de un 33,6% en la prueba 1, un 76,6% en la prueba 2 y un 19,80% en la prueba 3. En la prueba 4 obtuvo peores resultados con el SERBA, pero el aumento de tiempo fue sólo de un 28%.

En este caso, no se trataba de un deportista de élite, era una mujer de 33 años sin ninguna habilidad especial en los deportes. Lo que tenían en común los dos sujetos fue su menor agudeza visual y su menor campo visual, en comparación con el resto de sujetos.

Los sujetos opinaron que resultaba mucho más fácil realizar las tareas de la prueba 5 con el SERBA, porque podían ver toda la mesa en la imagen que les proporcionaba el dispositivo. Un sujeto tuvo problemas al intentar ver los números de la prueba 5.D. utilizando la imagen del SERBA. En esa ocasión, el sujeto debía haber utilizado la imagen del SERBA para localizar cada uno de los puntos y su visión natural para identificar el número que indicaba el orden en que los debía unir. Si el sujeto hubiera estado más habituado al uso del SERBA, hubiera tenido menos dificultades en la realización de la prueba. Pese a que todos encontraron el SERBA útil para la realización de la prueba 5, los resultados en los tiempos indicaban que el SERBA perjudicaba la realización de las pruebas. Esto se debió a que las tareas que debían realizar eran manuales. Portando el SERBA tenían una mano ocupada con el ratón, y la bolsa que contenía la FPGA y las baterías colgaba del otro brazo, lo que entorpecía notablemente sus movimientos.

5.6.4. Test de valoración del SERBA por los sujetos

En la valoración que los sujetos hicieron del SERBA, la estética del SERBA fue la que menor puntuación obtuvo. La valoración que los sujetos dieron a las características estéticas del SERBA fue menor que la obtenida en las características técnicas. Por tratarse de un prototipo, no estaba optimizado su tamaño, ni su peso. Los sujetos se mostraron muy satisfechos con la calidad de la imagen y el campo visual que le proporciona el SERBA.

Era importante que los sujetos no tuvieran problemas para orientarse dentro de la imagen de bordes, y les resultara fácil realizar una correspondencia entre esta imagen y los objetos que había a su alrededor. Cuando se les interrogó sobre este aspecto, los sujetos no expresaron tener dificultades para orientarse dentro de la imagen de bordes.

Todos los sujetos comprendieron el concepto de distorsión espacial presente en la imagen del SERBA, pero manifestaron tener problemas para determinar la posición real de los objetos. Un periodo de entrenamiento mayor al que tuvieron, previo a las pruebas de movilidad y localización, permitiría a los sujetos habituarse al SERBA con lo que podrían realizar una determinación correcta de la distancia a la que se encuentran los objetos.

Por los resultados obtenidos en las pruebas de movilidad y localización, vemos que el SERBA es útil, pero que los sujetos necesitarían automatizar el uso del SERBA. Poder utilizar el SERBA en casa les permitiría agilizar el intercambio de atención entre la imagen que les proporciona el SERBA y su visión natural, y habituarse a la distorsión espacial presente en la imagen del SERBA.

5.7. Conclusiones

Los resultados obtenidos en las pruebas optométricas demuestran que conseguimos el objetivo de aumentar el campo visual de los sujetos, sin deteriorar su campo visual. También comprobamos que el SERBA reduce los errores de movilidad y los contactos con objetos que se encuentran a la altura del tobillo, rodilla y cadera. El aumento en los contactos con objetos aéreos se debe a una mala exploración del campo visual situado por encima del nivel de los ojos, ocasionado por las limitaciones que provoca la visera de la gorra, donde está situado el visor del SERBA.

Según los resultados del test de movilidad, los sujetos percibieron una mejora en sus habilidades para evitar obstáculos con el SERBA, mientras que los resultados objetivos de la prueba de movilidad se pudieron ver influenciados por la carencia de experiencia en el uso del SERBA.

En el análisis estadístico realizado con los resultados objetivos de las pruebas de localización, sin el SERBA y con el SERBA, no aparecen diferencias significativas en ninguna de las pruebas. Sin embargo, los sujetos percibieron mayor facilidad en la realización de las pruebas con el SERBA. El SERBA les facilitaba la tarea de localización de objetos, siempre que estos no fueran excesivamente pequeños. La reducción en el tamaño de los objetos, introducida en la imagen del SERBA, hace que éste sea poco eficaz en la localización de objetos de tamaño reducido. El prototipo del SERBA también supone un inconveniente en la realización de tareas manuales. El diseño final del SERBA será mucho más cómodo.

En el análisis de los resultados son tan importantes los valores de las mediciones objetivas realizadas como las características de los sujetos, las respuestas que dan a los tests y las observaciones que realizan los especialistas que les acompañan durante la ejecución de las pruebas [57]. En esta ocasión, de los comentarios realizados por el sujeto 7 y de las observaciones de los especialistas, se puso de manifiesto el rechazo que el sujeto experimentó hacia el SERBA, lo que ocasionó que no realizara las pruebas de forma correcta, motivo por el que se excluyeron sus resultado del estudio.

Aunque algunos sujetos pueden sufrir un rechazo al SERBA, los resultados obtenidos en las pruebas de movilidad y localización vemos que el SERBA es útil; sin embargo los sujetos necesitan un periodo de entrenamiento para automatizar el uso del SERBA. Poder utilizar el SERBA en casa les permitiría agilizar el intercambio de

atención entre la imagen que les proporciona el SERBA y su visión natural, y habituarse a la distorsión espacial presente en la imagen del SERBA.

De las observaciones realizadas por los sujetos y los especialistas durante la evaluación y de los resultados de las pruebas surgieron diversas mejoras en el algoritmo de Vista Aumentada. Las mejoras que se propusieron fueron cuatro:

- Aumento del rango dinámico del umbral de bordes.
- Selección por el usuario del porcentaje de bordes que desea que se muestre.
- Mostrar los bordes de los objetos con predominancia de un determinado color.
- Detección de objetos en movimiento.

Cada una de estas modificaciones se detallan en el capítulo 7 de esta memoria.

La población de sujetos que participaron en el estudio fue reducida, pero los resultados obtenidos demuestran la utilidad de este tipo de dispositivos.

CAPÍTULO 6

Evaluación nocturna del SERBA

6.1. Introducción

Tras las pruebas realizadas de movilidad y localización, se diseñó una evaluación nocturna del SERBA. En estas pruebas participaron 5 de los sujetos que realizaron la evaluación anterior. En general, los sujetos mostraron mucho interés en probar el sistema en bajas condiciones de iluminación.

Se diseñaron dos pruebas basadas en la localización de objetos en bajas condiciones de iluminación. En la primera debían recorrer un pasillo, a su velocidad natural, e ir localizando e identificando objetos. Uno de los parámetros más significativos, tomado durante la evaluación, es el número de objetos que han conseguido identificar.

La segunda prueba se realizó en el exterior, los sujetos debían ir localizando objetos en un orden preestablecido. Los sujetos podían desplazarse por la zona con el fin de facilitar la localización de los objetos. En este caso, uno de los parámetros más significativo era el tiempo que tardaban en localizar cada objeto.

Estas pruebas se llevaron a cabo 3 meses después de las pruebas de movilidad y localización, descritas en los apartados anteriores. Esto supone que todos los sujetos están familiarizados con el uso del dispositivo, si bien no practicaron ni adaptación ni entrenamiento de media o larga duración.

6.2. Sujetos

La muestra estaba compuesta por 5 sujetos con Retinosis Pigmentaria (RP). Mantenemos la numeración de cada sujeto, igual a la asignada en el capítulo 5. Se le volvió a pedir al sujeto 6 que realizara las pruebas sin utilizar la muleta, y no tuvo ningún inconveniente. De este estudio se descartó al sujeto 7 por el rechazo que sintió hacia el SERBA durante la evaluación anterior. De los restantes siete sujetos, se seleccionaron 5. Los dos excluidos tenían características visuales similares al resto de sujetos, por lo que consideramos que la muestra elegida es suficientemente representativa. En la Tabla 6.1 podemos ver las características de la muestra. Recordemos que el sujeto 6 había sido operado recientemente de cataratas, y llevaba un cristal esmerilado en su ojo izquierdo. Todos los datos que aparecen de este sujeto, en la Tabla 6.1, se refieren a su ojo derecho.

Sujetos	Edad	Sexo	A.V.B.* (logMar)	C.V.H.** O.D.(grados)	C.V.H.** O.I.(grados)	Independencia en la movilidad
1	35	V	0,50	4,97	7,70	Si
3	53	M	0,30	26,01	34,36	Si
4	26	V	0,38	4,36	6,11	Si
6	36	M	0,21 o.d.	6,55	-----	No (muleta)
8	33	M	0,16	13,09	17,15	Si

A.V. B*.: Agudeza Visual Binocular. (logMAR)

C.V.H.**: Campo Visual Horizontal

O.D.: Ojo Derecho

O.I.: Ojo Izquierdo.

Tabla 6.1.- Características fisiológicas de los sujetos que participaron en la evaluación nocturna.

6.3. Evaluación

Esta evaluación constaba de dos pruebas de localización de objetos, similares a la utilizada en otra evaluación de un dispositivo de visión nocturna [57], una en un recorrido interior y otra en el exterior. Tras estas pruebas se les pasó a los sujetos un test para que dieran su opinión sobre la dificultad experimentada en la realización de las pruebas, sin el SERBA y con el SERBA.

En esta evaluación se incluyó una comparación entre diversas ayudas visuales para condiciones de muy baja iluminación, y un test con el que los sujetos evaluaron el SERBA.

6.3.1. Localización de objetos en un recorrido interior

En esta prueba los sujetos recorrían un pasillo de 31 m de largo por 3,5 m de ancho (primera planta), un tramo de 16 escaleras (dos tramos de 8 escaleras separadas por un rellano de 128 × 120 cm), y un segundo pasillo de 9 × 3,5 m (segunda planta). La dimensión de las escaleras era de 32 cm de profundidad, 17 cm de alto y 126 cm de ancho. A lo largo de este recorrido se habían dispuesto varios objetos, 6 de estos

objetos debían ser localizados por los sujetos y los otros eran distractores (papeleras, póster, una silla, una mesa, una maceta, una caja de cartón, etc.). Durante la prueba los sujetos debían mantener, en todo momento, su velocidad natural al caminar, sin detenerse para buscar los objetos.

Los 6 objetos que deben localizar son:

1. Pivote de color azul marino. Medía 75 cm de altura y tenía un diámetro de 20 cm. Era el mismo utilizado en las pruebas de movilidad y localización, del capítulo 5.
2. Extintor rojo, de 53 cm de altura y 12 cm de diámetro.
3. Paraguas azul de 75 cm de longitud.
4. Teléfono gris, con 20×15 cm de base, y una altura variable entre un máximo de 9 cm y un mínimo de 4 cm.
5. Libros. Se utilizan tres libros apilados, con dimensiones $24,5 \times 20$ cm y 5 cm de grosor.
6. Ventana abierta. Es una de las ventanas del pasillo donde se realizó la prueba.

Los sujetos tuvieron que realizar este recorrido en tres ocasiones, dos con el SERBA y el algoritmo de *Vista Aumentada*, o el de realce de contraste, y otra sin el SERBA. Teníamos tres configuraciones para las localizaciones de cada objeto (Figura 6.1 y Figura 6.2). La configuración que utilizamos, en cada caso, se balanceó entre los sujetos para que este parámetro no afectara a los resultados.

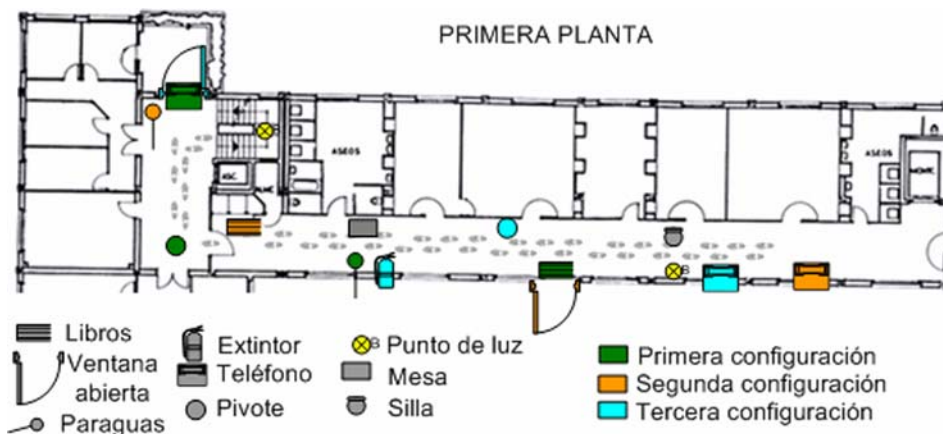


Figura 6.1.- Localización de los objetos en el pasillo de la primera planta.

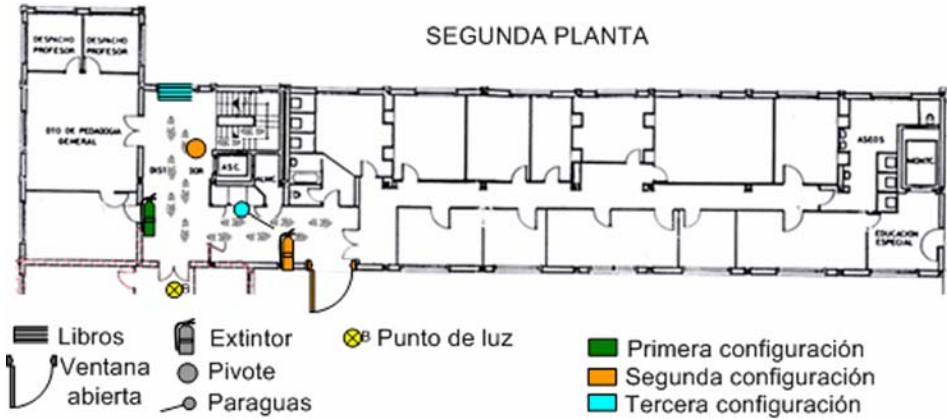


Figura 6.2.- Localización de los objetos en el pasillo de la segunda planta.

La iluminación del recorrido variaba entre un mínimo de 0,01 lx en el inicio del recorrido hasta un máximo de 10 lx en las cercanías de los puntos de luz, siendo la media de 3 lx.

6.3.1.1 Protocolo

Como en el caso de la prueba de movilidad, para la realización de esta prueba se siguió un protocolo estricto. En este apartado, está descrito el protocolo de la prueba de localización de objetos en un recorrido interior, con bajas condiciones de iluminación. La descripción se realiza con el orden cronológico que se siguió en la ejecución de la prueba.

Entrenamiento.- Se les dejó un periodo de entrenamiento con el SERBA de unos 10 minutos, en una zona con condiciones de iluminación similares a las de la prueba. Puesto que los sujetos que participaron en esta evaluación ya conocían el SERBA, este periodo de entrenamiento les sirvió para mostrarles el funcionamiento del sistema con bajas condiciones de iluminación.

Reconocimiento del recorrido.- Sin que portaran el SERBA, se les mostró a los sujetos el trayecto que debían recorrer durante la prueba. Se les mostró los pasillos y escaleras, libres de objetos.

Nivel de bordes.- Puesto que la iluminación, en este caso, es más uniforme que en la prueba de movilidad, los sujetos realizarán todo el recorrido con un nivel de bordes fijo. Se les dejó unos minutos para que ajustaran este nivel antes del comienzo de la prueba.

Normas del recorrido.- Las normas del recorrido consistían en una serie de instrucciones, que se les daba a los sujetos, sobre cómo debían realizar el recorrido. Estas instrucciones se les leyó en dos ocasiones, de manera clara, para que las condiciones de realización del recorrido sean lo más similares posible, entre sujetos.

La lista de instrucciones y el orden en el que se les dio a los sujetos fueron:

- Se les dijo cuáles eran los objetos que tenían que localizar y se les mostraron para que no tuvieran problemas en la identificación de estos.
- Nos aseguramos de que recordaban todos los objetos, pidiéndoles que nos los enumeraran.
- Se les informó que había objetos distractores. Estos objetos no se les describieron, ni se les mostraron.
- Se les indicó que durante la prueba no podían hablar. Tampoco podían detener la marcha cuando localizaran un objeto, sino que debían señalarlo con el dedo y decir el nombre del objeto localizado.
- Para evitar que se sintieran inseguros durante la prueba, se les informó de que la zona central del trayecto estaba libre de obstáculos. Todos los objetos estaban situados en los laterales.

Realización del recorrido.- Una vez que nos aseguramos que han memorizado todas las instrucciones y la lista de objetos que debían localizar, los sujetos realizaban el recorrido con el SERBA y el algoritmo de *Vista Aumentada*, o con el SERBA y el algoritmo de realce de contraste, o sin el SERBA. Recordemos que disponemos de tres configuraciones del recorrido, y que la configuración seleccionada para realizarla portando el SERBA fue balanceada entre sujetos.

Extracción de parámetros.- Durante la prueba dos especialistas seguían al sujeto. La función de estos especialistas, durante la ejecución de la prueba, era asegurar la integridad del sujeto y la extracción de parámetros. Cada vez que un sujeto indicaba la localización de uno de los objetos de la lista, uno de los especialistas marcaba la posición que ocupaba el sujeto en el momento que realizó la identificación. La marca consistía en una etiqueta con el nombre del objeto.

Los parámetros que se extrajeron, de cada uno de los recorridos, fueron:

- Tiempo total del recorrido. Como hicimos en la prueba de movilidad, calculamos la velocidad media del sujeto durante la prueba y la normalizamos con su PPWS (*percentage of their preferred walking speed*) [61, 62]; esto nos permitirá comparar los resultados entre sujetos.
- Instante de tiempo en el que localizaron cada objeto.
- Falsos positivos. Se anotó las veces que los sujetos identificaban erróneamente los objetos, y qué objetos habían confundido.
- Posición del sujeto respecto al objeto. En la Figura 6.3 se muestran las coordenadas que utilizamos para caracterizar la distancia entre el objeto identificado y la posición que ocupaba el sujeto cuando realizó la identificación.

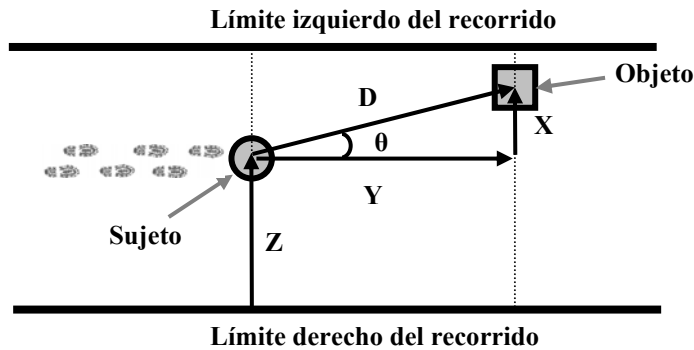


Figura 6.3.- Representación de las medidas tomadas de la distancia entre el objeto identificado y el sujeto.

También se anotaban las incidencias que se producían durante la realización de la prueba. Las incidencias que se tuvieron en cuenta fueron:

- Intervenciones del especialista para asegurar la integridad de los sujetos.
- Si realizaron una exploración de la zona, con el pie o con la mano.
- Si tropezaron, se frenaron, dudaron o se pararon durante el trayecto.
- Pérdidas del equilibrio.
- Pasos altos. Si elevaron los pies para evitar un obstáculo que no existe.
- Se deja libertad al especialista para anotar otro tipo de incidencias que se puedan presentar y que no se tuvieron en cuenta.

Para completar esta parte de la evaluación nocturna, se les pasó un test a los sujetos en el que se les interroga sobre la dificultad apreciada durante la realización de la prueba.

6.3.1.2 Test de la prueba de localización de objetos en interior

En cada una de las ocasiones que realizan el recorrido (con SERBA y sin SERBA), los sujetos deben responder a un test para que evalúen la dificultad del recorrido.

Las posibles respuestas y las puntuaciones para cada cuestión eran siempre las mismas:

Muy fácil = 5, Fácil = 4, Poco fácil = 3, Difícil = 2, Muy difícil = 1.

Las cuestiones, de la 1 a la 3, son las mismas realizadas durante la prueba de movilidad y que están descritas en la sección 5.4.2.2.

Las cuestiones del test que se les pasó fueron:

Cuestión 1.- “Localizar los objetos le ha resultado...”

Cuestión 2.- “Determinar la distancia a la que se encontraba el objeto le ha resultado...”

Cuestión 3.- “Determinar la posición en la que se encontraba el objeto (derecha, izquierda, centro, etc.) le ha resultado...”

Cuestión 4.- “Orientarse durante el recorrido le ha resultado.....”

Puesto que esta prueba se realizaba con muy bajas condiciones de iluminación, podía suceder que los sujetos no supieran dónde estaban los extremos de los pasillos, o su final.

6.3.2. Localización de objetos en el exterior

Tras finalizar la prueba de “*localización de objetos en un recorrido interior*”, se llevó a los sujetos a una localización en el exterior, donde se había preparado lo necesario para la realización de la siguiente tarea. En esta ocasión, los sujetos debían ir localizando 8 objetos en un orden concreto, que están situados a lo largo de una trayectoria de 53 m de longitud. Al igual que en la prueba anterior, se situaron diversos objetos distractores (silla, mesa, casco de motorista, barreño azul,...) en posiciones aleatorias.

Los 8 objetos que debían localizar eran:

1. **Especialista.-** Uno de los especialistas implicados en la evaluación se situaba como objeto inmóvil. El especialista era un varón, de 1,78 m de altura y 80 Kg. Llevaba puesto vaqueros y una chaqueta de un rojo oscuro.
2. **Sombrilla.-** Una sombrilla de playa abierta. La sombrilla medía 1,3 m y era de color azul marino.
3. **Papelera.-** Papelera gris, de 66 cm de alto y 20 cm de diámetro.
4. **Pelota.-** Era una pelota de fútbol de color blanco salvo marcas negras.
5. **Caja de cartón.-** Caja de cartón marrón, con una base de 40 × 40 cm y 75 cm de altura.
6. **Radio.-** Radio portátil negra. Su base medía 50 × 10 cm, y tenía una altura de 14 cm
7. **Trípode.-** Era un trípode estándar de cámaras fotográficas, con una altura de 73 cm.
8. **Pivote de color azul marino.-** Media 75 cm de altura y tenía un diámetro de 20 cm. Fue el mismo que se utilizó en las pruebas de movilidad y localización.

Los sujetos debían realizar este recorrido en dos ocasiones, con el SERBA y sin el SERBA, por lo que teníamos dos configuraciones de las localizaciones de cada objeto. La configuración que utilizamos para la realización del recorrido con el SERBA se balanceó entre los sujetos para que este parámetro no afectara a los resultados.

La distancia entre los objetos era de 10 m y el orden en el que se distribuyeron fue:

Recorrido 1:

Especialista – Paraguas – Papelera – Pelota – Caja – Radio – Trípode – Pivote.

Recorrido 2:

Pelota – Caja – Paraguas – Radio – Trípode – Pivote – Especialista – Papelera.

Se utilizaron tres localizaciones diferentes para la prueba en exterior debido a que se produjeron cambios en las condiciones de iluminación de la zona, ajenas a los investigadores. Las zonas alternativas seleccionadas tenían configuraciones espaciales y de iluminación similares. En la zona 1 realizó la prueba el sujeto 1, en la zona 2 realizaron la prueba los sujetos 3 y 4, y en la zona 3 los sujetos 6 y 8.

La iluminación, en todos los casos, se mantuvo entorno a los 2 lx.

6.3.2.1 Protocolo

El protocolo seguido en la realización de esta prueba, siguiendo un orden cronológico, fue:

Entrenamiento.- Se les permitió dar un paseo por la zona, libre de objetos, para que se familiarizaran con el entorno y, con ello, constatar la seguridad del recorrido. Los sujetos lo realizaron con el SERBA y sin el SERBA. Puesto que los sujetos que participaron en esta prueba ya conocían el SERBA, este periodo de entrenamiento les sirvió para mostrarles el funcionamiento del sistema en el exterior, durante la noche.

Reconocimiento del recorrido.- Sin que portaran el SERBA, se les mostró a los sujetos el trayecto que debían recorrer durante la prueba.

Nivel de bordes.- Se les dejó unos minutos para que ajustaran el nivel de bordes más adecuado, antes del comienzo de la prueba. Sin embargo, durante la prueba podían ajustar este nivel si lo consideraban necesario.

Normas del recorrido.- Las normas del recorrido consistían en una serie de instrucciones, que se les daba a los sujetos, sobre cómo debían realizar la prueba. Estas instrucciones se les leyó en dos ocasiones, de manera clara, para que las condiciones de realización del recorrido fueran lo más similares posible entre sujetos. Existían también instrucciones específicas; como por ejemplo, cuál es el siguiente objeto que deben localizar, que se facilitaron en el momento oportuno y a todos los sujetos por igual.

La lista de instrucciones y el orden en el que se les dio a los sujetos fue:

- Se les indicó cuáles eran los objetos que tenían que localizar, y se les mostraron, para que no tuvieran problemas en la identificación de estos.
- Se les informó que había objetos distractores. Estos objetos no fueron descritos ni mostrados.

- Los sujetos debían ir de un objeto al siguiente en el orden que les indicaba el especialista. Los especialistas les informaban de cuál era el objeto que debían localizar en cada momento. No se les informó de cuál era el siguiente objeto hasta que se situaban junto al objeto que se les pidió localizar.
- Para poder localizar estos objetos los sujetos se movían libremente por la zona. Si el sujeto se alejaba excesivamente del objeto, un especialista se lo indicaba y el sujeto deshacía el camino recorrido. Estas correcciones se anotaban entre las incidencias.
- Cuando localizaban un objeto se debían detener y situarse mirando al suelo. Cuando el sujeto indicaba que había identificado el objeto, un especialista le recordaba que debía situarse mirando al suelo sin cambiar de posición.
- Una vez que el sujeto se situaba mirando hacia el suelo, un especialista realizaba la extracción de parámetros (tiempo empleado en la localización del objeto, y distancia del sujeto al objeto). Cuando el especialista concluía con la extracción de parámetros, le indicaba al sujeto que caminara hasta el objeto localizado y se situara junto a él mirando al suelo.
- Se les indicaba cuál era el siguiente objeto. Se les preguntaba si lo habían visto durante el trayecto anterior y si recordaban dónde estaba.
- Si recordaban donde estaba, se les pedía que mirasen en esa dirección. Si la dirección de la mirada estaba en línea con el objeto, se les indicaba que mirasen al suelo y se les preguntaba si recordaban el momento en que lo vieron. Después se desplazaban hasta ese objeto y se medía el tiempo que tardaban en hacerlo.
- Si no habían visto el objeto (o lo señalaban en una posición incorrecta) se les pedía que continuaran con la prueba y se tomaba el tiempo desde ese instante hasta el momento en el que localizaban el siguiente objeto.

Realización del recorrido.- Una vez que nos aseguramos que han memorizado todas las instrucciones los sujetos realizaban el recorrido con el SERBA, o sin el SERBA. Recordar que disponemos de dos configuraciones del recorrido y que la configuración seleccionada para que el sujeto la realizara portando el SERBA fue balanceada entre los sujetos.

Extracción de parámetros.- Durante la prueba, dos especialistas siguieron a los sujetos. La función de estos especialistas era asegurar la integridad del sujeto y la extracción de parámetros. Cada vez que un sujeto indicaba la localización de uno de los objetos de la lista, uno de los especialistas detenía el cronómetro y apuntaba el tiempo, también medía la distancia entre el sujeto y el objeto. Una vez tomadas todas las medidas, el especialista activaba el cronómetro para medir el tiempo que empleaba el sujeto en caminar hasta el objeto.

También se tomó nota de varios tipos de incidencias:

1. Errores de movilidad:

- **Parada repentina:** Evita tropezar con el obstáculo pero frena bruscamente. El sujeto ve el obstáculo a tiempo para no ponerse en contacto con él, pero no con bastante tiempo para evitarlo de forma natural.
- **Intervención del Observador:** el especialista interviene durante el trayecto para asegurar la seguridad del sujeto.
- **Giros / vacilaciones:** Deslizar un pie hacia delante, o buscar con la mano con la intención de investigar el camino táctilmente, o una disminución excesiva en la velocidad del paso (no influye para ajustar los controles del dispositivo).
- **Pérdida de Equilibrio:** Incluye un paso torpe, tropezar, o un paso inestable, causado por cambios de nivel sutiles (cambios de textura, grietas de acera, cambios de elevación)
- **Pasos Altos:** Atravesar algo que no existe (pasos falsos), o un paso excesivamente alto para la altura del objeto atravesado (la escalera, los obstáculos en el camino,...).
- **Otras observaciones** que el especialista considere interesantes.

2. Contactos con el cuerpo: Contactos con un obstáculo, con cualquier parte del cuerpo. Incluye contactos al frenar, pero no tropiezos por cambios de elevación o grietas en la acera.

- **Obstáculos de nivel bajo:** Obstáculos a la altura de la rodilla o por debajo (por ejemplo bordillos, escaleras, etc.).
- **Obstáculos de nivel medio:** Obstáculos entre la altura de rodilla y el pecho, o los obstáculos verticales.
- **Obstáculos de nivel alto:** Obstáculos a la altura de la cabeza (por ejemplo, ramas de árboles).

6.3.2.2 Test de la prueba de localización de objetos en exterior.

En cada una de las ocasiones que realizaron el recorrido (con SERBA y sin SERBA) los sujetos contestaron a un test para que evaluaran la dificultad del recorrido.

Las posibles respuestas y las puntuaciones, para cada cuestión, eran siempre las mismas:

Muy fácil = 5, Fácil = 4, Poco fácil = 3, Difícil = 2, Muy difícil = 1.

Al igual que en el test anterior, las cuestiones de la 1 a la 3 son las descritas en la sección 5.4.2.2., de esta memoria.

Las cuestiones del test que se les pasó fueron:

Cuestión 1.- “¿Qué le ha parecido el recorrido?”

Cuestión 2.- “Determinar la distancia a la que se encontraba el objeto le ha resultado...”

Cuestión 3.- “Determinar la posición en la que se encontraba el objeto (derecha, izquierda, centro, etc.) le ha resultado...”

Cuestión 4.- “Localiza los objetos le ha resultado...”

Con esta cuestión pretendemos valorar el grado de dificultad subjetivo que los sujetos experimentan en la localización de los objetos con SERBA y sin SERBA. Con esto tenemos una primera impresión sobre si los sujetos encuentran el sistema útil en condiciones de baja iluminación.

Cuestión 5.- “Identificar los objetos le ha resultado”.

Las pruebas se realizaron con una iluminación muy baja, que dificulta notablemente la identificación de los objetos en personas con Retinosis Pigmentaria. Con esta cuestión queremos evaluar si les resultó más sencillo identificar los objetos utilizando el SERBA.

6.3.3. Test de valoración subjetiva del SERBA

El test utilizado para valorar la opinión que tienen los sujetos sobre el SERBA se les volvió a hacer después de finalizar la evaluación nocturna. Esto nos permitirá ver si la opinión de los sujetos se ha modificado en algún factor. En este test se han incluido tres cuestiones más, la cuestión 9, 11 y 14. Estas cuestiones son específicas de la utilización del SERBA en bajas condiciones de iluminación (sección 5.4.4). En esta sección volvemos a redactar todas las cuestiones, pero sólo justificamos las tres cuestiones nuevas.

- **Valoración estética del SERBA:**

Cuestión 1.- “¿Le resulta cómodo el dispositivo?”

Cuestión 2.- “¿Qué le parece el peso del dispositivo?”

2.A.- “De la gorra.”

2.B.- “De la bolsa.”

Cuestión 3.- “¿Qué le parece estéticamente el dispositivo?”

- **Valoración técnica del SERBA:**

Cuestión 4.- “¿Cómo le ha resultado el empleo del dispositivo?”

Cuestión 5.- “¿Qué le ha parecido la calidad de la imagen?”

Cuestión 6.- “¿Qué le parece el campo visual que le proporciona el sistema?”

Cuestión 7.- “¿Le ha resultado difícil orientarse dentro de la imagen?”

Cuestión 8.- “Localizar objetos con el SERBA, comparado con no tener el SERBA, es...”

- **Comparación entre utilizar el SERBA o no:**

Cuestión 9.- “Considera que con la ayuda las pruebas le han resultado...”

9.A.- “localización en interior”

9.B.- “localización en exterior”

Con esta pregunta se pretende obtener la sensación global que tienen los sujetos sobre la utilidad del SERBA en la realización de las pruebas. Las puntuaciones para estas cuestiones fueron:

Mucho más fácil=5, Mas fácil=4, Igual=3, Mas difícil=2, Mucho más difícil=1

- **Cuestiones de respuesta libre:**

Cuestión 10.- “¿Se llevaría el dispositivo a casa?”

Cuestión 11.- “¿Cree que el SERBA es útil en condiciones de baja iluminación?”

Cuestión 12.- “¿Qué opina del dispositivo?”

Cuestión 13.- “¿Cómo cree que se podría mejorar?”

Cuestión 14.- “¿Para condiciones de baja iluminación, prefiere el SERBA con el algoritmo de *Vista Aumentada*, o con el de realce de contraste?”

6.3.4. Comparación del SERBA con visores nocturnos

Se realizó una comparación entre varios sistemas de ayudas visuales, para bajas condiciones de iluminación. Esta comparación se realizó interrogando al sujeto 1, tras dejarle utilizar estas ayudas por la noche en una zona residencial (una hora después de la puesta de sol).

Los sistemas que se seleccionaron como ayudas visuales fueron: el SERBA con el algoritmo de *Vista Aumentada*, con el de realce de contraste y con el *zoom bilineal*, y un visor nocturno (ATN Viper).

La localización seleccionada fue un cruce de calles de una zona de viviendas con un tráfico moderado. La luz en la zona provenía exclusivamente de las farolas de la calle.

Se le dejó que observara, todo el tiempo que necesitara (más de cinco minutos), la calle con cada uno de los dispositivos. También se le permitió desplazarse por la acera en la que se encontraba. Durante este tiempo el sujeto fue dando su opinión sobre cada uno de los dispositivos y sus preferencias. Si lo consideraba necesario, el sujeto podía volver a seleccionar cualquiera de las ayudas que se le ofrecieron.

Esta prueba se realizó sólo con uno de los sujetos, porque suponía alargar mucho el tiempo empleado en la realización de la evaluación nocturna de cada sujeto. Se seleccionó al sujeto 1, por ser un deportista de élite que acusaría menos el cansancio por la duración de la prueba.

Los resultados de esta comparación se muestran en la sección 6.4.4.

6.4. Resultados

En este apartado se muestran los resultados de cada una de las pruebas realizadas en la evaluación nocturna, así como los resultados de los test realizados tras cada prueba. En estos resultados incluimos los comentarios de los sujetos referentes a cada una de las pruebas y sus observaciones personales sobre el SERBA.

6.4.1. Localización de objetos en un recorrido interior

En la Tabla 6.2 se muestran los resultados de la prueba de localización de objetos en un recorrido interior, en condiciones de baja iluminación. Los datos que se muestran están separados por sujetos, y en cada uno de los sujetos se muestran los resultados de la prueba realizada sin el SERBA, con el SERBA seleccionando el algoritmo de *Vista Aumentada*, y con el SERBA seleccionando el realce de contraste. En cada uno de estos apartados se indican qué objetos localizaron, la distancia entre el objeto y el sujeto en el momento de la localización, y el ángulo que forman el objeto y el sujeto respecto de la línea de marcha del sujeto (Figura 6.3). Los dos últimos datos de la Tabla 6.2 son los errores de movilidad que se produjeron durante las pruebas y el tiempo total empleado en la realización de la prueba con cada uno de los dispositivos.

Disponíamos de tres recorridos diferentes en los que cambiamos las posiciones de los objetos para evitar que la memorización afectara a los resultados. Balanceamos estos recorridos entre los sujetos y los dispositivos empleados, para que los resultados sean independientes del recorrido seleccionado para hacer la prueba.

En la Tabla 6.3 se muestran los resultados del sujeto 4; están separados de los otros sujetos porque en este caso el sujeto ignoró las indicaciones del observador. En lugar de localizar los objetos caminando a una velocidad constante y sin detenerse, el sujeto aminoraba su marcha, llegando a pararse, para poder buscar los objetos.

Sujeto	Dispositivo	Objeto	D	Ángulo	Error movilidad	T. total
Sujeto 1	Sin SERBA	Pivote	0,46	90°		01: 18,9
		Teléfono	1,75	13,7°		
		Ventana	2,34	58,6°		
	Con realce de contraste	Pivote	1,00	38,7°	2 **	03:09,9
		Ventana	2,01	0°	2 F.P.	
Con Vista Aumentada	-----	-----	-----	2 *	02: 28,2	
Sujeto 3	Sin SERBA	Ventana	2,32	39,9°		01:17,0
		Libros	1,44	90,0°		
		Paraguas	3,77	65,4°		
		Extintor	2,46	34,8°		
	Con realce de contraste	Paraguas	2,13	50,3°		02:10,0
		Teléfono	2,85	8,3°		
		Ventana	2,53	49,6°		
		Libros	1,57	89,8°		
	Con Vista Aumentada	Pivote	1,35	25,4°		02:50,0
		Pivote	2,73	35,2°		
Libros		1,22	29,7°			
Paraguas	2,70	25,4°				
Sujeto 6	Sin SERBA	-----	-----	----		01:40,0
	Con realce de contraste	Libros	3,15	19,5°	2 ***	05:14,0
		Pivote	2,08	31,2°	2 F.P.	
		Ventana	8,05	70,3°		
Sujeto 8	Sin SERBA	Pivote	2,66	34,2°		01:22,0
		Teléfono	5,43	6,0°		
		Extintor	7,05	18,1°		
		Ventana	4,29	15,7°		
	Con realce de contraste	Extintor	3,25	31,9°		02:05,0
		Pivote	1,91	31,4°		
		Ventana	2,66	34,2°		

F.P.- Falsos Positivos

*.- Busca con el pie y duda cuando ve el borde de una mesa.

**.- Interviene una vez el observador y en una ocasión busca con la mano.

***.- Interviene el observador en dos ocasiones para orientarla.

Tabla 6.2.- Resultados de la prueba de localización de objetos en interior.

Sujeto	Dispositivo	Objeto	D	Ángulo	Error movilidad	T. total
Sujeto 4	Sin SERBA	Paraguas	0,80	90,0°		04:37,0
		Pivote	1,25	16,3°		
	Con realce de contraste	Pivote	2,00	0°		19:18,0
		Extintor	1,68	34,8°		
		Teléfono	1,54	0°		
		Ventana	2,78	48,0°		
	Con Vista Aumentada	Ventana	1,60	30,4°		08:51,0
		Libros	1,40	21,8°		

Tabla 6.3.- Resultados de la prueba de localización de objetos en interior del sujeto 4.

Por limitaciones de tiempo, ajenas a los especialistas involucrados en el estudio, los sujetos 6 y 8 no pudieron realizar la prueba completa. Para seleccionar con qué algoritmo, realce de contraste o *Vista Aumentada* realizarían el recorrido, se les permitió utilizar el SERBA con ambas configuraciones, en una zona con condiciones de iluminación similares a las del recorrido. Los dos sujetos seleccionaron el realce de contraste, ya que consideraban que la información que les proporcionaba esta imagen, sobre su entorno, era mucho mejor.

Se produjeron varias incidencias interesantes durante la realización de la prueba. La más significativa fue con el sujeto 6. Este sujeto realizó todo el recorrido con el SERBA, localizando varios objetos, pero al enfrentarse a la zona más oscura del recorrido sin el SERBA se negó a andar por miedo, manifestando que no veía absolutamente nada. Se le dejó unos minutos para adaptarse a las bajas condiciones de iluminación, pero aún así siguió sin atreverse a caminar. Este hecho deja de manifiesto la confianza que aporta la utilización del SERBA a los sujetos, en la navegación por zonas escasamente iluminadas.

También es importante resaltar que el sujeto 1, en la realización de la prueba sin el SERBA, caminaba notablemente más rápido que con el SERBA y que no iba buscando los objetos. Se le interrogó sobre este hecho y dijo que iba más rápido y en línea recta porque no podía ver nada. Los objetos que consiguió localizar fueron los que se encontraban más iluminados (teléfono, ventana) o se encontraban en su trayectoria (al girar en una esquina se encontró con el pivote). Con el SERBA y el algoritmo de realce de contraste pudimos observar como el sujeto sí buscaba los objetos. Con el algoritmo de *Vista Aumentada* nos dijo que las imágenes les resultaban más difíciles de interpretar.

Los falsos positivos que se produjeron fueron el teléfono y la caja, en el sujeto 1, y el pivote y el paraguas, en el sujeto 6.

El sujeto 4 nos comentó que con el algoritmo de realce de contraste visualiza “cosas”, pero tarda en reconocerlas; con el algoritmo de *Vista Aumentada* no ve con claridad, le parece difuso; y sin el SERBA ve algo cuando hay un poco de luz, pero no puede distinguirlas.

6.4.1.1 Test de la prueba de localización de objetos en interior

Finalizadas las pruebas de localización, se les pasó a los sujetos un test para que evaluaran la utilidad del SERBA en la ejecución de estas pruebas. En esta sección mostramos las respuestas dadas por cada sujeto.

Las cuestiones de este test fueron:

Cuestión 1.- “Localizar los objetos le ha resultado...”

Cuestión 2.- “Determinar la distancia a la que se encontraba el objeto le ha resultado...”

Cuestión 3.- “Determinar la posición en la que se encontraba el objeto (derecha, izquierda, centro, etc.), le ha resultado...”

Cuestión 4.- “Orientarse durante el recorrido le ha resultado...”

Las puntuaciones que podían dar a cada una de estas cuestiones eran:

Muy fácil = 5, Fácil = 4, Poco fácil = 3, Difícil = 2, Muy difícil = 1.

Estas cuestiones se les realizaron a cada uno de los sujetos y para cada una de las configuraciones del SERBA, que utilizaron durante la evaluación nocturna (sin SERBA, con SERBA y el algoritmo de *Vista Aumentada* o con el algoritmo de realce de contraste).

Las respuestas a este test de cada uno de los sujetos, se muestran en la Tabla 10.12. del apéndice E. Una representación gráfica del resultado se puede ver en la Figura 6.4. Se representan la media y mediana, y las cajas representan los rangos intercuartiles (Q_1 = 25th percentil y Q_3 = 75th percentil). Utilizando el test de Friedman obteníamos unas $p > 0,6$ para las cuatro cuestiones.

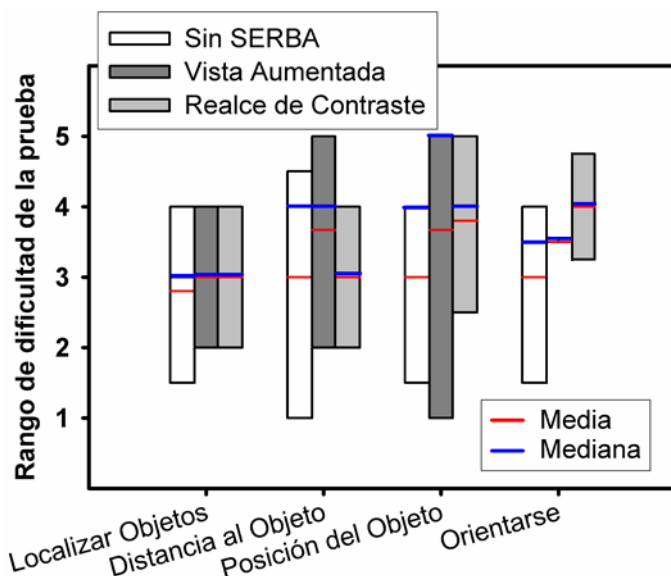


Figura 6.4.- Gráfica de las respuestas al test de la evaluación en interior.

Por los comentarios realizados por los sujetos, sabemos que preferían el algoritmo de realce de contraste al de *Vista Aumentada*. En la Figura 6.5 se compara la dificultad que percibieron al realizar la prueba sin el SERBA y con el SERBA, seleccionando el algoritmo de realce de contraste. Las cajas se corresponden con los rangos intercuartiles.

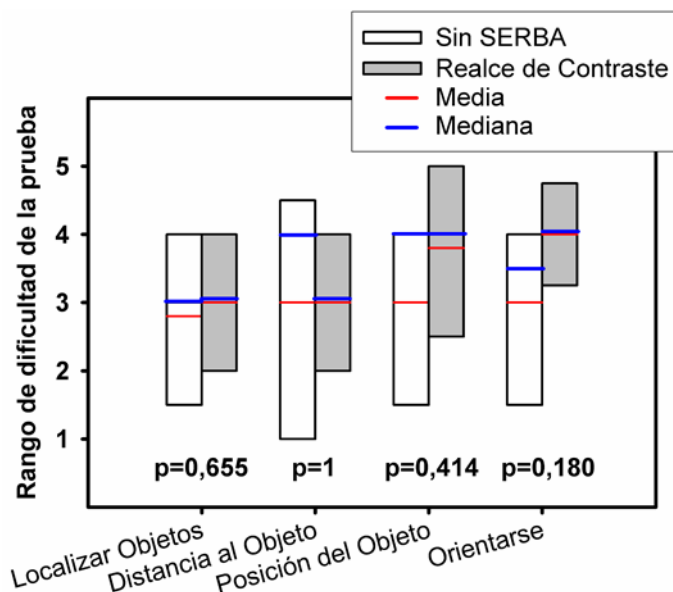


Figura 6.5.- Gráfica de las respuestas al test de la evaluación en interior (sin *Vista Aumentada*).

Algunos de los comentarios de los sujetos, durante la realización de este test, fueron:

El sujeto 1 nos comentó que identificar los objetos con el SERBA, seleccionando el algoritmo de *Vista Aumentada*, le resultó muy difícil, mientras que con el algoritmo de realce de contraste le resultaba fácil. Identificar los objetos sin el SERBA le resultaba más complicado que con el algoritmo de realce de contraste, pero más fácil que con el de *Vista Aumentada*. Con el algoritmo de *Vista Aumentada* no consiguió ver ningún objeto.

El sujeto 3 prefiere el algoritmo de *Vista aumentada*, sobre todo cuando tiene que subir los escalones, porque estos aparecen muy bien definidos en la imagen de borde. Aunque también manifiesta que la imagen que le proporciona el algoritmo de realce de contraste le gusta.

6.4.2. Localización de objetos en el exterior

La iluminación, en las diferentes zonas seleccionadas para realizar la evaluación nocturna en exterior, era de 2 lx.

Los resultados de esta prueba se muestran en tablas independientes para cada sujeto (de la Tabla 6.4 a la Tabla 6.6). En cada una de estas tablas se muestran los resultados obtenidos sin el SERBA y con el SERBA. En la primera columna de estas tablas aparecen por orden cronológico los objetos que debían localizar. En la segunda columna se muestra el tiempo que tardaron en localizarlos, tomando como instante cero, de cada objeto, el instante en el que el sujeto se posiciona junto al objeto anterior. La siguiente columna es la distancia entre el objeto y el sujeto en el instante en el que el sujeto indica que ha localizado el objeto y la identificación del objeto es correcta. En la cuarta columna se indica cuantos errores de movilidad cometieron en la localización de cada objeto y cuantos falsos positivos (F.P.) en la identificación de estos objetos. Después de cada tabla se describen cuáles fueron estos errores de movilidad y falsos positivos, junto con algunos comentarios realizados por los sujetos después de terminar la prueba.

SUJETO 1							
Sin SERBA				Con SERBA			
Objeto	Tiempo	Dist. (m)	Error Movil.	Objeto	Tiempo	Dist. (m)	Error Movil.
Papelera	00:38,7	4,46		Papelera	02:33,0	----	
Observador	00:09,1	8,03		Observador	00:20,1	4,94	
Paraguas	00:14,1	4,97		Paraguas	01:45,8	4,24	Se pasa
Pelota	02:14,0	----		Pelota	02:54,0	----	
Trípode	02:08,0	3,50	Se pasa	Trípode	00:40,3	4,88	Tropieza
Pivote	00:04,5	6,20		Pivote	00:25,6	4,23	
Radio	00:10,3	5,40		Radio	01:03,0	3,57	
Caja	00:12,3	6,36		Caja	00:22,4	4,50	
MEDIA	00:43,9	5,56		MEDIA	01:15,5	4,39	
DESV.	00:54,8	1,47		DESV.	01:01,4	0,50	

Dist. .- distancia / Error Movil. .- Error de movilidad.

Tabla 6.4.- Resultados de la evaluación nocturna en exterior del sujeto 1.

En la localización del trípode sin SERBA, el sujeto tiene muchos problemas para ver el objeto, incluso llega a estar a 2 cm de él y seguía sin verlo.

Con el SERBA el tropiezo que tiene es por errores en la determinación de la distancia al objeto. Este error se produce porque el sujeto se centraba en la imagen de bordes sin intercambiar la atención visual con su visión natural, para determinar la posición real de los objetos. Con entrenamiento les resultaría más fácil el intercambio de atención entre las dos imágenes, la natural y la del SERBA.

SUJETO 6							
Sin SERBA				Con SERBA			
Objeto	Tiempo	Dist. (m)	Error Movil.	Objeto	Tiempo	Dist. (m)	Error Movil.
Papelera	00:00,0	53		Papelera	00:45,5	3,9	Se pasa
Observador	00:02,0	10,7		Observador	00:23,6	6,9	
Sombrilla	00:00,0	11,2		Sombrilla	-----	-----	No la ve
Pelota	-----	-----	No la ve	Pelota	00:03,7	7,5	
Trípode	-----	-----	No lo ve	Trípode	00:45,8	3,2	
Pivote	00:02,4	9,7		Pivote	00:20,4	4,6	
Radio	00:34,4	4,9		Radio	00:42,8	2,3	
Caja	00:11,8	6,6		Caja	00:02,4	12,3	
MEDIA	00:08,6	16,0		MEDIA	00:26,3	5,8	
DESV.	00:13,4	18,3		DESV.	00:18,9	3,4	

Dist. .- distancia / Error Movil. .- Error de movilidad.

Tabla 6.5.- Resultados de la evaluación nocturna en exterior del sujeto 6.

Al igual que el sujeto 1, el sujeto 6 tenía problemas para localizar el trípode sin el SERBA. En este caso el sujeto no consiguió localizarlo después de pasar más de 2 minutos buscándolo. Hay que resaltar entre los resultados la localización de la papelera

sin SERBA. Este objeto lo vio al principio del recorrido, ya que estaba situado en la zona central en línea con el sujeto y se encontraba más iluminada que el resto de objetos.

Con el SERBA tuvo problemas para localizar dos objetos, la sombrilla y la papelera. En la búsqueda de la papelera, aunque se la pasa, retrocede y termina localizándola.

SUJETO 8							
Sin SERBA				Con SERBA			
Objeto	Tiempo	Dist. (m)	Error Movil.	Objeto	Tiempo	Dist. (m)	Error Movil.
Papelera	00:03,3	9,7	tropieza	Papelera	00:08,3	7,1	
Observador	00:01,3	10	tropieza	Observador	00:09,0	5,0	
Sombrilla	00:02,6	9,1		Sombrilla	00:03,0	10,0	
Pelota	00:17,0	7,0		Pelota	00:14,6	9,0	F. P.
Trípode	00:02,8	8,4		Trípode	1:58,8	1,9	3 errores
Pivote	00:01,7	8,6		Pivote	00:10,0	7,8	
Radio	00:01,0	10,1		Radio	00:20,7	5	3 errores
Caja	00:30,2	8,4		Caja	00:17,3	7,5	
MEDIA	00:07,5	8,9		MEDIA	00:25,2	6,7	
DESV.	00:10,6	1,0		DESV.	00:38,2	2,6	

Dist. - distancia / Error Movil. - Error de movilidad.

Tabla 6.6.- Resultados de la evaluación nocturna en exterior del sujeto 8.

El sujeto 8, con el SERBA, tuvo un falso positivo en el que confundió uno de los objetos distractores, el casco, con la pelota. Se le dijo que era un error y continuó con la búsqueda. Los tres errores de movilidad durante la búsqueda del trípode con el SERBA fueron: disminuye su velocidad, duda y se para.

Los sujetos 3 y 4 realizaron esta prueba en otra localización. En este caso endurecimos las condiciones de iluminación, con niveles inferiores a los 2 lx. El resultado fue que estos niveles fueron insuficientes para la cámara del SERBA. El SERBA no proporcionaba ninguna información a los sujetos. Sin el SERBA, los sujetos tampoco pudieron distinguir ningún objeto, así que la prueba no se pudo realizar.

6.4.2.1 Test de la prueba de localización de objetos en exterior

Al igual que en las pruebas anteriores, tras finalizar la realización de la prueba de localización en el exterior, se les pasó a cada sujeto un test para que evaluaran la utilidad del SERBA en la ejecución de esta prueba.

Las cuestiones de este test fueron:

Cuestión 1.- “¿Qué le ha parecido el recorrido?”

Cuestión 2.- “Determinar la distancia a la que se encontraba el objeto le ha resultado...”

Cuestión 3.- “Determinar la posición en la que se encontraba el objeto (derecha, izquierda, centro, etc.) le ha resultado...”

Cuestión 4.- “Localizar los objetos le ha resultado...”

Cuestión 5.- “Identificar los objetos le ha resultado...”

Las puntuaciones que podían dar a cada una de estas cuestiones eran:

Muy fácil = 5, Fácil = 4, Poco fácil = 3, Difícil = 2, Muy difícil = 1.

En la Tabla 10.13 del apéndice E se muestran las respuestas dadas por cada sujeto.

El sujeto 4 no respondió al test porque no pudo realizar esta prueba.

Una representación gráfica del resultado se puede ver en la Figura 6.6. Se representan la media y la mediana, y las cajas representan los rangos intercuartiles ($Q_1 = 25^{\text{th}}$ percentil y $Q_3 = 75^{\text{th}}$ percentil). Las p se calcularon utilizando el test no paramétrico de Wilcoxon, con el test de Friedman obteníamos resultados muy similares.

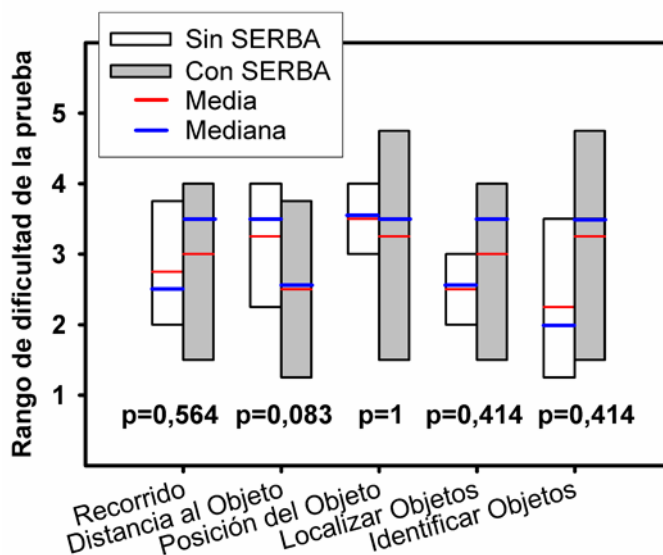


Figura 6.6.- Gráfica de las respuestas al test de la evaluación nocturna en exterior.

Algunos de los comentarios realizados por los sujetos durante el test fueron:

El sujeto 1 tuvo problemas para orientarse dentro del recorrido sin el SERBA, mientras que con el SERBA le resultó fácil.

El sujeto 3 manifestó que, al principio, la utilización del SERBA para localizar objetos en el exterior, y de noche, le resultaba difícil, pero tras el periodo de adaptación

le resultó más fácil; aunque la imagen del SERBA no le proporcionaba la suficiente información como para poder realizar la prueba.

El sujeto 6 nos comentó que ve los objetos antes con la ayuda, pero que con la ayuda no determina bien las distancias porque los ve más cercanos de lo que están.

6.4.3. Test de valoración subjetiva del SERBA

Los resultados del test que se les pasó a los sujetos para que valoraran el SERBA aparecen en la Tabla 10.14 del apéndice E. Las cuestiones fueron:

Cuestión 1.- “¿Le resulta cómodo el dispositivo?”

Cuestión 2.- “¿Qué le parece el peso del dispositivo?”

2.A.- “De la gorra.”

2.B.- “De la bolsa.”

Cuestión 3.- “¿Qué le parece estéticamente el dispositivo?”

Cuestión 4.- “¿Cómo le ha resultado el empleo del dispositivo?”

Cuestión 5.- “¿Qué le ha parecido la calidad de la imagen?”

Cuestión 6.- “¿Qué le parece el campo visual que le proporciona el sistema?”

Cuestión 7.- “¿Le ha resultado difícil orientarse dentro de la imagen?”

Cuestión 8.- “Localizar objetos con el sistema, comparado con no tener el sistema, es...”

Cuestión 9.- “Considera que con el SERBA las pruebas le han resultado...”

9.A.- “localización en interior”

9.B.- “localización en exterior”

Cuestión 10.- “¿Se llevaría el dispositivo a casa?”

Cuestión 11.- “¿Cree que el SERBA es útil en condiciones de baja iluminación?”

Las respuestas a las cuestiones de la 12 a la 14 se detallan después de la tabla, así como los comentarios de los sujetos durante el test.

Una representación gráfica del resultado se puede ver en la Figura 6.7.

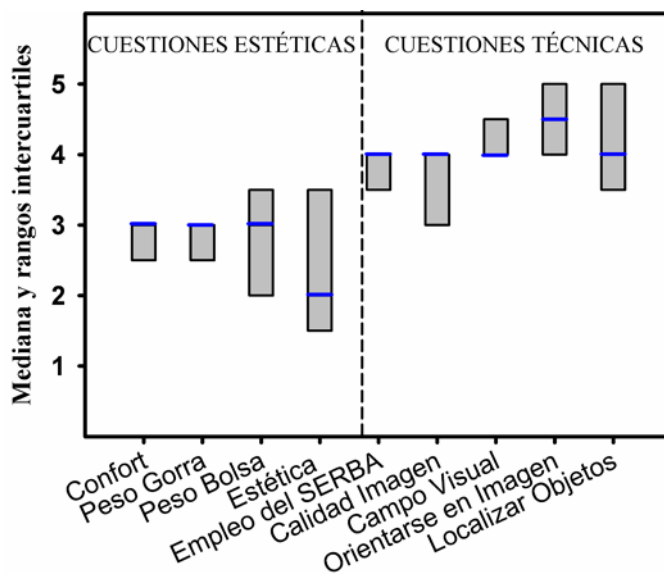


Figura 6.7.- Respuestas al test de evaluación nocturna del SERBA.

El sujeto 1 nos comentó que le resultaba difícil mirar la imagen del visor del SERBA con el algoritmo de *Vista Aumentada* porque la tenía que buscar. También nos comentó, sobre esta imagen, que le cuesta diferenciar los objetos (se muestran solamente los bordes de los objetos), pero que le gusta la calidad. Sobre la imagen que proporciona el SERBA con el algoritmo de realce de contraste, comentó que le gustaba y que si fuera binocular sería muy buena. El problema que encuentra en el SERBA, y que ya ha sido mencionado por otros sujetos, es que cuando mira al visor del SERBA, cree que el objeto está más lejos de lo que en realidad está y tropieza. Sin embargo, nos dijo que localizar los objetos es más fácil una vez que se ha acostumbrado.

El sujeto 6 estaba muy contento con el SERBA, ya que sin él no veía ningún objeto y con el SERBA sí que los veía.

A los sujetos que dijeron que no se llevarían el SERBA se les pidió que especificasen los motivos. El sujeto 3 no se lo llevaría para ella, pero sí para sus hijos (sujetos 4 y 5). El sujeto 3 tenía un campo visual mayor que el resto de los sujetos que participaron en el estudio, y es por ello que, al sufrir menos limitaciones en su vida diaria, no necesita el SERBA. El sujeto 8 dijo que no se llevaría el SERBA porque le pesa demasiado.

Hay que resaltar que el sujeto 6, en el test sobre el SERBA que se le realizó durante la evaluación diurna (capítulo 5), dijo que no se llevaría el SERBA, sin embargo sí que se lo llevaría para usarlo en condiciones de baja iluminación.

Todos los sujetos estuvieron de acuerdo en que el SERBA es muy útil en condiciones de baja iluminación.

Las respuestas que dieron los sujetos a las tres últimas preguntas del test fueron:

Cuestión 12.- “¿Qué opina del dispositivo?”

El sujeto 1 considera que el SERBA es práctico. Para él tiene el problema de que la gorra se le mueve y pierde la imagen; cree que si el SERBA fuera binocular no tendría que estar buscando la imagen. También encuentra que el SERBA es pesado. Comparando la imagen que le proporciona el algoritmo de *Vista Aumentada* con el de realce de contraste, le resulta más difícil identificar los objetos con el algoritmo de Vista aumentada.

El sujeto 3 cree que el SERBA es positivo y que le ve futuro.

El sujeto 4 opinó que era muy funcional y muy útil durante la noche.

Los sujetos 6 y 8 creen que el SERBA está muy bien.

Cuestión 13.- “¿Cómo cree que se podría mejorar?”

El sujeto 1 cree que se mejoraría el SERBA si la imagen que proporcionara fuera binocular, y si esta imagen cubriera todo el ojo. No ve la imagen cuando mira hacia abajo.

Los sujetos 3, 4 y 6 preferían que el SERBA fuera de menor tamaño y peso, y que se mejorara estéticamente.

El sujeto 4 tenía problemas para centrar la imagen.

El sujeto 6 tuvo problemas con el peso de la gorra, que hacía que se moviera el visor y perdiera la imagen.

El sujeto 8 comentó que estaría bien que fueran unas gafas.

Cuestión 14.- “¿Para condiciones de baja iluminación, prefiere el SERBA con el algoritmo de *Vista Aumentada* o con el de realce de contraste?”

Como ya mencionó en la cuestión 12, el sujeto 1 prefiere la imagen que le proporciona el algoritmo de realce de contraste, ya que con el otro algoritmo le resulta difícil de interpretar la imagen.

Al sujeto 3 le gustan las dos imágenes, pero prefiere la del algoritmo de *Vista Aumentada*.

Tanto el sujeto 6 como el 8 prefirieron la imagen con el algoritmo de realce de contraste, para realizar la prueba de localización de objetos en interior.

En la Figura 6.8 podemos ver una representación gráfica de las respuestas que dieron los sujetos 1, 3, 4 y 6, al test sobre el SERBA, que se les realizó durante la evaluación diurna (capítulo 5) y la nocturna. En la Tabla 6.7 aparecen los resultados de los test de Wilcoxon y Friedman, aplicados a los resultados de los test, nocturno y diurno, del SERBA.

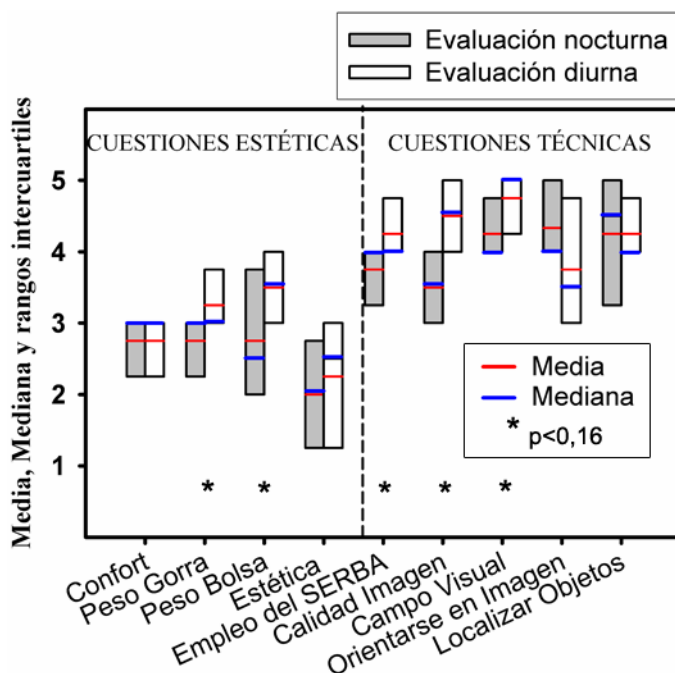


Figura 6.8.- Respuestas al test de evaluación nocturna y diurna del SERBA.

	Confort	Peso Gorra	Peso Bolsa	Estética	Empleo SERBA	Imagen	Campo Visual	Orientarse Imagen	Localizar Objetos
p_W	1	0,157	0,083	0,564	0,157	0,102	0,157	0,317	1
p_F	1	0,157	0,083	0,564	0,157	0,083	0,157	0,317	0,564

Tabla 6.7.- Resultados del los test de Wilcoxon (p_W) y Friedman (p_F).

6.4.4. Comparación con visores nocturnos

En esta sección se redactan los comentarios que realizó el sujeto 1 sobre cada una de las ayudas para visión nocturna que probó.

SERBA con algoritmo de *Vista Aumentada*:

Cuando selecciona un umbral de binarización alto, la imagen se queda con un número insuficiente de bordes que pueden llevar a error.

Si la imagen es de una zona con mucho contraste entre objetos, marcas en la carretera (pasos de peatones, isletas, etc.), motos, coches, farolas, peatones, edificios, etc. parecen demasiados bordes y mezcla los objetos.

SERBA con algoritmo de realce de contraste:

Lo primero que menciona de la imagen que le proporciona este algoritmo es que es una imagen con mucho brillo. Este brillo se puede regular en los controles del Nomad.

En este caso prefería una imagen que ocupara toda su visión. El sujeto se refiere a que, si mira hacia abajo sin mover la cabeza, pierde la imagen que le proporciona el SERBA.

En una ocasión comentó que veía un coche en la imagen y parecía estar lejos y sin embargo por debajo del visor ve las luces del coche pasar. Tiene dificultades para determinar su distancia a los objetos.

Cuando cambia de zonas oscuras, donde la imagen del SERBA se muestra muy contrastada, a zonas con luz, donde el SERBA pierde contraste, deja de ver. Pero cuando se adapta ve mejor. La pérdida de la imagen del SERBA se debía a los deslumbramientos que ocasionaban los cambios en la iluminación ambiente, y no el brillo de la imagen del SERBA.

La necesidad de este tiempo de adaptación, a los cambios de luz, se hace patente cuando anda por la acera y pasa de la luz que proporciona una farola a la que le proporciona la siguiente.

La imagen de bordes le resultaba más difícil de interpretar. Veía muchos bordes que no sabe si son pinturas en la calle o escalones.

SERBA con algoritmo de zoom bilineal:

Prefiere una imagen con relación 1-1.

Su mayor problema es la interpretación de lo que ve en la imagen y calcular la distancia real a los objetos.

Aun con los problemas para determinar distancias, prefiere que el SERBA le proporcione un campo amplio, ya que cree que con entrenamiento no tendría problemas para determinar las distancias reales.

Visor nocturno:

Entre el visor nocturno y el SERBA, prefiere el SERBA porque no se distorsiona y no le afecta tanto la luz. La imagen que proporciona el visor nocturno es demasiado brillante para él, y este brillo no se puede regular.

6.5. Discusión

En este estudio se ha utilizado el SERBA con dos tipos de algoritmos de procesamiento de imagen diferentes (*Vista Aumentada* y realce de contraste), y un visor nocturno comercial. El objetivo principal de este estudio era probar que el SERBA es útil en condiciones de baja iluminación para personas con retinosis pigmentaria, y comparar la opinión que tienen los sujetos de la imagen proporcionada por el SERBA con la imagen que les proporcionaba un visor nocturno comercial. Los resultados de este estudio reflejaron que los sujetos consideran el SERBA muy útil en

condiciones de baja iluminación, prefiriendolo al visor nocturno comercial seleccionado, pero esta sensación de los sujetos no queda manifiesta en los resultados objetivos de las pruebas de localización.

6.5.1. Localización de objetos en un recorrido interior

Aunque se les pidió a los sujetos que mantuvieran su paso natural en la realización de la prueba, podemos observar en los resultados de las Tabla 6.2 y Tabla 6.3, que todos los sujetos emplean más tiempo en la realización de la prueba con el SERBA y el algoritmo de realce de contraste. Las causas de este aumento de tiempo nos las proporcionaron los propios sujetos cuando informaron al especialista de que, con el SERBA y este algoritmo, veían más detalles de lo que les rodeaba, por lo que aminoraban la marcha para poder localizar más objetos. Sin el SERBA, y debido a las bajas condiciones de iluminación, su agudeza visual y su sensibilidad al contraste estaban muy reducidas [108-112], llegando incluso a no ver nada. Este es el motivo de que sin el SERBA fueran más rápido, ya que tenían la sensación de que de todas formas no verían nada.

El sujeto 6 se negó a recorrer parte del pasillo sin el SERBA porque decía que no veía nada. Este sujeto no tuvo ningún inconveniente en realizar el recorrido completo cuando portaba el SERBA.

Estos hechos ponen de manifiesto que, en condiciones de muy baja iluminación, todos los sujetos son capaces de percibir más información sobre lo que les rodea, cuando utilizan el SERBA.

Los sujetos 1 y 6 cometieron varios errores de movilidad cuando portaban el SERBA, pese a que ellos habían manifestado que la imagen del SERBA les proporcionaba mayor información sobre su entorno que su visión natural.

Que sólo dos, de los cinco sujetos que participaron en el estudio, cometieran errores de movilidad podría deberse a las diferencias en sus características visuales, lo que sería compatible con estudios anteriores [26, 58, 107]. El sujeto 1 era el que peor agudeza visual y peor campo visual tenía. Según un estudio realizado en el 2001 [49], la agudeza visual es el principal determinante del nivel de dificultad percibido por los sujetos cuando realizaban tareas de movilidad.

Estos sujetos ya habían utilizado el SERBA unos meses antes, durante la evaluación diurna descrita en el capítulo 5. El sujeto 1, durante la evaluación anterior, había manifestado tener problemas para determinar la distancia real que lo separaba de los objetos, cuando portaba el SERBA. Esto, unido a su peor agudeza visual, podía ser la causa de su falta de confianza en los desplazamientos, que le inducían a hacer sondeos de la zona en la que se encontraba, con las manos o con los pies.

El sujeto 6 se mostró muy contento con la imagen que le proporcionaba el SERBA, y durante la prueba con el SERBA se desplazaba hacia la zona en la que percibía algún objeto, ese fue el motivo por el que el especialista tuvo que corregir su trayectoria en dos ocasiones, ya que el sujeto se dirigía hacia las paredes.

Los tres sujetos que utilizaron el algoritmo de *Vista Aumentada* para realizar la prueba, obtuvieron peores resultados que sin el SERBA o con el algoritmo de realce de contraste. El algoritmo de *Vista Aumentada* proporciona poca información sobre los

objetos, solo su contorno, y el tamaño del objeto se ve reducido en un factor de $\times 4$, por lo que resulta difícil identificar un objeto utilizando sólo esta imagen. Una vez localizado un objeto, los sujetos podrían utilizar su visión natural para identificarlo, pero la escasa iluminación de los objetos dificulta esta identificación. Aun así, vemos en la Tabla 6.2 y en la Tabla 6.3, los sujetos 1 y 3 identifican menos objetos con el algoritmo de *Vista Aumentada* que sin el SERBA. Esto puede deberse a que no realizaban un intercambio correcto en la atención visual entre el SERBA y su visión natural. Los sujetos ven más clara la imagen que les proporciona el SERBA que su visión natural, e intentan identificar los objetos utilizando solo el SERBA. Un periodo de entrenamiento mayor permitiría que se habituaran a intercambiar la atención visual.

No se aprecian diferencias significativas en la distancia entre el sujeto y el objeto identificado, cuando los sujetos utilizan el SERBA y cuando no lo utilizan.

6.5.1.1 Test de la prueba de localización de objetos en interior

Comparando las respuestas que dieron los sujetos sobre la dificultad de la prueba de evaluación nocturna en interior, realizada sin SERBA, con SERBA y el algoritmo de realce de contraste o el de *Vista Aumentada*, no obtuvimos resultados significativos en ninguna de las cuestiones que se les planteó. En test similares, realizados en la evaluación diurna (Figura 5.18), fue muy significativa la dificultad que encontraban en determinar la distancia a los objetos, cuando portaban el SERBA. Esta dificultad estaba generada por la distorsión espacial que introduce en la imagen el algoritmo de *Vista Aumentada*. En la evaluación nocturna en interior, sólo tres sujetos realizaron la prueba con el algoritmo de *Vista Aumentada*, y sólo el sujeto 1 comenta tener dificultades para determinar la distancia a los objetos. Éste sujeto era uno de los que peor agudeza visual y campo visual tenía (Tabla 6.1). Los sujetos 3 y 4 tienen mejor agudeza visual, y el sujeto 3 tenía un campo visual considerablemente mayor al del resto de los sujetos, lo que podría explicar que empleen con más frecuencia el intercambio de atención visual, entre la imagen del SERBA y su visión natural, y tengan menos dificultades para determinar la posición real de los objetos.

Puesto que las condiciones de iluminación de la prueba eran muy bajas, la visión natural de los sujetos se encontraba muy limitada. En estas condiciones, la imagen proporcionada por el SERBA con algoritmo de *Vista Aumentada* les aportaba una información insuficiente para identificar los objetos con comodidad, sin utilizar su visión natural. Esta dificultad era más acusada en el sujeto 1, porque era el que peor agudeza visual tenía, mientras que el sujeto 3, con un campo visual amplio y una buena agudeza visual, tenía suficiente con la imagen generada con el algoritmo de *Vista Aumentada*. Para aquellos sujetos en los que sus capacidades visuales estaban muy reducidas, por las condiciones de iluminación, preferían el SERBA con el algoritmo de realce de contraste, aunque anularan la poca visión natural que les quedaba.

La mayoría de los sujetos obtuvieron mejores resultados al realizar la prueba con el algoritmo de realce de contraste que con el de *Vista Aumentada*. Cuando comparamos la dificultad percibida en la realización de la prueba sin el SERBA y con el SERBA seleccionando el realce de contraste, nos llama la atención la $p=1$ obtenida para la determinación de la distancia a los objetos. El algoritmo de realce de contraste les

proporciona una imagen completa, con distorsión espacial (75° CV de la cámara), y no sólo los bordes (algoritmo Vista Aumenta), pero en este caso la distorsión espacial no parece dificultarles determinar la posición real de los objetos. Esto puede deberse a que no realizan un cambio de atención visual, entre la imagen del SERBA y su visión natural, por lo que no perciben el error en las distancias. Este error, en la determinación de la distancia, no afecta a la realización de la prueba, puesto que no deben evitar los obstáculos, sino identificarlos.

No aparecen diferencias significativas ($p > 4$) en la dificultad percibida para localizar objetos o para determinar la posición del objeto. Sin embargo, se obtuvieron mejores resultados en la realización de la prueba con el SERBA, seleccionando el algoritmo de realce de contraste. Los sujetos no sentían que el SERBA les reportara demasiadas ventajas en la realización de la prueba; aunque su valoración, sobre la utilización del SERBA en condiciones de baja iluminación, fue muy positiva (Tabla 10.14).

La única diferencia en las respuestas que resultó significativa, con un intervalo de confianza de más del 80% ($p = 0,180$), fue en la cuestión de orientación. Los sujetos sintieron que les resultó más fácil orientarse con el SERBA, y el algoritmo de realce de contraste, que sin el SERBA.

6.5.2. Localización de objetos en el exterior

En los tres sujetos que pudieron realizar esta prueba, se obtuvo una distancia de reconocimiento del objeto menor con el SERBA. Los sujetos necesitaban acercarse más al objeto, para poder identificarlo, cuando utilizan el SERBA. El algoritmo que estaba ejecutando el SERBA era el de *Vista Aumentada*, lo que implica que la imagen que les proporcionaba el sistema tenía distorsión espacial (reducción del tamaño en un factor $\times 4$). La necesidad de acercarse más al objeto, cuando utilizan el SERBA, supone que los sujetos identificaban los objetos utilizando la imagen de bordes que le proporcionaba el sistema. Lo óptimo hubiera sido que utilizaran la imagen del SERBA para localizar los objetos y su visión natural para identificarlos. Aunque los sujetos entendieron que debían alternar su atención visual, entre la imagen que les proporciona el SERBA y su visión natural, en la práctica no consiguieron habituarse a esta alternancia. Un periodo de entrenamiento mayor [63] debería permitir a los sujetos un uso más óptimo del SERBA, con lo que aumentarían la distancia necesaria para identificar los objetos. Los comentarios realizados por los sujetos nos hacen pensar que la supresión de bordes controlada por el usuario también permitiría un uso más óptimo del SERBA.

Ninguno de los sujetos mencionó tener deslumbramientos producidos por la imagen que les proporciona el SERBA, que podría generar problemas en el intercambio de atención visual, entre la imagen del SERBA y su visión natural. En dispositivos desarrollados por otros autores [55], los sujetos si mencionaron tener problemas de deslumbramiento, que les dificultó poder utilizar su visión natural.

Cuando se intentó realizar la prueba con niveles de iluminación inferiores a los 2 lx, el SERBA tuvo problemas de sensibilidad y la imagen que generaba no proporcionaba ninguna información sobre el entorno. Instalar unos leds infrarrojos en la cámara del

SERBA, para iluminar los objetos, permitiría obtener una imagen de mejor calidad y conseguir que el SERBA fuera útil en condiciones de muy baja iluminación.

6.5.2.1 Test de la prueba de localización de objetos en exterior

En esta prueba los sujetos volvieron a tener dificultades en la determinación real de la distancia a los objetos ($p = 0,083$). Utilizando el SERBA, con el algoritmo de *Vista Aumentada*, los sujetos perciben la diferencia de posición de los objetos en la imagen del SERBA, comparada con la que perciben con su visión natural.

No hubo diferencias significativas en el resto de cuestiones. Los sujetos no tuvieron la sensación de que el SERBA les facilitara la prueba. Esta prueba no era sólo localizar los objetos para evitarlos, como el caso de la prueba de movilidad del capítulo 5, en este caso también tenían que identificarlos. Para la identificación de objetos en condiciones de baja iluminación, donde la visión natural (A.V. y S.C.) de los sujetos se reduce [108-112], la imagen de bordes que les proporcionaba el SERBA era insuficiente. Aunque esta información sí les pareció suficiente para evitar los obstáculos de la prueba de movilidad del capítulo 5.

6.5.3. Test de opinión del SERBA

Todos los sujetos coincidieron en que el SERBA es muy útil en condiciones de baja iluminación (Tabla 10.14), pese a que en los resultados obtenidos en la evaluación nocturna, tanto en las pruebas como en los test realizados, no indican de forma innegable que el SERBA resulte útil para localizar e identificar objetos en condiciones de baja iluminación, como se ha discutido en los apartados anteriores.

Las respuestas que los sujetos dieron al test de valoración del SERBA, al igual que en la evaluación diurna (capítulo 5), puntuaron bajo la estética del dispositivo y consideraron poco aceptable el peso y el confort del dispositivo. La estética del dispositivo es esencial para que este sea aceptado por los usuarios [55]. El SERBA utilizado en estas evaluaciones es solo un prototipo y la estética se pretende mejorar en una versión comercial posterior.

En las cuestiones técnicas dieron una puntuación más favorable (Figura 6.7). Ningún sujeto tuvo problemas para orientarse en la imagen del SERBA, como ha ocurrido con ayudas similares desarrolladas por otros autores [55].

Los sujetos se mostraron muy contentos con la imagen que les proporcionaba el SERBA, aunque mencionaron que la imagen generada con el algoritmo de *Vista Aumentada* no les proporcionaba suficiente información como para identificar los objetos. El concepto de *Vista Aumentada* se basa en dar a los sujetos la información necesaria sobre los objetos que se encuentran en su periferia, pero sin deteriorar su resto visual. En condiciones de muy baja iluminación las capacidades visuales se ven muy reducidas [108-112]; personas con Retinosis Pigmentaria pueden perder prácticamente toda su visión en estas condiciones, por lo que el algoritmo de *Vista Aumentada* dejaría de ser el óptimo, ya que los sujetos sólo podrían ver lo que se les muestra en el visor.

Los sujetos 1, 6 y 8, preferían la imagen que le proporcionaba el algoritmo de realce de contraste, e incluso el sujeto 1 prefería que esta imagen fuera binocular. El sujeto 1

era el que peor agudeza visual tenía (Tabla 6.1), y el que menos utilidad encontraba en conservar su resto visual. El caso opuesto es el del sujeto 3, con mayor campo visual y mayor agudeza visual, que prefiere el algoritmo de *Vista Aumentada* porque le permite utilizar su resto visual.

Los problemas que encontraron en el SERBA fueron de carácter estético. Otro problema del SERBA es el peso del visor, que provoca que se mueva la gorra y que se pierda de vista la imagen. Esto se mejorará en la versión final del SERBA utilizando un sistema de fijación mejor.

En la Figura 6.8 se compara la opinión que tuvieron, los sujetos 1, 3, 4 y 6 del SERBA tras la evaluación diurna (capítulo 5), con la que tuvieron tras la evaluación nocturna.

Las diferencias más significativas aparecen marcadas con un asterisco y corresponden al peso, el empleo del SERBA, la calidad de la imagen y el campo visual del SERBA. En todos los casos puntuaron peor estas características, durante la evaluación nocturna. La cámara del SERBA no era lo suficientemente sensible como para proporcionar una buena imagen con iluminación menor de 2 lx, mientras que con condiciones de iluminación diurna el SERBA proporcionaba a los sujetos una imagen con muchos detalles. A esto hay que añadirle que, en condiciones de baja iluminación, el resto visual (A.V. y S.C.) de los sujetos se deteriora [108-112], lo que hacía que se sintieran más inseguros durante la realización de la prueba. Esto ha podido causar el empeoramiento en la valoración que los sujetos hicieron del SERBA.

6.5.4. Comparación con visores nocturnos

El sujeto 1 utilizó el SERBA durante la evaluación diurna, descrita en el capítulo 5, en la evaluación nocturna, descrita en este capítulo, y durante 30 minutos en una zona residencial.

En la evaluación diurna empleó el algoritmo de *Vista Aumentada*; en la evaluación nocturna utilizó los algoritmos de *Vista Aumentada* y de realce de contraste; y en la zona residencial utilizó los algoritmos de *Vista aumentada*, realce de contraste y *zoom bilineal*.

El sujeto, en la zona residencial, se desplazó por la zona sin ninguna ayuda visual y después utilizando un visor nocturno comercial (*ATN Viper*).

Como ayuda visual, en condiciones de baja iluminación, el sujeto prefirió el SERBA con el algoritmo de realce de contraste. En condiciones de baja iluminación, su visión natural estaba muy reducida [108-112], y la imagen del SERBA con el algoritmo de *Vista Aumentada* le proporcionaba poca información sobre el entorno. La imagen generada con el algoritmo de realce de contraste le proporcionaba más información sobre su entorno.

En condiciones de iluminación diurna resulta más útil el algoritmo de *Vista Aumentada*, porque no se deteriora el resto visual de los sujetos, lo que les permite utilizar su visión natural.

Con el SERBA y el algoritmo de *zoom Bilineal*, el sujeto podía modificar el campo visual que se le mostraba en el visor. Un *zoom* de $\times 1$ equivalía a un aumento de su campo visual de $\times 4$. Pese a las dificultades para determinar la distancia real a los

objetos, debido a la distorsión espacial de la imagen al aumentar el campo visual, cree que podrá adaptarse con entrenamiento [63], por lo que prefiere que el SERBA le proporcione campos visuales amplios.

El visor nocturno que utilizó no le gustó. Encontraba que la imagen estaba demasiado distorsionada, y que era demasiado brillante.

6.6. Conclusiones

En la evaluación nocturna del SERBA, las pruebas se realizaron en condiciones de iluminación muy bajas, por lo que la visión natural de los sujetos se encontraba muy reducida [108-112]. Los resultados obtenidos demuestran que en estas condiciones los sujetos con peores características visuales encuentran más útil el algoritmo de *realce de contraste* que el de *Vista aumentada*; mientras que los que tienen mejores condiciones visuales prefieren el algoritmo de *Vista Aumentada*, ya que este algoritmo les permite seguir utilizando su resto visual mediante un intercambio de atención visual, entre la imagen del SERBA y su visión natural.

Por los resultados de los test, vemos que los sujetos no sentían que el SERBA les aportara demasiadas ventajas en la realización de las pruebas; sin embargo, todos consideraron que era una gran ayuda en condiciones de baja iluminación, y que les resultaba mucho más fácil orientarse en el trayecto cuando portaban el SERBA.

Esta discrepancia nos hace pensar que las pruebas seleccionadas para la evaluación no sean las más adecuadas. La elección de las pruebas se realizó basándonos en un estudio previo [57], que proponía pruebas de localización para la evaluación de una ayuda visual nocturna similar al SERBA.

Pese a la poca discriminación obtenida en los resultados, se observaron comportamientos en los sujetos que corroboran la utilidad del SERBA en condiciones de baja iluminación. Uno de estos hechos fue el experimentado por el sujeto 6, que sin el SERBA se negó a realizar parte de la prueba, por no ver nada y que con el SERBA concluyó sin ninguna dificultad.

CAPÍTULO 7

Modificaciones del SERBA

7.1. Introducción

En base a las observaciones realizadas durante la evaluación del SERBA, con el algoritmo de *Vista Aumentada*, se desarrollaron algunas modificaciones en este algoritmo.

Las modificaciones realizadas fueron cuatro:

- Aumento del rango dinámico del umbral de bordes.
- Selección por el usuario del porcentaje de bordes que desea que se muestre.
- Mostrar los bordes de los objetos con predominancia de un determinado color.
- Detección de objetos en movimiento.

Comenzaremos el capítulo realizando una descripción de la implementación del algoritmo de *Vista Aumentada*, para pasar posteriormente a describir las cuatro modificaciones realizadas en este algoritmo.

7.2. Implementación del algoritmo de *Vista Aumentada*

El algoritmo de *Vista Aumentada* consiste en una detección de bordes y posterior umbralización, con la finalidad de proporcionar, al usuario del SERBA, la información mínima necesaria para hacerse una composición de lo que le rodea.

Se seleccionó el algoritmo de Sobel, para la detección de bordes, por que los valores de los coeficientes hacen que las operaciones aritméticas se puedan programar de una manera eficiente, e implementarlas fácilmente en hardware. Los coeficientes del operador Sobel se muestran en la Tabla 7.1.

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	-1

Tabla 7.1.- Estructura del operador Sobel.

Para la implementación del algoritmo de *Vista Aumentada* hemos utilizado la FPGA (Spartan-E 200K) de Xilinx y el lenguaje de programación Handel C. La FPGA se configura como un circuito de adquisición de imágenes embebido, que recibe las imágenes de una minicámara. Se procesan las imágenes con el algoritmo de Sobel; para ello necesitamos cargar en una memoria temporal las dos líneas de la imagen que se están procesando en cada ciclo. El usuario del sistema selecciona el umbral de binarización que se aplica a la imagen de Sobel. El paso final es la generación del formato VGA para llevarlo a la salida de la FPGA.

En la implementación del algoritmo hemos dividido el reloj de la FPGA por tres, esto afecta a la salida de VGA, que en lugar de generar una salida estándar (640×480 píxeles) generará una salida de 670×480 píxeles. Esto es por la siguiente razón:

El número de los píxeles horizontales que se muestran dependen de la frecuencia de reloj empleada en el diseño. Para tener una salida exactamente 640×480 píxeles la frecuencia del reloj debería estar entorno a los 25,2 MHz. El reloj de la FPGA es de 80MHz, por lo que en la práctica es complicado tener una salida de 640×480 píxeles. Un diseño con una frecuencia de reloj de 20MHz genera 503 píxeles. Un diseño con una frecuencia de reloj de 26,6 MHz (reloj dividido por 3) produce aproximadamente 670 píxeles horizontales.

El circuito de adquisición de imágenes que se utiliza en este algoritmo requiere 757 slices, lo que supone el 32% del dispositivo. El algoritmo completo (con los módulos de entrada/salida) ocupa el 52% del dispositivo (1227 slices).

En la Figura 7.1 se muestra un esquema de la implementación del algoritmo de *Vista Aumentada*. Como se aprecia en el esquema, en la implementación del algoritmo utilizamos las dos SRAM disponibles en la placa. El circuito de adquisición de imágenes se ocupa de escribir, de forma alternativa, las imágenes capturadas de la

minicámara en la SRAM correspondiente. De forma paralela se va cargando el buffer, leyendo del bloque SRAM en el que no está escribiendo el circuito de adquisición de imágenes.

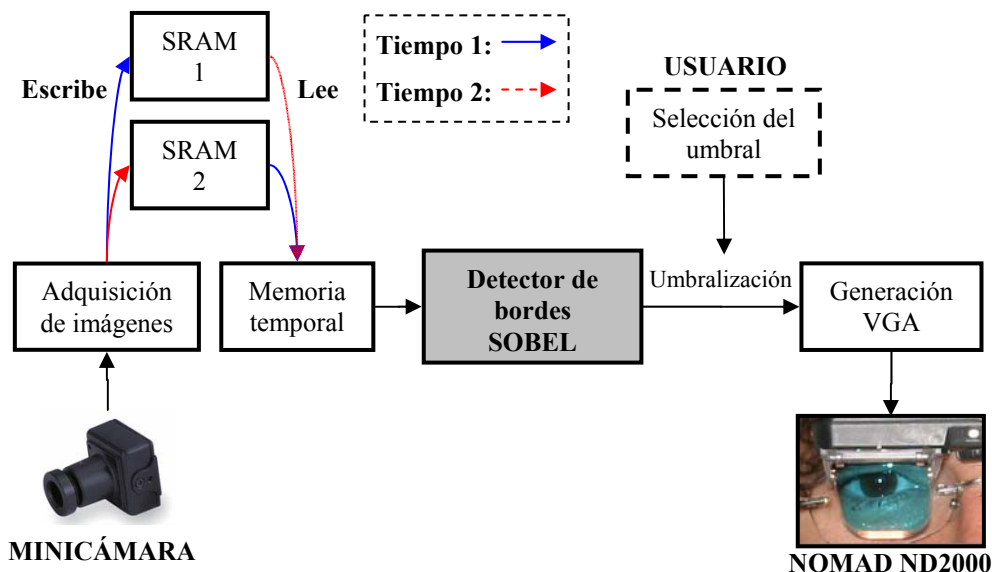


Figura 7.1.- Esquema de la implementación del algoritmo de *Vista Aumentada*.

En la programación del algoritmo de *Vista Aumentada* se empleó segmentación de cauce fino, teniendo en cuenta que la implementación del algoritmo de Sobel ocupaba 5 ciclos.

Sobre esta implementación vamos a realizar las cuatro mejoras comentadas en la introducción:

- Aumento del rango dinámico del umbral de bordes.
- Selección por el usuario del porcentaje de bordes que desea que se muestre.
- Mostrar los bordes de los objetos con predominancia de un determinado color.
- Detección de objetos en movimiento.

En los cuatro casos no se han introducido cambios ni en el circuito de adquisición de imágenes, ni en la memoria temporal.

7.3. Rango dinámico del umbral de binarización

La implementación del algoritmo de *Vista Aumentada*, en la primera generación del SERBA, se realiza procesando píxeles de 16 bits con formato RGB, 5 píxeles para el rojo y el azul, y 6 píxeles para el verde. El umbral de binarización que se le aplica a la

imagen de Sobel es seleccionado por el usuario mediante dos botones. Estos botones actúan incrementando o decrementando, de uno en uno, una variable de 8 bits.

Durante la evaluación realizada del algoritmo de *Vista Aumentada* con sujetos afectados de Retinosis Pigmentaria, se pudo observar la dificultad que experimentaban en la selección del umbral adecuado. Esta dificultad estaba causada por una excesiva variación en el nivel de bordes, con cada pulsación en los botones que controlan el umbral de binarización.

Utilizando una variable de 8 bits para la selección del umbral y un incremento unidad, con cada pulsación en los botones que controlan este umbral, utilizamos solamente 0,4% ($2^8 = 256$ pulsaciones) del rango dinámico del que disponemos (rango dinámico 2^{16}). Esto es debido a que un umbral de binarización superior a 20, en la práctica, elimina todos los bordes de la imagen en la mayoría de escenarios.

Puesto que los píxeles de la imagen procesada son de 16 bits, podemos conseguir utilizar el 100% del rango dinámico en la selección del umbral utilizando una variable de 24 bits, y realizando una conversión de los píxeles de la imagen de 16 a 24 bits. En este caso estamos sobredimensionando la variable del umbral y la imagen, pero conseguimos conservar todo el rango dinámico del umbral de binarización de una forma efectiva.

Con esta modificación en el programa pretendemos conseguir una reducción más gradual de los bordes. Experimentalmente se comprobó que la configuración más óptima era que se realizasen 16000 incrementos (o decrementos) en el umbral de binarización (incremento $> 2^{16} = 65536$), con cada pulsación de los controles del SERBA, lo que nos proporcionó un rango de 1048 pulsaciones ($2^{24}/16000 = 1048$ pulsaciones), frente a las 256 pulsaciones del caso anterior. Con esta configuración la imagen de bordes desaparece, en la mayoría de los escenarios, para un umbral de binarización superior a 1.280.000 (80 pulsaciones).

En la Tabla 7.2 aparecen los datos de los circuitos de *Vista Aumentada* comentados en este apartado.

	Número de Slices	% de ocupación	Imágenes/seg
Primera Generación	1227	52	25
Aumento del rango	1201	51	25

Tabla 7.2.- Datos de los circuitos comentados en este apartado.

7.4. Selección del porcentaje de bordes

La cantidad de bordes que muestra el sistema no sólo depende del umbral seleccionado por el usuario, también depende de las características de la imagen que se está procesando. En una imagen más contrastada se detectarán más bordes que en una imagen más borrosa. Esto puede afectar al resto visual del sujeto. Los niveles de iluminación también van a modificar la cantidad de bordes que el sistemas es capaz de detectar. Es por esto, que para el usuario resulta más interesante seleccionar un

porcentaje constante de bordes (porcentaje de píxeles blancos), en lugar del umbral de binarización.

En la segunda generación del SERBA los usuarios del sistema podrán seleccionar el porcentaje de bordes que desean que se les muestre mediante dos botones.

Una vez que el usuario selecciona el porcentaje de bordes que desea, el sistema se encarga de mantener este porcentaje realizando un control del número de píxeles blancos que se están mostrando. El número de píxeles blancos que se muestran dependerá del umbral de binarización, el sistema auto-ajusta este nivel para cada imagen en función del número de píxeles blancos de la imagen anterior. En la Figura 7.2 se muestra un esquema del circuito desarrollado.

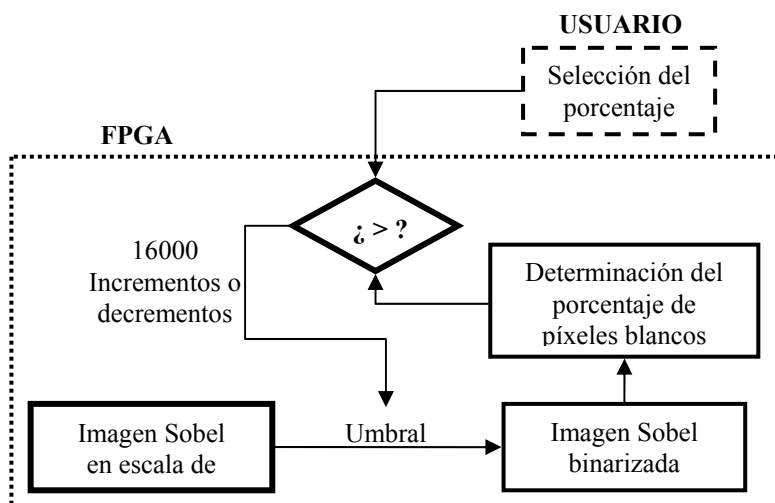


Figura 7.2.- Esquema del circuito encargado de mantener un porcentaje de bordes constante.

Para conseguir que se muestre la imagen con el porcentaje de bordes seleccionado por el usuario puede ser necesario el procesamiento de varias imágenes debido a que:

- El ajuste del umbral de binarización, que se aplica a cada imagen, está en función del porcentaje de píxeles blancos de la imagen anterior.
- El ajuste del umbral de binarización adecuado se hace incrementando, o decrementando, un número fijo de unidades dicho umbral.

El número de imágenes necesario para conseguir ajustar el porcentaje deseado de bordes dependerá de la variación, entre cada imagen, de la cantidad de bordes detectado por el algoritmo de Sobel y de la variación que el usuario introduzca en el porcentaje de bordes que desea. Puesto que el algoritmo implementado procesa 25 imágenes por segundo, la estabilización se consigue, en el peor de los casos, en menos de un segundo. Se puede conseguir un ajuste mas rápido aumentando el valor del

incremento, o decremento, del umbral de binarización. Si estos incrementos tuvieran un valor excesivo se percibiría una oscilación en la imagen de bordes mostrada.

Para evitar estas oscilaciones se ha introducido un condicionador que sólo permite que se auto-ajuste el umbral de binarización cuando se detectan diferencias, entre el porcentaje de píxeles blancos de la imagen de bordes y el porcentaje seleccionado por el usuario, superiores a un 1%.

La selección del porcentaje de bordes deseado se realiza mediante dos botones. Tras probar varias combinaciones se seleccionó que los botones, de incremento y decremento, introduzcan variaciones de un 5% en el porcentaje seleccionado por el usuario.

En la Tabla 7.3 aparecen los datos de los circuitos de *Vista Aumentada* comentados en este apartado.

	Número de Slices	% de ocupación	Imágenes/seg
Primera Generación	1227	52	25
Porcentaje bordes	1507	64	25

Tabla 7.3.- Datos de los circuitos comentados en este apartado.

7.5. Segmentación de los bordes de objetos, en función del color

En entornos semi-estructurados como el hogar, lugar de trabajo, etc; el paciente puede modificar ciertas condiciones del entorno (por ejemplo poniendo marcas de cierto color). Para sacar mayor provecho de este tipo de acciones se ha modificado el SERBA para que indique la posición de los bordes cierto color.

La detección de bordes se realiza convolucionando la imagen original con dos matrices de 3x3. Para mostrar los bordes correspondientes a los objetos con predominancia de un determinado color, por ejemplo el rojo, calculamos el valor medio de los píxel correspondientes al color verde y azul del píxel. Sólo se mostraran los bordes de los píxeles cuyo valor de rojo sea superior a la media calculada anteriormente.

En la Tabla 7.4 aparecen los datos de los circuitos de *Vista Aumentada* comentados en este apartado. Como se ve, este tipo de modificación es perfectamente viable con un mínimo coste.

	Número de Slices	% de ocupación	Imágenes/seg
Primera Generación	1227	52	25
Segmentación	1288	54	25

Tabla 7.4.- Datos de los circuitos comentados en este apartado.

7.6. Detección de objetos en movimiento

En la primera generación del SERBA el objetivo del algoritmo de *Vista Aumentada* era proporcionar a los sujetos información sobre los objetos que se encuentran fuera de su campo visual. La información que se les proporcionaba era los contornos de estos objetos. En esta segunda generación del SERBA pretendemos dar algo más de contexto a esta imagen de bordes introduciendo indicaciones de la dirección del movimiento de los objetos. El objetivo es que los objetos que se muevan en dirección al usuario se muestren de un color más intenso, puesto que son los que suponen un riesgo para su integridad.

Para la detección del movimiento implementaremos un algoritmo de correlación de bloques (*block matching*) aplicado sobre dos imágenes capturadas consecutivamente.

La idea es encontrar, para píxeles de la primera imagen, el píxel que más se le parece en la segunda imagen. Puesto que la información asociada a un único píxel es poco fiable, se recurre a información adicional del entorno de vecindad.

7.6.1. Limitaciones impuestas en la implementación

Si tenemos dos imágenes consecutivas de un entorno donde hay objetos estáticos y en movimiento, y restamos estas dos imágenes, podemos determinar qué píxeles han cambiado de posición. Esta es una primera aproximación del algoritmo de detección de movimiento en objetos, desarrollado en esta tesis. Partiendo de esta primera aproximación, voy a justificar las simplificaciones que fueron necesarias hacer en la implementación.

La implementación del algoritmo de detección de movimiento se realizó en la FPGA RC100 de Celoxica con un dispositivo Spartan E 200K. Esta FPGA dispone de un número muy limitado recursos computacionales (200K slices) y de 14 bloques de memoria RAM (4046 bit por bloque). Para implementar este algoritmo en esta placa necesitamos realizar las siguientes optimizaciones sobre el algoritmo de *Vista Aumentada*:

1. Guardar la imagen en monocromo (8 bit), en la SRAM.
2. Trabajar con la imagen de bordes binarizada (1 bit).
3. Reducir el tamaño de la imagen.

Todas estas simplificaciones tienen como objetivo reducir el coste computacional y minimizar las necesidades de memoria.

La justificación de las simplificaciones realizada es la siguiente:

1. Utilizando la entrada de vídeo compuesto de la RC100, podemos capturar vídeo RGB con 16 bits por píxel. En el algoritmo de *Vista Aumentada* original se captura las imágenes y se almacenan en la SRAM con 16 bits RGB por píxel (5 bits azul, 6 bits verde y 5 bits rojo). Estas imágenes se procesaban aplicando “Sobel” sobre cada uno de los tres canales RGB. Hacer “Sobel” en un único canal monocromo no representaría un cambio

- significativo de la imagen, en el entorno en el que se va a utilizar. Es por esto que antes de guardarla en la memoria SRAM se convierten los píxeles a escala de gris. Esto supone pasar de trabajar con píxeles de 16 bits RGB a píxeles de 8 bits monocromo, reduciendo el número de puertas lógicas necesarias para el procesamiento. La memoria SRAM empleada en la implementación del algoritmo de Sobel monocromo también es menor.
2. Para implementar el algoritmo de detección de movimiento necesitaremos almacenar 3 imágenes. Estas 3 imágenes son las que obtenemos tras el procesamiento con Sobel. Si tras realizar “Sobel” binarizamos las imágenes podemos pasar de almacenar imágenes con píxeles de 16 bits (algoritmo antiguo) a almacenar sólo los bordes binarizados de estas imágenes (1 bit por píxel), con el consecuente ahorro de memoria.
 3. Realizando una reducción del tamaño de la imagen binarizada se ahorra en el consumo de memoria y en el coste computacional. En cada imagen tomamos un bit de cada ocho, con lo que la imagen queda reducida en un factor de $\times 8$.

Con todas estas simplificaciones se ha implementado en la RC100 un algoritmo que almacena en memoria los bordes binarizados de dos imágenes consecutivas. Estas dos imágenes se restan y se almacena el resultado en memoria. Para ello hemos generado tres memorias multipuerto, que nos permiten leer y escribir de forma simultánea, en las que hemos almacenado las tres imágenes que necesitaremos para la implementación del algoritmo de movimiento. El consumo de recursos en la implementación se muestra en la Tabla 7.5.

	Número de Slices	% de ocupación	Bloques memoria	Imágenes/seg
Primera Generación	1227	52	10	25
Optimización	1028	43	11	25

Tabla 7.5.- Datos de los circuitos de la primera generación y su optimización. Utilizando un dispositivo Xilinx Spartan E 200K.

En el algoritmo de *Vista Aumentada* se utilizan dos memorias para almacenar dos imágenes consecutivas. Mientras en una de las memorias se va guardando la imagen que capturamos de la entrada de vídeo compuesto, se lee de la otra memoria para procesar la imagen anterior. Los bloques de memoria utilizados en la versión antigua del algoritmo de *Vista Aumentada*, se corresponden con los de la memoria temporal utilizada. En esta memoria temporal se guardan $[2 \times (480 \times 670)]$ píxeles y cada píxel es de 16 bits, es decir, un total de 9 bloques de memoria (el décimo lo requieren los controladores E/S de la placa de prototipado RC100).

En la versión optimizada utilizamos 11 bloques de memoria; en este caso la memoria temporal utilizada ocupa 3 bloques para almacenar las dos imágenes capturadas de la entrada de vídeo compuesto y transformadas a monocromo antes guardarlas en la SRAM ($[2 \times (480 \times 670)]$ píxeles con 8 bits por píxel), el resto de

bloques de memoria (salvo el utilizado para las E/S de la placa RC100) se emplean para almacenar las tres imágenes resultantes del procesamiento con “Sobel”, la binarización y posterior reducción de tamaño ($\times 8$) que necesitaremos para implementar el detector de movimiento. Puesto que solo disponemos de un total de 14 bloques de memoria, si no hubieramos pasado a trabajar con imágenes monocromo no tendríamos de la memoria suficiente para guardar las tres imágenes que necesitamos para nuestro detector de movimiento.

7.6.2. Detección de direcciones de movimiento

Realizadas estas simplificaciones, el algoritmo de detección de movimiento sería viable en la RC100 de celoxica. Este algoritmo consiste en seleccionar ventanas de tamaño $V \times V$ de la primera imagen de bordes binarizada y buscar la más similar en la segunda imagen de bordes binarizada, realizando desplazamientos de un píxel en todas las direcciones posibles, hasta un máximo en el desplazamiento de D píxeles. La imagen más similar será la que al restarlas genere el menor número de píxeles “diferentes”. El resultado será una matriz que nos dará, por píxel, el desplazamiento en el eje X e Y que produce el menor valor en la suma de los píxeles resultantes de la diferencia entre imágenes. Esto queda reflejado en la ecuación (7.1), donde D es el desplazamiento introducido en la segunda imagen, V el tamaño de la ventana, (X_{i1}, Y_{j1}) los píxeles de la primera imagen y (X_{i2}, Y_{j2}) los píxeles de la segunda imagen:

$$MD(P(X_i, Y_j), Q(X_i, Y_j)) = \min_{P=-D}^{P=D} \left(\min_{Q=-D}^{Q=D} \left(\sum_{K=-V}^{K=V} \sum_{L=-V}^{L=V} |(X_{i1+K}, Y_{j1+L}) - (X_{i2+K+P}, Y_{j2+L+Q})| \right) \right) \quad (7.1)$$

con (i,j) variando de $(0,0)$ al tamaño de la imagen $(480,670)$.

La MD será una matriz con el valor de los desplazamientos P y Q (píxeles), que hacen que la suma reflejada en la ecuación (7.1) sea mínima. Estos valores de P y Q se determinan el módulo y la dirección, del movimiento de cada píxel de la imagen.

En la implementación del algoritmo sólo nos interesa la dirección de movimiento ($\arctan(Q/P)$).

Para reducir el coste computacional se selecciona:

1. Ventana de 3×3 ($V = 3$).
2. Supongo movimientos máximos de 5 píxeles ($D = 5$).
3. Se desprecian los píxeles cuya ventana contenga menos de 3 píxeles blancos (Filtro).

La justificación de estas condiciones es:

1. Puesto que nuestro algoritmo procesa 25 imágenes por segundo, y se ha introducido una reducción en el tamaño de la imagen de $\times 8$, suponemos que

- los desplazamientos de los objetos en movimiento entre dos imágenes consecutivas no será superior a 5 píxeles. Con lo que la correlación se realizará con desplazamientos máximos de 5 píxeles. Lo que supone limitarnos a movimientos menores que 5×8 píxeles en el tamaño original de la imagen, lo que resulta razonable.
2. Seleccionando un tamaño de la ventana pequeño reducimos el coste computacional. Si reducimos demasiado este tamaño se pueden presentar problemas de ambigüedad en la detección del máximo. Puesto que previamente hemos realizado una reducción del tamaño de la imagen, una ventana de 3×3 resulta adecuada para los requerimientos del sistema.
 3. Por último, para reducir el coste computacional, filtramos las máscaras, antes de aplicar el algoritmo de detección de movimiento, procesando sólo los píxeles centrales, de ventanas de 3×3 , que contengan un número de píxeles significativo (más de 3 píxeles) en esta ventana. Estas zonas con píxeles significativos se determinan sobre la imagen diferencia de dos imágenes consecutivas (sólo píxeles en movimiento). Esta simplificación la realizamos basándonos en que los píxeles aislados pueden considerarse ruido (no son un objeto en movimiento) y no es necesario procesarlos. Además este tipo de artefactos introducirían muchas estimaciones erróneas.

En la Figura 7.3 se muestra un esquema del algoritmo de detección de movimiento.

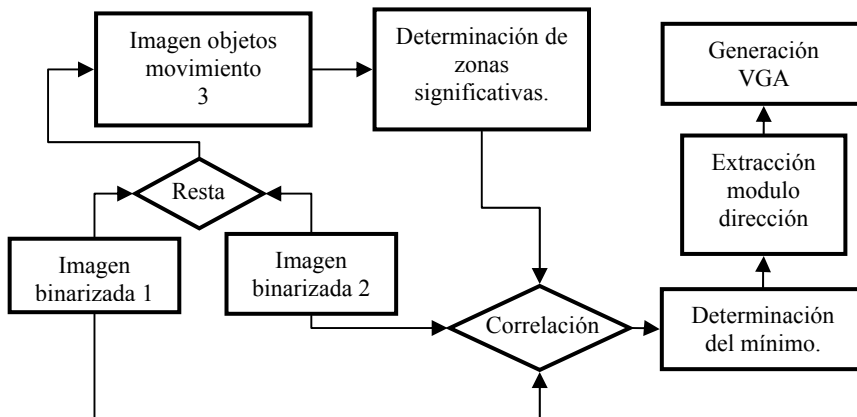


Figura 7.3.- Esquema del algoritmo de detección de movimiento.

Puesto que los únicos objetos en movimiento que nos interesan son los que suponen un riesgo para la integridad del usuario del SERBA, sólo se mostrarán de un rojo intenso los bordes de objetos que se muevan hacia el sujeto, mostrando el resto de bordes con un rojo más opaco. Para mostrar solo los objetos que suponen un riesgo para el usuario se ha dividido la imagen en cuatro zonas, separadas por dos ejes ortogonales con origen en el centro de la imagen.

En cada una de estas zonas se mostrarán solo los bordes de objetos en movimiento cuya dirección de movimiento sea hacia el centro de la imagen con un margen de 90° .

En la Figura 7.4 se muestran las direcciones seleccionadas para cada una de las zonas. Por ejemplo, en la zona 1 solo se mostrarán de un rojo más intenso los objetos que se muevan con una dirección entre 0° y -90° , en la zona 2 los que se muevan con una dirección entre 180° y -90° , en la zona 3 entre 90° y 0° , y en la zona 4 entre 90° y 180° .

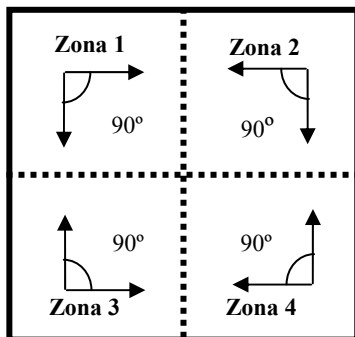


Figura 7.4.- Esquema del rango de direcciones de movimiento seleccionadas para mostrar al sujeto.

7.7. Conclusiones

En este capítulo se han descrito varias modificaciones que creemos interesantes para la plataforma SERBA que se ha desarrollado. Algunas de estas modificaciones han sido sugeridas por los resultados de la evaluación y otras mejoras añaden funcionalidades potencialmente interesantes. En este capítulo hemos descrito su implementación y las simplificaciones de algoritmos conocidos que han sido necesarias en algunos casos debido a la plataforma de bajo coste en la que se basa SERBA.

CAPÍTULO 8

Conclusiones

8.1. Introducción.

En este apartado se va a describir el marco de investigación, la producción científica generada en esta Tesis, las aportaciones principales, las líneas futuras y las conclusiones del trabajo realizado.

Este trabajo se ha centrado en la implementación y evaluación de ayudas para pacientes con baja visión. Se han utilizado distintos tipos de tecnologías: hardware reconfigurable, visores portátiles (HMDs: Head Mounted Displays), cámaras de bajo coste, etc.

Por lo tanto el desarrollo de este tipo de ayudas basadas en dispositivos ópticos y tecnología electrónica (ayudas opto-electrónicas) surge de la convergencia de diversas tecnologías. La integración de estos dispositivos es una tarea de desarrollo necesaria que forma parte del proceso de investigación de este trabajo. En algunos casos hemos partido de material desarrollado por otros científicos, en el marco del proyecto de investigación en el que se ha centrado el trabajo que se presenta en esta memoria. El desarrollo de ayudas opto-electrónicas exige ciclos especificación-implementación y evaluación. Este trabajo ha participado en las distintas etapas de esos ciclos de desarrollo, si bien la mayor contribución se ha centrado en las tareas de evaluación de dichas ayudas. La evaluación de estas ayudas para baja visión no se reduce a comprobar ciertas especificaciones iniciales. Se trata de un problema complejo por los siguientes motivos:

- Las patologías y el grado de afectación es muy distinto en cada paciente.
- La discapacidad visual evoluciona con la patología.
- No es posible evaluar este tipo de ayudas sin la participación activa de pacientes.
- Existe una componente subjetiva de aceptación o rechazo hacia estos dispositivos.

Todos estos factores hacen que sea necesaria toda una metodología científica para evaluar el tipo de ayudas a pacientes de baja visión que constituye la mayor contribución del trabajo descrito en esta memoria. La metodología científica que hemos aplicado es la siguiente:

- Especificación del avance que constituye la ayuda con respecto a otras alternativas existentes.
- Especificación de la aportación que la ayuda constituye para el paciente. Características concretas de la discapacidad que la ayuda trata de paliar.
- Especificación de pruebas y medidas para la evaluación de la calidad de la ayuda.
- Desarrollo de entornos controlados (iluminación, tareas, etc) para la realización de las pruebas.
- Realización de experimentos con pacientes. Extracción de datos de campo.
- Integración de resultados de “diversos” pacientes.
- Extracción de conclusiones.

Por ello el trabajo ha comenzado con el estudio de las patologías que sufren los pacientes de baja visión y las discapacidades visuales que provocan. Después hemos estudiado las ayudas existentes en el mercado y las tecnologías emergentes (como el

procesamiento de vídeo en tiempo real y los visores retinianos) que se podían integrar para el desarrollo de nuevas ayudas optoelectrónicas. Tras este estudio inicial hemos definido una serie de ayudas posibles:

- Simulador de biópticos, para sujetos con diversas deficiencias en su agudeza visual, su campo visual y su sensibilidad al contraste.
- Zoom digital para pacientes con poca agudeza visual (por ejemplo cataratas) y para pacientes con visión periférica (por ejemplo pacientes con escotoma central o degeneración de la fovea).
- Visión aumentada para pacientes con visión túnel (por ejemplo aquellos que padecen retinosis pigmentaria).
- Realce de contraste para pacientes con pérdida de sensibilidad al contraste (por ejemplo con cataratas).

Nos hemos centrado en los tres primeros tipos de procesamiento digital (simulador de conducción, *zoom* y visión aumentada). La evaluación de este tipo de ayudas es compleja porque son muchos los factores que pueden influir en una prueba experimental y cada paciente es distinto. Por ello hemos desarrollado diversos test de valoración y hemos realizado mediciones objetivas de características visuales:

- Agudeza visual.
- Campo visual en pacientes de visión túnel.
- Sensibilidad al contraste en pacientes con visión túnel.
- Test de dificultad (subjetiva) apreciada en la realización de las pruebas de evaluación del sistema de ayuda visual.
- Test de valoración del sistema de ayuda visual.
- Test VFQ25, para conocer la calidad de vida de los sujetos con patologías visuales, que participaron en el estudio.

La medición de estas características de forma fiable hace necesaria la utilización de material diverso y un entorno controlado: un cañón de proyección, un banco de pruebas de localización de objetivos, un pasillo de obstáculos, etc.

Finalmente, aparte de medir esas características concretas, hemos definido una serie de pruebas funcionales en las que el objetivo es determinar la utilidad de las ayudas en tareas cotidianas que los pacientes afrontarán cada día. Para ello hemos utilizado una sala de pruebas de localización de objetivos marcados, un pasillo con obstáculos, etc.

8.2. Marco de investigación

El presente trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto de investigación (Instituto de Salud Carlos III, Ministerio de Sanidad - FIS - PI02829) en el Departamento de Física de la Universidad de Murcia y con la colaboración tanto del Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada, como del Dpto. de Oftalmología, Optometría, Otorronología y Anatomía

Patológica de la Universidad de Murcia. El carácter interdisciplinar del trabajo se ha podido realizar gracias a la colaboración y contribución de distintos científicos. Aparte de los directores del trabajo (Dr. Fernando Vargas Martín y Dr. Eduardo Ros Vidal), se ha contado con la participación activa con especialistas de desarrollo de circuitos de procesamiento de vídeo en tiempo real (Dr. Javier Díaz Alonso y Dra. Sonia Mota Fernández) y especialistas de Optometría (Dra. Paloma Sobrado).

La financiación del trabajo procede fundamentalmente del Proyecto de investigación (FIS- PI02829) *“Desarrollo de ayudas optoelectrónicas para la rehabilitación visual en la restricción severa del campo visual periférico: Implementación de prototipos y evaluación en pacientes”* (I.P. Dr. F. Vargas Martín) y del proyecto Fundaluce, (Fundación de Lucha Contra la Ceguera) *“Desarrollo de ayudas optoelectrónicas para la rehabilitación visual de la restricción severa del campo visual periférico: implementación de prototipos y evaluación en pacientes”* de dos años de duración, desde marzo de 2003 (I.P. Dr. F. Vargas Martín).

8.3. Producción científica y diseminación de resultados

Como se ha descrito en la memoria, el trabajo es inherentemente multidisciplinar y con una fuerte componente de investigación aplicada. Por ello, aunque la diseminación de resultados ha sido fundamentalmente en marcos científicos (conferencias especializadas), también se ha contactado con empresas y fundaciones para su posible explotación.

Las principales publicaciones científicas relacionadas con el trabajo son las siguientes:

8.3.1. Conferencias internacionales:

Autores: F.Vargas-Martin, M.Pelaez-Coca, P.Sobrado-Calvo.

Título: “Visual Impact of a Reconfigurable Low Vision Aid Based on Visual Multiplexing”

Tipo de participación: Poster

Congreso: ARVO 2007

Lugar de celebración: Fort Lauderdale, Florida

Año: 2007

Autores: E. Ros, S. Mota, J. Diaz, M.D. Pelaez-Coca, F. Vargas-Martin.

Título: “Real time image processing on a portable aid device for low vision patients”

Tipo de participación: Poster

Congreso: ARC2006

Lugar de celebración: Delft, The Netherlands

Año: 2006

Autores: F. Vargas-Martin, M.D. Pelaez-Coca, P. Sobrado-Calvo.

Título: “Evaluación de ayuda visual optoelectrónica para visión túnel”

Tipo de participación: Oral

Congreso: 19 Congreso Internacional, optometría, contactología y óptica oftálmica.

Lugar de celebración: Madrid, España

Año: Marzo 2006

Autores: F. Vargas-Martin, M.D. Pelaez-Coca, E. Ros, S. Mota., J. Diaz.

Título: “A general real-time video processing unit for low vision”

Tipo de participación: POSTER

Congreso: Vision 2005

Lugar de celebración: Londres, Inglaterra

Año: Abril 2005

Autores: F. Vargas-Martin, M.D. Pelaez-Coca, M. Flores

Título: “Biopic Simulation In Virtual Video Applications”

Tipo de participación: ORAL

Congreso: International BiOptic Driving Conference

Lugar de celebración: Londres, Inglaterra

Año: 2004

Autores: F. Vargas-Martin, M.D. Pelaez-Coca, E. Ros, J. Diaz, S. Mota.

Título: “Augmented view visual aid based on reconfigurable logic for peripheral vision loss”

Tipo de participación: ORAL

Congreso: Conference and Workshop on Assistive Technologies for Vision and Hearing Impairment (CVHI 2004)

Publicación: PROCCEEDING (CD)

Lugar de celebración: Granada, España.

Año: 2004

Autores: F. Vargas-Martin, M.D. Pelaez-Coca, E. Ros, J. Diaz, S. Mota.
Título: “Video Processing Based on Reconfigurable Logic for Low Vision Aids”
Tipo de participación: POSTER
Congreso: II EOS TOPICAL MEETING ON PHYSIOLOGICAL OPTICS
(EOS 2004)
Publicación: abstract program
Lugar de celebración: Granada, España
Año: 2004

Autores: F. Vargas-Martin, M.D. Pelaez-Coca, E. Ros, J. Diaz, S. Mota.
Título: “Optoelectronic visual aid based on reconfigurable logic for severe peripheral vision loss rehabilitation”
Tipo de participación: POSTER
Congreso: EUROPEAN ASSOCIATION FOR VISION AND EYE RESEARCH
(EVER 2004)
Publicación: CONFERENCE PROGRAM
Lugar de celebración: Vilamoura, Portugal
Año: 2004

8.3.2. Publicaciones con índice de impacto (SCI):

E. Ros, J. Diaz, S. Mota, F. Vargas-Martin, and M.D. Pelaez-Coca, (2006). "Real time image processing on a portable aid device for low vision patients". in Reconfigurable Computing: Architectures and Applications Lecture Notes in Computer Science (o LNCS). vol. 3985. pp. 158-163.
ISSN: 0302-9743

F. Vargas-Martin, M.D. Pelaez-Coca, E. Ros, J. Diaz, S. Mota. (2005) "*A generic real-time video processing unit for low vision*". International Congress Series, Volume 1282, Pages 1075-1079.

F. Vargas-Martin, M.D. Pelaez-Coca, E. Ros, J. Diaz, S. Mota. (2004) "Optoelectronic visual aid based on reconfigurable logic for severe peripheral vision loss rehabilitation". Ophthalmic Research. Vol 36, S1, 60. Páginas: 2. ISSN: 0030-3747

Además se ha contactado con distintas empresas y fundaciones para su potencial explotación futura.

8.4. Aportaciones principales

Las principales aportaciones de este trabajo son las siguientes:

- Desarrollo de un simulador de conducción. Este simulador permite realizar ampliaciones de zonas de una imagen, introducir deformaciones en estas

ampliaciones o simular un telescopio invertido. A todos estos procesamientos se les puede introducir un desplazamiento respecto del eje de visión del sujeto (simulvisión). Con este sistema podemos determinar qué bióptico es el más adecuado para cada sujeto o realizar entrenamientos para la adaptación a la utilización de biópticos como ayudas visuales.

- Evaluación de la ganancia en agudeza visual del sujeto utilizando *zoom* digital de distinto tipo (*replicación de píxeles*, *interpolación bilineal*, *interpolación direccional*). La plataforma SERBA configurada como dispositivo de *zoom* digital aumenta la agudeza visual de forma lineal conforme aumenta el *zoom*. Este aumento lineal se mantiene hasta que las limitaciones impuestas por la resolución de la imagen de entrada a la FPGA causa una saturación de la agudeza visual. Para una resolución, de los test ETDRS, de 5×8 píxeles en la línea de 20/20 se obtiene una agudeza máxima de 0 logMar.
- Evaluación de la ganancia en campo visual utilizando visión aumentada. Superponiendo los bordes de un campo visual más amplio que el que dispone el paciente. Para ello hemos realizado pruebas de localización de objetos fuera del campo visual residual del paciente. La plataforma SERBA puede ampliar el campo visual en un 400% en pacientes de baja visión dependiendo de su grado de afectación.
- Se demuestra que el SERBA, con el visor retiniano NOMAD ND2000, no deteriora el resto visual de los usuarios del sistema. Los sujetos conservan su agudeza visual y su sensibilidad al contraste inalterada.
- Evaluación de la capacidad de movimiento a lo largo de un pasillo con obstáculos utilizando SERBA con visión aumentada. La ayuda contribuye a reducir el número de tropiezos de forma significativa.
- Evaluación de la capacidad de localización eficiente de objetos en un entorno natural (una oficina). SERBA, configurado como sistema de visión aumentada mejora esta capacidad de forma significativa.
- Evaluación subjetiva sobre las pruebas realizadas con el SERBA, mediante el análisis de test realizados a los sujetos con Retinosis Pigmentaria que participaron en el estudio.
- Desarrollo de modificaciones en SERBA tras las distintas pruebas de evaluación. Se ha realizado el diseño o modificación de estos circuitos, la estimación de su coste computacional y sus prestaciones. Las funcionalidades que se han desarrollado son las siguientes:
 - Aumento del rango dinámico del umbral de bordes.
 - Selección por el usuario del porcentaje de bordes que desea que se muestre.
 - Extracción de bordes marcados para SERBA con visión aumentada. La extracción de bordes de un color específicos para entornos estructurados, como el hogar.
 - Procesamiento de primitivas de movimiento para la detección de objetos de interés para el SERBA configurado para visión aumentada.

8.5. Trabajo futuro

Es interesante resaltar que el dispositivo SERBA ha tenido éxito en los foros en los que lo hemos presentado (conferencias y fundaciones especializadas en patologías visuales). Ello motiva el avance en esta línea de investigación. Aunque el proceso de evaluación riguroso es muy trabajoso, creemos que es interesante la implementación de nuevas mejoras en el sistema. Al tratarse de un dispositivo basado en hardware reconfigurable podemos modificar la plataforma con bastante versatilidad. Como trabajo futuro planeamos evaluar la utilidad del procesamiento de movimiento, nuevas formas de control de las modalidades visuales que genera SERBA (para facilitar el cambio de atención entre el esquema de Vista Aumentada), evaluar la utilidad del procesamiento de color y cómo se puede estructurar un entorno para sacar mayor partido en este campo, evaluar el interés del procesamiento de la escena en 3D (por ejemplo utilizando visión binocular), etc.

8.6. Conclusiones

Por lo tanto, las principales conclusiones de este trabajo son las siguientes:

- Se ha desarrollado un simulador de ayudas visuales que permitirá a las personas con baja visión entrenarse en el empleo de ayudas visuales, y determinar que ayuda se adapta mejor a sus necesidades.
- La visión aumentada (bordes superpuestos con la imagen original) utilizando visores transparentes es de utilidad para aumentar el campo visual de pacientes con visión túnel y facilitar su movilidad, sin deteriorar su resto visual.
- El *zoom* digital mejora significativamente la agudeza visual en pacientes con patologías como degeneración macular, cataratas, etc. En cuanto a su utilidad para mejorar la agudeza visual no se ha encontrado diferencia entre los distintos tipos de *zoom* implementados: *zoom replicación de píxeles*, *zoom bilineal*, *zoom direccional*.
- La extracción de bordes de colores específicos se ha desarrollado con un circuito sencillo de bajo coste computacional y que se puede empotrar en un dispositivo de bajo coste. Esta aplicación tiene un gran potencial en entornos estructurables, como el hogar.
- El procesamiento de características de movimiento básicas (comparación de bloques de la imagen) requiere de recursos computacionales moderados y tiene un gran potencial para la detección de objetos en movimiento (aunque esta modalidad está pendiente de ser evaluada).

Bibliografía

- [1] "http://retina.umh.es/Webvision/light_dark.html," (Última consulta Mayo 2007).
- [2] D. D. Koch and J. F. Liu, "Survey of the Clinical Use of Glare and Contrast Sensitivity Testing," *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, vol. 16, pp. 707-711, Nov 1990.
- [3] J. P. Nordmann, F. Topouzis, P. Denis, L. Laroche, and H. Saraux, "3-Year Follow-up of Glaucoma Patients Using Contrast Sensitivity," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 33, pp. 1385-1385, Mar 1992.
- [4] D. O. Harrington and M. V. Drake, *The visual fields: Text and atlas of clinical perimetry*, 6th ed. St. Louis: The C.V. Mosby Company., 1990.
- [5] C. Dickinson, *Low vision: principles and practice*. Oxford; Boston: Butterworth Heinemann, 1998.
- [6] S. West and A. Sommer, "Prevention of blindness and priorities for the future," *Bulletin of the World Health Organization*, vol. 79, pp. 244-248, 2001.
- [7] R. A. Pagon, "Retinitis Pigmentosa," *Survey of Ophthalmology*, vol. 33, pp. 137-177, Nov-Dec 1988.
- [8] E. L. Berson, "Retinitis Pigmentosa and Allied Diseases," in *Albert DM, Jakobiec FA, eds. Principles and Practice of Ophthalmology*, 2nd ed Philadelphia: W.B. Saunders Co., 2000, pp. 2262-90.
- [9] A. L. Coleman, "Glaucoma," *Lancet*, vol. 354, pp. 1803-1810, Nov 1999.
- [10] C. Capeáns Tomé, M. Blanco Teijeiro, A. Piñeiro Ces, and M. Sánchez Salorio, "Retinosis pigmentaria y enfermedades asociadas," *Medicine*, vol. 7(102), pp. 4763-4769, 1998.
- [11] M. Jay, "On the Heredity of Retinitis Pigmentosa," *British Journal of Ophthalmology*, vol. 66, pp. 405-416, 1982.
- [12] J. R. Heckenlively, S. L. Yoser, L. H. Friedman, and J. J. Oversier, "Clinical Findings and Common Symptoms in Retinitis Pigmentosa - Reply," *American Journal of Ophthalmology*, vol. 106, pp. 508-508, Oct 1988.
- [13] J. Gass, "Stereoscopic Atlas of Macular Diseases. Diagnosis and treatment.," *St. Louis: Mosby-Year-Book, Inc.*, pp. 303-436, 1997.
- [14] R. Weleber, "Retinitis Pigmentosa and allied disorders. En: Ryan SJ, ed. *Retina*.(2ª ed.)." *St. Louis: Mosby-Year Book, Inc.*, pp. 335-466, 1994.

-
- [15] J. J. Kansky, *Oftalmología Clínica*, 5ª ed.: Harcourt Brace-Elsevier, 2004.
- [16] R. Klein, B. E. K. Klein, and K. L. P. Linton, "Prevalence of Age-Related Maculopathy - the Beaver Dam Eye Study," *Ophthalmology*, vol. 99, pp. 933-943, Jun 1992.
- [17] N. M. Bressler, S. B. Bressler, S. K. West, S. L. Fine, and H. R. Taylor, "The Grading and Prevalence of Macular Degeneration in Chesapeake Bay Watermen," *Archives of Ophthalmology*, vol. 107, pp. 847-852, Jun 1989.
- [18] L. Arias Barquet, "Epidemiología, etiopatogenia y factores de riesgo de la DMAE," *Jano*, vol. 64, pp. 30-34, 2003.
- [19] F. L. Ferris, S. L. Fine, and L. Hyman, "Age-Related Macular Degeneration and Blindness Due to Neovascular Maculopathy," *Archives of Ophthalmology*, vol. 102, pp. 1640-1642, 1984.
- [20] "Macular Photocoagulation Study Group. Risk factors for choroidal neovascularization in the second eye of patients with juxtafoveal or subfoveal choroidal neo-vascularization secondary to age-related macular degeneration.," *Arch Ophthalmol*, vol. 115, pp. 741-747, 1997.
- [21] W. W. Hoelt, W. Feinbloom, R. Brilliant, R. Gordon, C. Hollander, J. Newman, E. Novak, B. Rosenthal, and E. Voss, "Amorphic Lenses - a Mobility Aid for Patients with Retinitis Pigmentosa," *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, vol. 62, pp. 142-148, 1985.
- [22] J. M. D. Kozlowski, M. A. Mainster, and M. P. Avila, "Negative-Lens Field Expander for Patients with Concentric Field Constriction," *Archives of Ophthalmology*, vol. 102, pp. 1182-1184, 1984.
- [23] J. M. Cohen, "An overview of enhancement techniques for peripheral field loss," *J Am Optom Assoc*, vol. 64, pp. 60-70, 1993.
- [24] E. Peli, "Augmented Vision for Central Scotoma and Peripheral Field Loss. ," in *Vision Rehabilitation: Assessment, Intervention and Outcomes* Lisse, The Netherlands: C. Stuen et al editors, Swets & Zeitlinger: 70-74, 1999.
- [25] E. L. Berson, L. Mehaffey, and A. R. Rabin, "Night-Vision Pocketscope for Patients with Retinitis Pigmentosa - Design Considerations," *Archives of Ophthalmology*, vol. 91, pp. 495-500, 1974.
- [26] D. L. Morrisette, M. F. Marmor, and G. L. Goodrich, "An Evaluation of Night-Vision Mobility Aids," *Ophthalmology*, vol. 90, pp. 1226-1230, 1983.

- [27] J. P. Szlyk, G. A. Fishman, K. Severing, K. R. Alexander, and M. Viana, "Evaluation of Driving Performance in Patients with Juvenile Macular Dystrophies," *Archives of Ophthalmology*, vol. 111, pp. 207-212, Feb 1993.
- [28] J. P. Szlyk, C. E. Pizzimenti, G. A. Fishman, R. Kelsch, L. C. Wetzel, S. Kagan, and K. Ho, "A Comparison of Driving in Older Subjects with and without Age-Related Macular Degeneration," *Archives of Ophthalmology*, vol. 113, pp. 1033-1040, Aug 1995.
- [29] L. W. McCloskey, T. D. Koepsell, M. E. Wolf, and D. M. Buchner, "Motor-Vehicle Collision Injuries and Sensory Impairments of Older Drivers," *Age and Ageing*, vol. 23, pp. 267-273, Jul 1994.
- [30] G. A. Fishman, R. J. Anderson, L. Stinson, and A. Haque, "Driving Performance of Retinitis Pigmentosa Patients," *British Journal of Ophthalmology*, vol. 65, pp. 122-126, 1981.
- [31] J. P. Szlyk, K. R. Alexander, K. Severing, and G. A. Fishman, "Assessment of Driving Performance in Patients with Retinitis-Pigmentosa," *Archives of Ophthalmology*, vol. 110, pp. 1709-1713, Dec 1992.
- [32] J. P. Szlyk, G. A. Fishman, K. R. Alexander, B. I. Revelins, D. J. Derlacki, and R. J. Anderson, "Relationship between difficulty in performing daily activities and clinical measures of visual function in patients with retinitis pigmentosa," *Archives of Ophthalmology*, vol. 115, pp. 53-59, Jan 1997.
- [33] K. K. Ball, B. L. Beard, D. L. Roenker, R. L. Miller, and D. S. Griggs, "Age and Visual-Search - Expanding the Useful Field of View," *Journal of the Optical Society of America a-Optics Image Science and Vision*, vol. 5, pp. 2210-2219, Dec 1988.
- [34] R. Sekuler and K. Ball, "Visual Localization - Age and Practice," *Journal of the Optical Society of America a-Optics Image Science and Vision*, vol. 3, pp. 864-867, Jun 1986.
- [35] K. Ball and C. Owsley, "The useful field of view test: a new technique for evaluating age-related declines in visual function," *Journal of the American Optometry Association*, vol. 64, pp. 71-79, 1993.
- [36] K. Ball, "Enhancing mobility in the elderly: Attentional interventions for driving," in *Assessment and intervention issues across the life span*, S. M. C. Dollinger and L. F. DiLalla, Eds. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1997, pp. 267-292.

- [37] E. Ros, J. Diaz, S. Mota, and F. Vargas-Martin, "Procesamiento de imágenes en tiempo real para ayuda a pacientes con baja visión," in *CASEIB 2003*, 2003.
- [38] E. Ros, J. Diaz, S. Mota, F. Vargas-Martin, and M. D. Pelaez-Coca, "Real time image processing on a portable aid device for low vision patients," in *Reconfigurable Computing: Architectures and Applications*. vol. 3985, 2006, pp. 158-163.
- [39] F. Vargas-Martin, M. Pelaez-Coca, E. Ros, J. Diaz, and S. Mota, "Optoelectronic visual aid based on reconfigurable logic for severe peripheral vision loss rehabilitation," *Ophthalm. Res*, vol. 36, p. 60, 2004.
- [40] F. Vargas-Martin, M. D. Pelaez-Coca, E. Ros, J. Diaz, and S. Mota, "A generic real-time video processing unit for low vision," *International Congress Series*, vol. 1282, pp. 1075-1079, 2005.
- [41] M. Bowen, *Handel-C Language Reference Manual*, 2.1 ed., 1998.
- [42] Celoxica, *Handel-C Language Reference Manual v.3.1.*, 2002.
- [43] "<http://www.celoxica.com/>," Celoxica Ltd. Oxfordshire, Reino Unido (Última consulta Enero 2007).
- [44] "<http://www.xilinx.com/>," Xilinx, Inc. San Jose, USA (Última consulta Enero 2007).
- [45] E. Peli, "Vision multiplexing: an engineering approach to vision rehabilitation device development," *Optometry and Vision Science*, vol. 78, pp. 304-315, May 2001.
- [46] E. E. Faye, *Clinical Low Vision*. Boston. : Little, Brown and Company., 1976.
- [47] J. Loviekitchin, J. Mainstone, J. Robinson, and B. Brown, "What Areas of the Visual-Field Are Important for Mobility in Low Vision Patients," *Clinical Vision Sciences*, vol. 5, pp. 249-263, 1990.
- [48] D. G. Pelli, "The visual requirements of mobility.," in *Low vision: Principles and Application.*, G. C. Woo., Ed. New York: Springer-Verlag, 1987.
- [49] G. S. Rubin, K. Bandeen-Roche, G. H. Huang, B. Munoz, O. D. Schein, L. P. Fried, and S. K. West, "The association of multiple visual impairments with self-reported visual disability: SEE project," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 42, pp. 64-72, Jan 2001.

- [50] J. A. Marron and I. L. Bailey, "Visual Factors and Orientation-Mobility Performance," *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, vol. 59, pp. 413-426, 1982.
- [51] R. G. Long, J. J. Rieser, and E. W. Hill, "Mobility in Individuals with Moderate Visual Impairments," *Journal of Visual Impairment & Blindness*, vol. 84, pp. 111-118, Mar 1990.
- [52] J. P. Szlyk, G. A. Fishman, S. Grover, B. I. Revelins, and D. J. Derlacki, "Difficulty in performing everyday activities in patients with juvenile macular dystrophies: comparison with patients with retinitis pigmentosa," *British Journal of Ophthalmology*, vol. 82, pp. 1372-1376, Dec 1998.
- [53] K. A. Turano, D. R. Geruschat, J. W. Stahl, and R. W. Massof, "Perceived visual ability for independent mobility in persons with retinitis pigmentosa," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 40, pp. 865-877, Apr 1999.
- [54] P. Nelson, P. Aspinall, and C. O'Brien, "Patients' perception of visual impairment in glaucoma: a pilot study," *British Journal of Ophthalmology*, vol. 83, pp. 546-552, May 1999.
- [55] A. R. Bowers, G. Luo, N. M. Rensing, and E. Peli, "Evaluation of a prototype Minified Augmented-View device for patients with impaired night vision," *Ophthalmic and Physiological Optics*, vol. 24, pp. 296-312, Jul 2004.
- [56] S. Haymes, D. Guest, A. Heyes, and A. Johnston, "Mobility of people with retinitis pigmentosa as a function of vision and psychological variables," *Optometry and Vision Science*, vol. 73, pp. 621-637, Oct 1996.
- [57] K. T. Zebehazy, G. J. Zimmerman, A. R. Bowers, G. Luo, and E. Peli, "Establishing mobility measures to assess the effectiveness of night vision devices: Results of a pilot study," *Journal of Visual Impairment & Blindness*, vol. 99, pp. 663-670, Oct 2005.
- [58] U. H. M. Spandau, S. Wechsler, and A. Blankenagel, "Testing night vision goggles in a dark outside environment," *Optometry and Vision Science*, vol. 79, pp. 39-45, Jan 2002.
- [59] G. L. Goodrich and R. Ludt, "Assessing visual detection ability for mobility in individuals with low vision," *Visual Impairment Research*, vol. 5(2), pp. 57-71, 2003.
- [60] D. T. Hartong, F. F. Jorritsma, J. J. Neve, B. J. M. Melis-Dankers, and A. C. Kooijman, "Improved mobility and independence of night-blind people using

- night-vision goggles," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 45, pp. 1725-1731, Jun 2004.
- [61] D. D. Clarkcarter, A. D. Heyes, and C. I. Howarth, "The Efficiency and Walking Speed of Visually-Impaired People," *Ergonomics*, vol. 29, pp. 779-789, Jun 1986.
- [62] G. P. Soong, J. E. Lovie-Kitchin, and B. Brown, "Does mobility performance of visually impaired adults improve immediately after orientation and mobility training?," *Optometry and Vision Science*, vol. 78, pp. 657-666, Sep 2001.
- [63] D. T. Hartong and A. C. Kooijman, "Night-vision goggles for night-blind subjects: subjective evaluation after 2 years of use," *Ophthalmic and Physiological Optics*, vol. 26, pp. 490-496, Sep 2006.
- [64] E. Peli, "Recognition performance and perceived quality of video enhanced for the visually impaired," *Ophthalmic and Physiological Optics*, vol. 25, pp. 543-555, Nov 2005.
- [65] E. Dugan, E. Peli, R. Goldstein, N. Gee, and F. Trachtenberg, "An enhanced video for adults with low vision: Impact on knowledge, attitudes, and use of assistive devices," *Gerontologist*, vol. 43, pp. 20-20, Oct 2003.
- [66] E. Peli, "Limitations of Image-Enhancement for the Visually-Impaired," *Optometry and Vision Science*, vol. 69, pp. 15-24, Jan 1992.
- [67] "www.isense.com." InterSense, Inc. Bedford, USA (Última consulta Enero 2007).
- [68] "www.i-glasses.com." I-O Display Systems. Sacramento, USA (Última consulta Enero 2007).
- [69] "<http://www.microvision.com>." Microvision, Inc. Redmond WA, USA (Última consulta Enero 2007).
- [70] M. von Waldkirch, P. Lukowicz, and G. Troster, "Defocusing simulations on a retinal scanning display for quasi accommodation-free viewing," *Optics Express*, vol. 11, pp. 3220-3233, Dec 2003.
- [71] M. von Waldkirch, P. Lukowicz, and G. Troster, "Multiple imaging technique for extending depth of focus in retinal displays," *Optics Express*, vol. 12, pp. 6350-6365, Dec 2004.
- [72] S. L. Turner, "Coupling Retinal Scanning Displays to the Human visual System: Visual System Response and Engineering Considerations.," in

- Department of Industrial Engineering* Washington: University of Washington, 2002, p. 287.
- [73] " www.rfconcepts.co.uk/cxd2463r.pdf ": Black-and-White CCD Camera System. (Última consulta Mayo 2007).
- [74] C. M. Mangione, P. P. Lee, J. Pitts, P. Gutierrez, S. Berry, and R. D. Hays, "Psychometric properties of the national eye institute visual function questionnaire (NEI-VFQ)," *Archives of Ophthalmology*, vol. 116, pp. 1496-1504, Nov 1998.
- [75] C. M. Mangione, S. Berry, K. Spritzer, N. K. Janz, R. Klein, C. Owsley, and P. P. Lee, "Identifying the content area for the 51-item National Eye Institute Visual Function Questionnaire - Results from focus groups with visually impaired persons," *Archives of Ophthalmology*, vol. 116, pp. 227-233, Feb 1998.
- [76] C. M. Mangione, P. P. Lee, P. R. Gutierrez, K. Spritzer, S. Berry, and R. D. Hays, "Development of the 25-item National Eye Institute Visual Function Questionnaire," *Archives of Ophthalmology*, vol. 119, pp. 1050-1058, Jul 2001.
- [77] A. T. Broman, B. Munoz, S. K. West, J. Rodriguez, R. Sanchez, R. Snyder, and R. Klein, "Psychometric properties of the 25-item NEI-VFQ in a Hispanic population: Proyecto VER," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 42, pp. 606-613, Mar 2001.
- [78] F. Vargas-Martin and E. Peli, "Eye movements of patients with tunnel vision while walking," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 47, pp. 5295-5302, Dec 2006.
- [79] C. I. Baker, E. Peli, N. Knouf, and N. G. Kanwisher, "Reorganization of visual processing in macular degeneration," *Journal of Neuroscience*, vol. 25, pp. 614-618, Jan 2005.
- [80] "Recommended standard procedures for the clinical measurement and specification of visual acuity. Report of working group 39. Committee on vision. Assembly of Behavioral and Social Sciences, National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, D.C.," *Adv Ophthalmol.*, vol. 41, pp. 103-148, 1980.
- [81] I. L. Bailey, "Low Vision Visual Acuity " in *Eskridge JB, Amos JF, Bartlett JD, eds. Clinical procedures in Optometry*. Philadelphia: Lippincott, 1991, pp. 754-761. Cap 80.

- [82] F. L. Ferris and I. Bailey, "Standardizing the measurement of visual acuity for clinical research studies - Guidelines from the eye care technology forum," *Ophthalmology*, vol. 103, pp. 181-182, Jan 1996.
- [83] I. L. Bailey and J. E. Lovie, "New Design Principles for Visual-Acuity Letter Charts," *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, vol. 53, pp. 740-745, 1976.
- [84] F. L. Ferris, A. Kassoff, G. H. Bresnick, and I. Bailey, "New Visual-Acuity Charts for Clinical Research," *American Journal of Ophthalmology*, vol. 94, pp. 91-96, 1982.
- [85] M. J. Moseley and A. R. Hill, "Contrast Sensitivity Testing in Clinical-Practice," *British Journal of Ophthalmology*, vol. 78, pp. 795-797, Oct 1994.
- [86] A. S. Lindblad and T. E. Clemons, "Responsiveness of the National Eye Institute Visual Function Questionnaire to progression to advanced age-related macular degeneration, vision loss, and lens opacity - AREDS report No. 14," *Archives of Ophthalmology*, vol. 123, pp. 1207-1214, Sep 2005.
- [87] M. S. Blumenkranz, N. M. Bressler, M. J. Potter, S. B. Bressler, J. M. Mones, P. Harvey, L. J. Singerman, E. S. Gragoudas, J. W. Miller, and U. Schmidt-Erfurth, "Photodynamic therapy of subfoveal choroidal neovascularization in age-related macular degeneration with verteporfin - Two-year results of 2 randomized clinical trials - TAP report 2," *Archives of Ophthalmology*, vol. 119, pp. 198-207, Feb 2001.
- [88] I. L. Bailey, M. A. Bullimore, T. W. Raasch, and H. R. Taylor, "Clinical Grading and the Effects of Scaling," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 32, pp. 422-432, Feb 1991.
- [89] "Desarrollo de ayudas optoelectrónicas para la rehabilitación visual de la restricción severa del campo visual periférico: implementación de prototipos y evaluación en pacientes," Organismo concede: Instituto Salud Carlos III, Ministerio de Sanidad - FIS - PI02829. Fecha inicio: 1/01/2003 Fecha fin: 31/11/2005. Investigador Principal: Fernando Vargas Martín
- [90] D. K. Kelleher, "Driving with Low Vision," *Journal of Visual Impairment & Blindness*, vol. 73, pp. 345-350, 1979.
- [91] J. P. Szlyk, W. Seiple, D. J. Laderman, R. Kelsch, J. Stelmack, and T. McMahon, "Measuring the effectiveness of bioptic telescopes for persons with central vision loss," *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 37, pp. 101-108, Jan-Feb 2000.

- [92] D. J. Laderman, J. P. Szlyk, R. Kelsch, and W. Seiple, "A curriculum for training patients with peripheral visual field loss to use bioptic amorphic lenses," *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 37, pp. 607-619, Sep-Oct 2000.
- [93] R. Gonzalez and R. Woods, *Digital Image Processing*: Addison Wesley, 1992.
- [94] S. Carrato and L. Tenze, "A high quality 2x image interpolator," *Ieee Signal Processing Letters*, vol. 7, pp. 132-134, Jun 2000.
- [95] G. Ramponi and S. Carrato, "Interpolation of the DC component of coded images using a rational filter," in *ICIP'97*, Santa Barbara, CA, 1997, pp. 1389-1392.
- [96] F. Vargas-Martin and E. Peli, "Augmented-view for restricted visual field: Multiple device implementations," *Optometry and Vision Science*, vol. 79, pp. 715-723, Nov 2002.
- [97] E. Peli, J. Kim, Y. Yitzhaky, R. B. Goldstein, and R. L. Woods, "Wideband enhancement of television images for people with visual impairments," *Journal of the Optical Society of America a-Optics Image Science and Vision*, vol. 21, pp. 937-950, Jun 2004.
- [98] "<http://www.psych.nyu.edu/pelli/software.html>," (Última visita Mayo 2007).
- [99] I. L. Bailey, L. H. Boyd, W. L. Boyd, and M. Clark, "Readability of Computer Display Print Enlarged for Low Vision," *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, vol. 64, pp. 678-685, Sep 1987.
- [100] L. Li, A. K. Nugent, and E. Peli, "Recognition of jagged (pixelated) letters in the periphery," *Visual Impairment Research* vol. 2(3), pp. 143-154, 2000.
- [101] A. K. Nugent, L. Li, and E. Peli, "Are jagged letters easier to recognized than smooth (anti-aliased) letters in the periphery?," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 41, pp. S437-S437, Mar 2000.
- [102] A. Black, J. E. Lovie-Kitchin, R. L. Woods, N. Arnold, J. Byrnes, and J. Murrish, "Mobility performance with retinitis pigmentosa," *Clinical and Experimental Optometry*, vol. 80, pp. 1-12, 1997.
- [103] S. Haymes, D. Guest, A. Heyes, and A. Johnston, "Comparison of Functional Mobility Performance with Clinical Vision Measures in Simulated Retinitis-Pigmentosa," *Optometry and Vision Science*, vol. 71, pp. 442-453, Jul 1994.

-
- [104] S. E. Hassan, J. E. Lovie-Kitchin, and R. L. Woods, "Vision and mobility performance of subjects with age-related macular degeneration," *Optometry and Vision Science*, vol. 79, pp. 697-707, Nov 2002.
- [105] G. Luo and E. Peli, "Kinematics of visual search by tunnel vision patients with augmented vision see-through HMD," in *SID 2004, Digest of Technical Papers, Society for Information Display 2004*. 1578-1581., 2004.
- [106] D. A. Rosser, S. N. Cousens, I. E. Murdoch, F. W. Fitzke, and D. A. H. Laidlaw, "How sensitive to clinical change are ETDRS logMAR visual acuity measurements?," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 44, pp. 3278-3281, Aug 2003.
- [107] K. Rohrschneider, U. Spandau, S. Wechsler, and A. Blankenagel, "Use of a new night vision enhancement device (DAVIS)," *Klinische Monatsblätter Fur Augenheilkunde*, vol. 217, pp. 88-93, Aug 2000.
- [108] R. J. Lythgoe, "The measurement of visual acuity.," *Med. Res. Coun. Spec. Rep. Ser. 173.*, 1932.
- [109] S. Shlaer, "The relation between visual acuity and illumination," *J. Gen. Physiol.*, vol. 21, pp. 165-188, 1937.
- [110] H. R. Blackwell, "Contrast Thresholds of the Human Eye," *Journal of the Optical Society of America*, vol. 36, pp. 624-643, 1946.
- [111] A. S. Patel, "Spatial Resolution by Human Visual System . Effect of Mean Retinal Illuminance," *Journal of the Optical Society of America*, vol. 56, pp. 689-&, 1966.
- [112] J. G. Vizmanos, I. de la Fuente, B. M. Matesanz, and J. A. Aparicio, "Influence of surround illumination on pupil size and constrast sensitivity," *Ophthalmic and Physiological Optics*, vol. 24, pp. 464-468, Sep 2004.

Apéndices

Apéndice A.-VFQ-25

Sección A: Función visual

En primer lugar, quiero leerle unas afirmaciones sobre su vista o sobre la sensación que Ud. tiene acerca de su vista. Responda teniendo en cuenta que lleva sus gafas o lentes de contacto, si es que las necesita, con un ojo o con los dos, según cómo vea Ud. mejor.

A.1. Actualmente, diría Ud. que su vista (corregida) es (si sólo ve por un ojo, se considerará la mejor situación (mono o binocular))

1. Completamente ciego
2. Muy mala
3. Mala
4. Regular
5. Buena
6. Excelente

A.2. ¿Con qué frecuencia se preocupa Ud. por su vista?:

1. Todo el tiempo
2. La mayor parte del tiempo
3. Parte del tiempo
4. Una pequeña parte del tiempo
5. Nunca

A.3. ¿Cuánto dolor o malestar diría Ud. que ha sentido en los ojos o alrededor de los ojos (por ejemplo, ardor, picazón o dolor)?:

1. Muy severo
2. Severo
3. Moderado
4. Un poco
5. Nada

Dificultad al realizar actividades

A.4. ¿Cuánta dificultad tiene Ud. para leer la letra regular de los periódicos?

1. Dejó de hacerlo por otras razones o no está interesado en hacer esto
2. Dejó de hacerlo a causa de su vista
3. Dificultad extrema
4. Dificultad moderada
5. Un poco de dificultad
6. Ninguna dificultad

A.5. ¿Cuánta dificultad tiene para hacer trabajos o pasatiempos (hobbies que requieran que Ud. vea bien de cerca, como cocinar, coser, arreglar cosas en la casa o usar herramientas?:

1. Dejó de hacerlo por otras razones o no está interesado en hacer esto
2. Dejó de hacerlo a causa de su vista
3. Dificultad extrema
4. Dificultad moderada
5. Un poco de dificultad
6. Ninguna dificultad

A.6. A causa de su vista, ¿cuánta dificultad tiene Ud. para encontrar algo que está en un estante/repisa lleno/a de cosas?:

1. Dejó de hacerlo por otras razones o no está interesado en hacer esto
2. Dejó de hacerlo a causa de su vista
3. Dificultad extrema
4. Dificultad moderada
5. Un poco de dificultad
6. Ninguna dificultad

A.7. A causa de su vista, ¿cuánta dificultad tiene Ud. para leer los nombres de las calles o los nombres de las tiendas?:

1. Dejó de hacerlo por otras razones o no está interesado en hacer esto
2. Dejó de hacerlo a causa de su vista
3. Dificultad extrema
4. Dificultad moderada
5. Un poco de dificultad

6. Ninguna dificultad

A.8. A causa de su vista, ¿cuánta dificultad tiene Ud. para bajar escalones, escaleras o el borde de la acera/banqueta cuando hay poca luz o es de noche?:

1. Dejó de hacerlo por otras razones o no está interesado en hacer esto
2. Dejó de hacerlo a causa de su vista
3. Dificultad extrema
4. Dificultad moderada
5. Un poco de dificultad
6. Ninguna dificultad

A.9. A causa de su vista, ¿cuánta dificultad tiene Ud. para notar objetos a los lados cuando va caminando?:

1. Dejó de hacerlo por otras razones o no está interesado en hacer esto
2. Dejó de hacerlo a causa de su vista
3. Dificultad extrema
4. Dificultad moderada
5. Un poco de dificultad
6. Ninguna dificultad

A.10. A causa de su vista, ¿cuánta dificultad tiene Ud. para ver cómo reacciona la gente cuando Ud. dice algo?:

1. Dejó de hacerlo por otras razones o no está interesado en hacer esto
2. Dejó de hacerlo a causa de su vista
3. Dificultad extrema
4. Dificultad moderada
5. Un poco de dificultad
6. Ninguna dificultad

A.11. A causa de su vista, ¿cuánta dificultad tiene Ud. para escoger y coordinar su propia ropa?:

1. Dejó de hacerlo por otras razones o no está interesado en hacer esto
2. Dejó de hacerlo a causa de su vista
3. Dificultad extrema
4. Dificultad moderada

- 5. Un poco de dificultad
- 6. Ninguna dificultad

A.12. A causa de su vista, ¿cuánta dificultad tiene Ud. para visitar a la gente en su casa, en fiestas o en restaurantes?:

- 1. Dejó de hacerlo por otras razones o no está interesado en hacer esto
- 2. Dejó de hacerlo a causa de su vista
- 3. Dificultad extrema
- 4. Dificultad moderada
- 5. Un poco de dificultad
- 6. Ninguna dificultad

A.13. A causa de su vista, ¿cuánta dificultad tiene Ud. para salir al cine, al teatro, o a ver eventos deportivos?:

- 1. Dejó de hacerlo por otras razones o no está interesado en hacer esto
- 2. Dejó de hacerlo a causa de su vista
- 3. Dificultad extrema
- 4. Dificultad moderada
- 5. Un poco de dificultad
- 6. Ninguna dificultad

A.14. Ahora me gustaría hablarle sobre conducir un coche. ¿Conduce Ud. un coche en la actualidad, al menos de vez en cuando?:

- A. Si
- B. No

A.14.a. ¿Es porque nunca ha conducido un coche o porque ha dejado de hacerlo?:

- A. Nunca he conducido
- B. Lo he dejado

A.14.b. Si ha conducido anteriormente: ¿dejó de conducir principalmente a consecuencia de su vista, principalmente por otras razones o por ambas cosas?:

- A. Principalmente por la vista
- B. Principalmente por otras razones
- C. Por ambas cosas

Si no conduce, pasar a la pregunta A15

A.14.c. Si conduce habitualmente, ¿Cuánta dificultad tiene Ud. para conducir durante el día por lugares conocidos?:

1. Dificultad extrema
2. Dificultad moderada
3. Un poco de dificultad
4. Ninguna dificultad

A.14.d. ¿Cuánta dificultad tiene Ud. para conducir un coche? Diría que tiene:

1. Dejó de hacerlo por otras razones o no está interesado en hacer esto
2. Dejó de hacerlo a causa de su vista
3. Dificultad extrema
4. Dificultad moderada
5. Un poco de dificultad
6. Ninguna dificultad

Preguntas sobre problemas de la vista

Las siguientes preguntas se refieren a cómo podrían estar afectadas por su vista las cosas que hace. Para cada pregunta me gustaría que me dijera si esto es cierto todo el tiempo, la mayor parte del tiempo, parte del tiempo, una pequeña parte del tiempo o nunca.

A.15. Con qué frecuencia ha realizado Ud. menos trabajo del que le hubiera gustado hacer a causa de su vista?

1. Todo el tiempo
2. La mayor parte del tiempo
3. Parte del tiempo
4. Una pequeña parte del tiempo
5. Nunca

A.16. ¿Con qué frecuencia está limitado/a en la cantidad de tiempo que puede trabajar o hacer otras cosas por culpa de su vista?

1. Todo el tiempo
2. La mayor parte del tiempo
3. Parte del tiempo

4. Una pequeña parte del tiempo
5. Nunca

A.17. ¿Con qué frecuencia no puede hacer lo que quisiera a causa del dolor o malestar en los ojos o alrededor de los ojos, por ejemplo, ardor, picazón, o dolor?:

1. Todo el tiempo
2. La mayor parte del tiempo
3. Parte del tiempo
4. Una pequeña parte del tiempo
5. Nunca

Para cada una de las siguientes afirmaciones, por favor, dígame si es definitivamente cierta, fundamentalmente cierta, fundamentalmente falsa, definitivamente falsa o no está seguro/a:

A.18. Me quedo en casa la mayor parte del tiempo por culpa de mí vista:

1. Definitivamente cierta
2. Fundamentalmente cierta
3. No está seguro/a
4. Fundamentalmente falsa
5. Definitivamente falsa

A.19. Me siento frustrado/a gran parte del tiempo a causa de mí vista:

1. Definitivamente cierta
2. Fundamentalmente cierta
3. No está seguro/a
4. Fundamentalmente falsa
5. Definitivamente falsa

A.20. Tengo mucho menos control sobre lo que hago a causa de mi vista:

1. Definitivamente cierta
2. Fundamentalmente cierta
3. No está seguro/a
4. Fundamentalmente falsa
5. Definitivamente falsa

A.21. A causa de mi vista, tengo que depender demasiado de lo que otra gente me dice:

1. Definitivamente cierta
2. Fundamentalmente cierta
3. No está seguro/a
4. Fundamentalmente falsa
5. Definitivamente falsa

A.22. Necesito mucha ayuda de otras personas a causa de mí vista:

1. Definitivamente cierta
2. Fundamentalmente cierta
3. No está seguro/a
4. Fundamentalmente falsa
5. Definitivamente falsa

A.23. Me preocupa hacer cosas que me causen vergüenza o que se la causen a otros por culpa de mi vista:

1. Definitivamente cierta
2. Fundamentalmente cierta
3. No está seguro/a
4. Fundamentalmente falsa
5. Definitivamente falsa

Apéndice B.- Respuestas de los sujetos al test VFQ-25

Cuestiones		Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4	Sujeto 5	Sujeto 6	Sujeto 7	Sujeto 8	
VISTA	A.1	4	2	4	2	3	2	4	4	
	A.2	2	4	4	3	2	2	3	4	
	A.3	4	3	5	3	5	2	4	4	
DIFICULTAD AL REALIZAR ACTIVIDADES	A.4	5	5	2	6	5	6	6	4	
	A.5	4	4	4	4	5	4	6	5	
	A.6	4	4	4	3	5	3	4	3	
	A.7	4	5	5	5	4	6	6	3	
	A.8	4	3	4	3	4	3	3	3	
	A.9	4	3	4	3	3	3	4	5	
	A.10	5	3	4	4	3	3	6	3	
	A.11	6	4	6	5	6	6	6	6	
	A.12	4	3	4	4	4	3	4	3	
	A.13	5	2	6	4	6	2	6	3	
	A.14	No	No	No	No	No	No	No	No	Si
	A.14a	B	B	A	B	A	A	A	A	---
	A.14b	A	A	---	C	---	---	---	---	---
	A.14c	---	---	---	---	---	---	---	---	3
A.14d	---	---	---	---	---	---	---	---	4	
PROBLEMAS DE VISTA	A.15	3	4	2	3	3	1	5	4	
	A.16	5	1	3	3	3	1	5	5	
	A.17	5	4	5	4	5	5	5	5	
	A.18	5	2	5	5	5	1	5	5	
	A.19	5	4	5	4	4	1	2	1	
	A.20	2	2	4	4	5	1	5	1	
	A.21	4	2	5	2	4	1	1	2	
	A.22	4	2	5	4	4	1	5	2	
	A.23	2	4	4	4	5	1	2	3	

Apéndice C.- Obstáculos de la prueba de movilidad del capítulo 5

En este apéndice se describen los objetos que había en cada tramo del recorrido empleado en la evaluación de movilidad del SERBA. En la columna nombrada como “OBJETO” se enumeran los objetos, y se especifica si estaban en el suelo (Suelo n°) o si colgaban del techo (Aéreo n°). En la columna nombrada como “ÁREA” se dan las dimensiones de la base de los objetos y el área de esta base que quedaba dentro del recorrido. Todas las cajas utilizadas eran de cartón.

OBJETO	DESCRIPCIÓN	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	COLOR
Suelo 1	Pivote	75	(Diámetro 20cm) 628	Azul marino
Aéreo 2	Caja 137 cm del suelo	16	(16×16) 256	Marrón
Suelo 3	Caja	18	(39×34=1326)* 1236	Marrón
Suelo 4	Poliestireno expandido	47	(16×45) 720	Blanco
Suelo 5	Caja	74	(44×43=1892)* 946	Blanca, parte superior negra
Suelo 6	Caja	30	(46×34) 1564	Marrón

*Parte del área del objeto queda fuera del recorrido.

Tabla 10.1.- Descripción de los obstáculos del primer tramo (T1).

OBJETO	DESCRIPCIÓN	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	COLOR
Suelo 1	Poliestireno expandido	50	(50×19) 950	Blanco
Suelo 2	Poliestireno expandido	5	(48×13) 624	Blanco
Aéreo 3	Caja a 150 cm del suelo	24	(5×20) 100	Verde y blanca
Suelo 4	Caja	30	(50×27) 1350	Amarilla con parte superior azul
Suelo 5	Pivote	75	(Diámetro 20cm) 628	Azul marino
Suelo 6	Caja	53	(46×22) 1012	Marrón
Suelo 7	Caja	44	(58×43=2494)* 1075	Marrón
Aéreo 8	Poliestireno expandido a 150 cm del suelo	16	(3×23) 69	Blanco
Suelo 9	Poliestireno expandido	5	(48×5) 240	Blanco

*Parte del área del objeto queda fuera del recorrido.

Tabla 10.2.- Descripción de los obstáculos del segundo tramo (T2).

OBJETO	DESCRIPCIÓN	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	COLOR
Suelo 1	Caja	7	(50×8) 400	Marrón
Suelo 2	Poliestireno expandido	50	(50×20) 1000	Blanco
Aéreo 3	Caja a 154 cm del suelo	34	(12×12) 144	Blanco
Suelo 4	Caja	43	(62×56) 3472	Marrón
Suelo 5	Caja	19	(90×15) 50×36=1800*	Rosa pastel
Suelo 6	Pivote	75	(Diámetro 20cm) 628	Verde
Aéreo 7	Poliestireno expandido a 150 cm del suelo	9	(32×16) 512	Negro

*Parte del área del objeto queda fuera del recorrido.

Tabla 10.3.- Descripción de los obstáculos del tercer tramo (T3).

OBJETO	DESCRIPCIÓN	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	COLOR
Suelo 1	Poliestireno expandido	30	(54×22) 1188	Blanco
Aéreo 2	Caja a 150 cm del suelo	13	(15×33) 495	Blanco
Suelo 3	Caja	19	(90×15) 1350	Rosa pastel
Suelo 4	Caja	38	(49×16) 784	Violeta
Suelo 5	Caja	51	(60×53) (45×53)/2=1192,5*	Marrón
Aéreo 6	Caja a 140 cm del suelo	23	(6×22) 138	Blanco y verde
Suelo 7	Caja	22	(50×37) 1110	Marrón
Suelo 8	Pivote	75	(Diámetro 20cm) 628	Verde
Suelo 9	Caja	51	(52×13) 676	Azul

*Parte del área del objeto queda fuera del recorrido.

Tabla 10.4.- Descripción de los obstáculos del cuarto tramo (T4).

OBJETO	DESCRIPCIÓN	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	COLOR
Suelo 1	Caja	33	(44×20) 880	Azul-amarillo
Aéreo 2	Caja a 150 cm del suelo	50	(21×8) 168	Blanco
Suelo 3	Caja	47	(52×50) 2600	Marrón
Suelo 4	Pivote	75	(Diámetro 20cm) 628	Azul marino
Suelo 5	Caja	23	(40×30) 1200	Marrón
Suelo 6	Pivote	75	(Diámetro 20cm) 628	Azul marino
Aéreo 7	Caja a 150 cm del suelo	13	(15×11) 165	Marrón
Suelo 8	Caja	62	(66×56) 3696	Azul y blanca

Tabla 10.5.- Descripción de los obstáculos del quinto tramo (T5).

OBJETO	DESCRIPCIÓN	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	COLOR
Suelo 1	Caja	31	(33×33) 1089	Blanco-rojo-negro (volante)
Suelo 2	Caja	70	(15×17) 255	Marrón
Suelo 3	Caja	70	(15×17) 255	Marrón
Suelo 4	Pivote	75	(Diámetro 20cm) 628	Azul marino
Aéreo 5	Poliestireno expandido a 150 cm del suelo	33	(9×16) 144	Negro

Tabla 10.6.- Descripción de los obstáculos del sexto tramo (T6).

OBJETO	DESCRIPCIÓN	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	COLOR
Suelo 1	Pivote	75	(Diámetro 20cm) 628	Azul marino
Aéreo 2	Caja a 147 cm del suelo	25	(28×12) 336	Azul-rojo
Suelo 3	Poliestireno expandido	73	(43×43) 1849	Blanco
Suelo 4	Poliestireno expandido	24	(52×22) 1144	Blanco
Aéreo 5	Caja a 152 cm del suelo	10	(24×15) 360	Marrón

Tabla 10.7.- Descripción de los obstáculos del séptimo tramo (T7).

OBJETO	DESCRIPCIÓN	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	COLOR
Aéreo 1	Caja a 144 cm del suelo	19	(30×9) 270	Verde-gris
Suelo 2	Caja	25	(44×20) 880	Amarillo-azul
Suelo 3	Caja	16	(40×16) 640	Marrón
Suelo 4	Pivote	75	(Diámetro 20cm) 628	Azul
Aéreo 5	Caja a 152 cm del suelo	7	(31×22) 682	Blanco

Tabla 10.8.- Descripción de los obstáculos del octavo tramo (T8).

Apéndice D.- Tablas de los test realizados en la evaluación detallada en el capítulo 5.

Test de valoración subjetiva de la prueba de movilidad

Las cuestiones realizadas fueron las que aparecen en el apartado:

- *Cuestión 1.- ¿Qué le ha parecido el recorrido?*
- *Cuestión 2.- Determinar la distancia a la que se encontraba el objeto le ha resultado...*
- *Cuestión 3.- Determinar la posición relativa del objeto (derecha, izquierda, centro...), le ha resultado...*
- *Cuestión 4.- Evitar los obstáculos le ha resultado...*

Se les pidió que respondieran en una escala del 5 al 1 con las siguientes correspondencias:

Muy fácil=5, Fácil=4, Poco fácil=3, Difícil=2, Muy difícil=1.

SUJETOS	Sin SERBA				Con SERBA			
	C 1	C 2	C 3	C 4	C 1	C 2	C 3	C 4
1	3	4	2	2	2	3	4	3
2	4	5	1	2	4	3	5	4
3	4	4	4	4	4	4	3	4
4	2	4	3	3	3	3	5	4
5	4	4	4	4	4	3	4	4
6	2	5	2	4	3	3	5	4
MEDIA	3,16	4,33	2,66	3,16	3,33	3,17	4,33	3,83
Desv.Est.	0,98	0,52	1,21	0,98	0,82	0,41	0,82	0,41

Tabla 10.9.- Respuestas al test de la prueba de movilidad.

Test de valoración subjetiva de la prueba de localización

Las cuestiones realizadas fueron:

Cuestión 1.- ¿Qué dificultad has encontrado en la tarea de contar objetos (sillas, mesa, pílón)?

Cuestión 2.- ¿Qué dificultad has encontrado en la tarea de localizar el cuadrado o triángulo?

Cuestión 3.- ¿Qué dificultad has encontrado en la tarea de localizar objetos (hoja amarilla, gafas, cámara, pinzas y cámara desechable)?

Cuestión 4.- ¿Qué dificultad has encontrado en las tareas realizadas en la mesa?

Se les pidió que respondieran en una escala del 5 al 1 con las siguientes correspondencias:

Muy fácil=5, Fácil=4, Poco fácil=3, Difícil=2, Muy difícil=1.

SUJETOS	Sin SERBA				Con SERBA			
	C1	C 2	C 3	C 4	C1	C2	C 3	C 4
1	3	2	4	4	4	4	4	3
2	3	3	2	3	4	4	4	3
3	4	3	3	4	5	5	4	4
4	4	5	3	3	4	5	3	5
5	4	4	3	3	4	4	4	4
6	2	5	3	2	4	5	1	2
8	4	4	4	4	4	4	4	4
MEDIA	3,5	3,8	3,1	3,4	4,1	4,4	3,4	3,6
Desv.Est	0,8	1,0	0,6	0,7	0,4	0,5	1,1	0,9

Tabla 10.10.- Resultados del test realizado a los sujetos para ponderar la dificultad de las tareas realizadas en las salas.

Test de valoración subjetiva del SERBA

La máxima puntuación era 5 y la mínima 1.

SUJETO S	Cuestiones estéticas				Cuestiones técnicas					
	C1	C 2		C 3	C4	C 5	C 6	C 7	C 8	C 9
		A	B							
1	3	4	3	3	4	4	4	3	4	--
2	3	3	4	2	4	4	4	3	5	Si
3	2	3	3	2	4	5	5	5	5	Si
4	3	3	4	1	5	5	5	4	4	Si
5	3	3	3	4	4	4	4	4	4	Si
6	3	3	4	3	4	4	5	3	4	No
MEDIA	2,86	3,14	3,29	2,43	4,00	4,14	4,14	3,71	4,14	
Desv.Est.	0,38	0,38	0,76	0,98	0,58	0,69	1,07	0,76	0,69	

Tabla 10.11.- Resultados del test realizado para obtener la valoración que los sujetos hacen del SERBA.

Las cuestiones realizadas fueron:

Cuestión 1.- ¿Le resulta cómodo el dispositivo?

Cuestión 2.- ¿Que le parece el peso del dispositivo?

Cuestión 2.A.- De la gorra.

Cuestión 2.B.- De la bolsa.

Cuestión 3.- ¿Qué le parece estéticamente el dispositivo?

Cuestión 4.-¿Cómo le ha resultado el empleo del dispositivo?

Cuestión 5.- ¿Qué le ha parecido la calidad de la imagen?

Cuestión 6.- ¿Qué le parece el campo visual que le proporciona el sistema?

Cuestión 7.- ¿Le ha resultado difícil orientarse dentro de la imagen de bordes?

Cuestión 8.- Localizar objetos con el sistema, comparado con no tener el sistema es.....

Cuestión 9.- Se llevaría el dispositivo a casa.

Apéndice E.- Tablas de los test realizados en la evaluación detallada en el capítulo 6.

Test de la prueba de localización de objetos en interior

Las cuestiones de este test eran:

Cuestión 1.- “Localizar los objetos le ha resultado...”

Cuestión 2.- “Determinar la distancia a la que se encontraba el objeto le ha resultado...”

Cuestión 3.- “Determinar la posición en la que se encontraba el objeto (derecha, izquierda, centro, etc.), le ha resultado...”

Cuestión 4.- “Orientarse durante el recorrido le ha resultado...”

Se les pidió que respondieran en una escala del 5 al 1 con las siguientes correspondencias:

Muy fácil=5, Fácil=4, Poco fácil=3, Difícil=2, Muy difícil=1.

SUJETO	Sin SERBA				Realce de contraste				Vista Aumentada			
	C 1	C 2	C 3	C 4	C 1	C 2	C 3	C 4	C1	C2	C3	C4
1	4	4	4	3	2	3	3	3	2	2	1	2
3	3	5	4	4	3	4	5	5	3	4	5	5
4	2	1	2	--	2	1	2	--	4	5	5	--
6	1	1	1	1	4	3	5	4	--	--	--	--
8	4	4	4	4	4	4	4	4	--	--	--	--
MEDIA	2,8	3	3	3	3	3	3,8	4	3	3,7	3,7	3,5
Desv.Est.	1,3	1,9	1,4	1,4	1,0	1,2	1,3	0,8	1,0	1,5	2,3	2,1

Tabla 10.12.- Resultados del test de evaluación nocturna en interior.

Test de la prueba de localización de objetos en exterior

Las cuestiones de este test fueron:

Cuestión 1.- “¿Qué le ha parecido el recorrido?”

Cuestión 2.- “Determinar la distancia a la que se encontraba el objeto le ha resultado...”

Cuestión 3.- “Determinar la posición en la que se encontraba el objeto (derecha, izquierda, centro, etc.) le ha resultado...”

Cuestión 4.- “Localizar los objetos le ha resultado...”

Cuestión 5.- “Identificar los objetos le ha resultado...”

Las puntuaciones que podían dar a cada una de estas cuestiones eran:

Muy fácil = 5, Fácil = 4, Poco fácil = 3, Difícil = 2, Muy difícil = 1.

SUJETO S	Sin SERBA					Con SERBA				
	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5
1	2	3	3	3	2	3	2	3	3	3
3	2	2	4	2	2	1	1	1	1	1
4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6	3	4	4	2	1	4	3	5	4	5
8	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4
MEDIA	2,8	3,3	3,5	2,5	2,3	3	2,5	3,3	3	3,3
Desv.Est.	1	1	0,6	0,6	1	1,4	1,3	1,7	1,4	1,7

Tabla 10.13.- Resultados del test de evaluación nocturna en exterior.

El sujeto 4 no respondió al test porque no pudo realizar esta prueba.

Test de valoración subjetiva del SERBA

Las cuestiones fueron:

Cuestión 1.- “¿Le resulta cómodo el dispositivo?”

Cuestión 2.- “¿Qué le parece el peso del dispositivo?”

2.A.- “De la gorra.”

2.B.- “De la bolsa.”

Cuestión 3.- “¿Qué le parece estéticamente el dispositivo?”

Cuestión 4.- “¿Cómo le ha resultado el empleo del dispositivo?”

Cuestión 5.- “¿Qué le ha parecido la calidad de la imagen?”

Cuestión 6.- “¿Qué le parece el campo visual que le proporciona el sistema?”

Cuestión 7.- “¿Le ha resultado difícil orientarse dentro de la imagen?”

Cuestión 8.- “Localizar objetos con el sistema, comparado con no tener el sistema, es...”

Cuestión 9.- “Considera que con el SERBA las pruebas le han resultado...”

9.A.- “localización en interior”

9.B.- “localización en exterior”

Cuestión 10.- “¿Se llevaría el dispositivo a casa?”

Cuestión 11.- “¿Cree que el SERBA es útil en condiciones de baja iluminación?”

La máxima puntuación era 5 y la mínima 1.

SUJETOS	ESTÉTICAS				TÉCNICAS					OTRAS			
	C1	C 2		C 3	C4	C 5	C 6	C 7	C 8	C9		C 10	C 11
		A	B							A	B		
1	3	3	2	3	3	3	4	4	4	3	4	Si	Si
3	3	3	2	1	4	4	4	5	3	4	2	No	Si
4	2	3	4	2	4	3	4	4	5	--	--	Si	Si
6	3	2	3	2	4	4	5	--	5	5	--	Si	Si
8	3	3	3	4	4	4	4	5	4	4	--	No	Si
MEDIA	2,8	2,8	2,8	2,4	3,8	3,6	4,2	4,5	4,2	4	3		
Desv.Est.	0,5	0,5	0,8	1,1	0,5	0,6	0,5	0,6	0,8	0,8	1,4		

Tabla 10.14.- Resultados del test de valoración del SERBA.