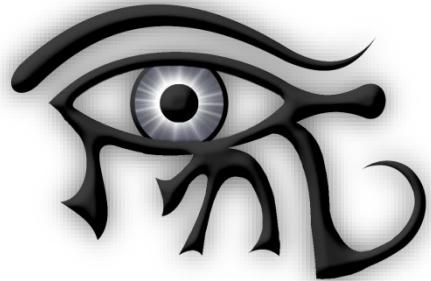


**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO
ESCOM**

Trabajo terminal

**“Herramienta para la detección de canales sensoriales mediante
reconocimiento de patrones de movimientos oculares”**

2013 – BO06



Presentan

**Martínez Jiménez Juan Miguel
Solórzano Villanueva Patricia del Pilar**

Que para obtener el título de

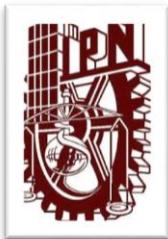
“Ingeniero en Sistemas Computacionales”

Directores

**M. en C. María Julia Calderón Sambarino
M. en C. José David Ortega Pacheco**



Febrero 2015



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA**



No. de TT: 2013 – B006

20 de febrero de 2015

Documento técnico

**“Herramienta para la detección de canales sensoriales mediante
reconocimiento de patrones de movimientos oculares”**

Presentan

**Juan Miguel Martínez Jiménez¹
Patricia del Pilar Solórzano Villanueva²**

Directores

**M. en C. María Julia Calderón Sambarino
M. en C. José David Ortega Pacheco**

RESUMEN

En este documento se presenta la documentación técnica del Trabajo Terminal 2013 – B006, titulado **“Herramienta para la detección de canales sensoriales mediante reconocimiento de patrones de movimientos oculares”**, el cual pretende elaborar una herramienta informática para la detección y clasificación de los canales sensoriales basados en la Programación Neurolingüística (PNL) con el fin de seleccionar la manera óptima de aprendizaje de un estudiante mediante el movimiento de sus ojos.

Palabras clave: Procesamiento digital de imágenes, Reconocimiento de Patrones, Programación Neurolingüística, Seguimiento de ojos.

¹**Email:** jimmy_guel@hotmail.com

²**Email:** pili.sv.escom@gmail.com



**ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
DEPARTAMENTO DE FORMACIÓN INTEGRAL E
INSTITUCIONAL**



COMISIÓN ACADÉMICA DE TRABAJOS TERMINALES

México, D.F. a 26 de Febrero de 2015

**DR. FLAVIO ARTURO SÁNCHEZ GARFIAS
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA
DE TRABAJO TERMINAL
P R E S E N T E**

Por medio del presente, informamos que los alumnos que integran el **TRABAJO TERMINAL 2013-B006** titulado "Herramienta para la detección de canales sensoriales mediante reconocimiento de patrones de movimientos oculares" concluyeron satisfactoriamente su trabajo.

Los discos (DVDs) fueron revisados ampliamente por sus servidores y corregidos, cubriendo el alcance y el objetivo planteados en el protocolo original y de acuerdo a los requisitos establecidos por la Comisión que usted preside.

ATENTAMENTE

M. EN C. JOSE DAVID ORTEGA PACHECO

M. EN C. MARÍA JULIA CALDERÓN SAMBARINO

Advertencia

“Este documento contiene información desarrollada por la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, a partir de los datos y documentos con derecho de propiedad y por tanto, su uso quedará restringido a las aplicaciones que explícitamente se convengan.”

La aplicación no convencida exime a la escuela su responsabilidad técnica y da lugar a las consecuencias legales para tal efecto se determinen.

Información adicional sobre este reporte técnico podrá obtenerse en:

La Subdirección Académica de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, situada en Av. Juan de Dios Bátiz s/n
Teléfono: 57296000 Extensión 52000.

Agradecimientos

Agradezco el haber llegado a este momento...

A mi mamá quien me ha guiado y apoyado incondicionalmente en toda mi carrera y vida, además que sin ella no estaría donde hoy estoy. También quiero agradecer a Víctor que estuvo a mi lado y me ayudó constantemente. Finalmente a mis abuelos que nunca han dudado en mí y estuvieron presentes en todo momento.

Juan Miguel Martínez Jiménez

Agradecimientos

Inicialmente quiero agradecer a Dios por haberme permitido llegar a este momento en mi vida, por guiarme en el camino y nunca abandonarme.

Agradezco a mi mami por brindarme su apoyo incondicional e impulsarme todos los días a ser una profesionista, por creer en mí y a la vez darme confianza en mí misma motivándome a cumplir con todas mis metas. Por esas palabras de aliento en cada momento de mi vida. Gracias por ser mi ejemplo de vida.

A mi hermano Ernesto por todas las noches de desvelo y todos los años en los que me ha ayudado a lo largo de mi carrera profesional. Gracias a sus asesorías, a sus consejos y a sus regaños he podido lograr una de las metas más importante en mi vida, obtener mi título como Ingeniera en Sistemas Computacionales.

A mi hermano Pablo por siempre creer en mí, orientar mis decisiones y apoyarme a lo largo de mi vida personal y académica. Por su experiencia, por ayudarme a ver las cosas desde un punto de vista externo y profesional contribuyendo a ampliar y mejorar mi perspectiva.

Agradezco a Elihú por su tiempo, cariño y compresión. Gracias por apoyar mis decisiones, por aconsejarme y darme ánimos de seguir adelante.

Un agradecimiento especial para mis directores M. en C. María Julia Calderón Sambarino y M. en C. José David Ortega Pacheco por su tiempo, esfuerzo, dedicación y orientación incondicional a lo largo del Trabajo Terminal. Gracias a su respaldo y experiencia hemos logrado concluir con éxito el trabajo.

Por último quiero agradecer al CECyT No. 9 “Juan de Dios Bátiz” y a la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional por haberme brindado la formación, el conocimiento y las herramientas que hicieron posible concluir mi educación a nivel Licenciatura.

Solórzano Villanueva Patricia del Pilar

Í N D I C E

ÍNDICE.....	i
FIGURAS	vi
TABLAS	x
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 CONTEXTO DE LA EDUCACIÓN EN MÉXICO	2
1.2 PROBLEMÁTICA.....	2
1.3 ESTADO DEL ARTE	3
1.1 SOLUCIÓN PROPUESTA.....	6
1.1.1 Bosquejo de la Descripción	6
1.1.2 PROTOTIPOS.....	7
1.2 JUSTIFICACIÓN	8
1.3 OBJETIVOS.....	9
1.3.1 Objetivo General.....	9
1.3.2 Objetivos Específicos	9
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 PROGRAMACIÓN NEUROLINGÜÍSTICA.....	11
2.1.2 Aprendizaje	11
2.1.3 Canales sensoriales.....	11
2.1.4 Accesos oculares	12
2.2 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES	13
2.2.1 Imagen Digital	13
2.2.2 Modelos de Color	14
2.2.2.1 RGB.....	14
2.2.2.2 HSV	15
2.2.3 Binarización.....	15
2.2.4 Ruido	16
2.2.4.1 Ruido Gaussiano	16
2.2.4.2 Ruido mixto (o aditivo y sustractivo).....	17
2.2.4.3 Ruido uniforme.....	17
2.2.5 Filtros	18
2.2.5.1 Filtro Máximo	18
2.2.5.2 Filtro Mínimo	19
2.2.5.3 Mediana.....	20
2.2.5.4 Promedio	21
2.2.5.5 Moda.....	22
2.2.5.6 Comparación	23
2.2.6 Segmentación.....	24

2.2.6.1	Detección de bordes	24
2.2.6.2	Umbralización	25
2.3 EYE TRACKING.....		26
2.3.1	Definición	26
2.3.2	Técnicas de Eye Tracking.....	26
2.3.2.1	Sistemas Invasivos	26
2.3.2.1.1	Sistemas basados en lentes de contacto.....	26
2.3.2.1.2	Electro-oculografía (EOG)	27
2.3.2.2	Sistemas no-invasivos	28
2.3.2.2.1	Foto oculografía (POG) y video-oculografía (VOG)	28
2.3.3	Aplicaciones	29
2.3.3.1	HCI para discapacitados.....	29
2.3.3.2	Estudios de ergonomía y HCI	30
2.3.3.3	Mejora del rendimiento deportivo	30
2.3.3.4	Área clínica	30
2.3.3.5	Desarrollo de juegos avanzados de computadora	30
2.3.3.6	Diagnóstico de dificultades de aprendizaje con fines pedagógicos	30
2.3.3.7	Investigación en percepción visual	31
2.3.3.8	Área de diseño y publicidad	31
2.4 RECONOCIMIENTO DE PATRONES.....		32
2.4.1	Definición	32
2.4.2	Etapas.....	33
2.4.3	Aprendizaje Supervisado y No Supervisado	33
2.4.4	Aplicaciones	34
2.4.4.1	Reconocimiento de voz	34
2.4.4.2	Reconocimiento de caracteres escritos a mano	35
2.4.4.3	Diagnóstico asistido por computadora	35
2.4.4.4	Visión Computacional.....	35
2.4.5	Validación Cruzada	36
CAPÍTULO 3 VISIÓN GENERAL DE LA HERRAMIENTA		37
3.1 REQUERIMIENTOS		38
3.1.1	Requerimientos Básicos (RB)	38
3.1.2	Requerimientos Funcionales (RF)	38
3.1.3	Requerimientos No Funcionales (RNF)	39
3.2 REGLAS DE NEGOCIO (RN).....		39
3.3 CASOS DE USO.....		40
3.3.1	CU No.1 “Ajustar Parámetros de Eye Tracking”	40
3.3.2	CU No.2 “Comenzar Estudio”.....	42
3.3.3	CU No.3 “Realizar Análisis”.....	44
3.3.4	CU No.4 “Visualizar Resultados”	46
3.4 PANTALLAS.....		47
3.4.1	Ajuste de Parámetros	47

3.4.2	Evaluación	48
3.4.3	Visualizar Resultados	48
3.5	DIAGRAMAS DE SECUENCIA	49
CAPÍTULO 4 PROTOTIPO I “AMBIENTE DE TRABAJO“		54
4.1	ANÁLISIS	55
4.1.1	Especificación del entorno de trabajo.....	55
4.1.2	Iluminación.....	55
4.1.3	Radiación Infrarroja.....	56
4.1.3.1	Efectos Biológicos.....	57
4.1.3.1.1	Efectos en el ojo	58
4.1.3.1.2	Normas de Exposición	58
4.1.4	Características de los Leds	60
4.1.5	Requerimientos	61
4.1.6	Casos de Uso	61
4.2	DISEÑO.....	62
4.2.1	Diadema.....	62
4.2.1.1	Estructura	62
4.2.1.2	Elección.....	64
4.2.1.3	Ubicación	64
4.3	IMPLEMENTACIÓN.....	65
4.3.1	Cámara.....	65
4.3.1.1	Especificaciones	65
4.3.1.2	Filtro Infrarrojo	65
4.4	PRUEBAS	67
4.4.1	Protocolo de Pruebas	67
4.4.2	Fichas de Realización de Pruebas.....	67
4.4.3	Resultados.....	70
CAPÍTULO 5 PROTOTIPO II “ALMACENAMIENTO DE VIDEO“		71
5.1	ANÁLISIS	72
5.1.1	Descripción.....	72
5.1.2	Casos de Uso	72
5.1.3	Requerimientos	72
5.1.4	Especificación.....	73
5.2	DISEÑO.....	74
5.2.1	Diagrama de Clases	74
5.3	IMPLEMENTACIÓN.....	76
5.4	PRUEBAS	77
5.4.1	Protocolo de prueba	78
5.4.2	Fichas de Realización de Pruebas.....	78
5.4.3	Resultados.....	81
CAPÍTULO 6 PROTOTIPO III “PREPROCESAMIENTO DE IMÁGENES“		83

6.1 ANÁLISIS	84
6.1.1 Descripción.....	84
6.1.2 Casos de Uso	84
6.1.3 Requerimientos.....	84
6.1.4 Especificación.....	85
6.2 DISEÑO.....	87
6.2.1 Diagrama de Clases	87
6.3 IMPLEMENTACIÓN.....	87
6.4 PRUEBAS	88
6.4.1 Protocolo de prueba.....	88
6.4.2 Fichas de Realización de Pruebas.....	89
6.4.3 Resultados.....	92
CAPÍTULO 7 PROTOTIPO IV “EYE TRACKING”	93
7.1 ANÁLISIS	94
7.1.1 Descripción.....	94
7.1.2 Casos de Uso	94
7.1.3 Requerimientos.....	94
7.1.4 Especificación.....	95
7.1.4.1 Base de Datos	95
7.2 DISEÑO.....	96
7.2.1 Diagrama de Clases	96
7.2.2 Diagrama de Base de Datos.....	98
7.3 IMPLEMENTACIÓN.....	100
7.3.1 Reflejo de leds	102
7.3.2 Ojo cerrado	103
7.4 PRUEBAS	104
7.4.1 Protocolo de pruebas	104
7.4.2 Fichas de Realización de Pruebas.....	105
7.4.3 Resultados.....	108
CAPÍTULO 8 PROTOTIPO V “CLASIFICACIÓN”	109
8.1 ANÁLISIS	110
8.1.1 Descripción.....	110
8.1.2 Casos de Uso	110
8.1.3 Requerimientos.....	110
8.1.4 Especificación.....	111
8.1.4.1 Clasificación.....	111
8.1.4.2 Gráficas	112
8.2 DISEÑO.....	112
8.2.1 Diagrama de Clases	112
8.3 IMPLEMENTACIÓN.....	116
8.4 PRUEBAS	120

8.4.1	Protocolo de pruebas	120
8.4.2	Fichas de Realización de Pruebas.....	120
8.4.3	Resultados.....	121
CAPITULO 9 INTEGRACIÓN.....		122
9.1	ANÁLISIS.....	123
9.1.1	Descripción.....	123
9.1.2	Requerimientos.....	123
9.2	DISEÑO.....	124
9.2.1	Diagrama de Clases	124
9.3	IMPLEMENTACIÓN.....	127
9.4	PRUEBAS	129
9.4.1	Resultados.....	132
CONCLUSIONES		133
10.1	CONCLUSIÓN DEL TRABAJO TERMINAL.....	134
10.2	TRABAJO A FUTURO	135
ANEXO		136
11.1	PROTOTIPO I.....	137
11.1.1	Elección del número de LEDs en la placa.....	137
11.2	PROTOTIPO III.....	138
11.2.1	Elección de filtros	138
11.3	PRUEBAS	141
11.3.1	Prototipo II.....	141
11.3.2	Integración	143
11.4	RECURSOS.....	151
11.4.1	Test del Canal de Aprendizaje de preferencia - PNL	151
11.4.2	Recomendaciones de acuerdo al canal sensorial predominante	154
11.4.3	Preguntas integradas a la herramienta	156
REFERENCIAS.....		157
BIBLIOGRAFÍA		160

F I G U R A S

Figura 1. Diagrama del Bosquejo de la Descripción.....	6
Figura 2. Diagrama de Bloques del Sistema.	7
Figura 3. Ejemplo de clasificación de accesos oculares.....	13
Figura 4. Pixel.	14
Figura 5. Representación del modelo RGB	15
Figura 6. Representación del Matiz en el modelo HSV	15
Figura 7. Representación de la Saturación en el modelo HSV.....	15
Figura 8. Representación del valor en el modelo HSV.	15
Figura 9. Imagen original, seguida de su representación en escala de grises, seguida de una binarización con umbral de 180.....	16
Figura 10. Se muestra la imagen limpia seguida de otra con ruido Gaussiano.	17
Figura 11. Ejemplo de imágenes con ruido mixto.....	17
Figura 12. Ejemplo de ruido uniforme.	18
Figura 13. Se aprecia la imagen original seguida de la aplicación del filtro máximo.....	18
Figura 14. Se aprecia la imagen original seguida de la aplicación del filtro mínimo.	19
Figura 15. Se aprecia la imagen original seguida de la aplicación del filtro mediana.	20
Figura 16. Se aprecia la imagen original seguida de la aplicación del filtro promedio.	22
Figura 17. Se aprecia la imagen original seguida de la aplicación del filtro moda.	22
Figura 18. Se aprecia la imagen original, y los siguientes filtros máximo, mínimo, mediana, promedio y moda respectivamente.....	24
Figura 19. Histograma bimodal con umbral T.	25
Figura 20. (a) Imagen original, (b) histograma de la imagen, (c) resultado de la umbralización con T=127, y (d) bordes de las células.....	26
Figura 21. Ejemplo de bobina incrustada en lente de contacto y marcos de campo electromagnético para medir el movimiento ocular basado en la bobina.	27
Figura 22. Ejemplo de una Electro-oculografía.	28
Figura 23. Ejemplo de un <i>eye tracker</i> con luces infrarrojas.....	29
Figura 24. Representación de ruta sacádica.	31
Figura 25. HeatMap.....	31
Figura 26. Vector de atributos.....	32

Figura 27. Espacio de atributos	32
Figura 28. Ejemplo de muestreo de tres clases con dos atributos	33
Figura 29. Representación Conceptual del Sistema de Reconocimiento de Patrones.....	33
Figura 30. Ejemplo de aplicación de Reconocimiento de Voz	35
Figura 31. Ejemplo de agrupamiento de la validación cruzada.....	36
Figura 32. Casos de Uso de la herramienta.....	40
Figura 33. Pantalla “Ajuste de Parámetros”	48
Figura 34. Pantalla “Evaluación”.....	48
Figura 35. Pantalla “Visualizar Resultados” muestra un ejemplo de gráficas.	49
Figura 36. Diagrama de Secuencia CU1.	50
Figura 37. Diagrama de Secuencia CU2.	51
Figura 38. Diagrama de Secuencia CU3.	52
Figura 39. Diagrama de Secuencia CU4.	53
Figura 40. Intensidad de Radiación Relativa.....	60
Figura 41. Diagrama de Caso de Uso correspondiente al Prototipo I.	61
Figura 42. Diadema con la cámara y LEDs montados.	64
Figura 43. Técnica de pupila oscura (izda.) y técnica de pupila brillante (dcha.)	64
Figura 44. Circuito de la Cámara Web	66
Figura 45. Cámara sin filtro infrarrojo.	66
Figura 46. Casos de uso Prototipo II.	72
Figura 47. Diagrama de Clases del Prototipo II.	74
Figura 48. Implementación prototipo II.	76
Figura 49. Implementación Prototipo II con brillo.....	77
Figura 50. Implementación Prototipo II con contraste.....	77
Figura 51. Casos de Uso en los que el Prototipo III interviene.	84
Figura 52. Parte del diagrama de Clases correspondiente al Prototipo III.	87
Figura 53. a) Imagen original. b) Imagen en escala de grises e invertida. c) Imagen filtrada. d) Imagen binarizada.....	88
Figura 54. Casos de Uso en los que el Prototipo IV interviene.....	94
Figura 55. Diagrama de Clases Prototipo IV.....	96
Figura 56. Diagrama Entidad Relación.	98
Figura 57. Diagrama Relacional.....	99

Figura 58. a) Imagen entregada por el Prototipo III. b) Proceso de Eye Tracking.	100
Figura 59. Conversión de coordenadas.	101
Figura 60. a) Pupila con reflejo provocado por led. b) Preprocesamiento del frame.	102
Figura 61. Binarización del frame original.	103
Figura 62. a) Nuevo frame sin reflejo de leds. b) Preprocesamiento del nuevo frame.	103
Figura 63. Frames con el ojo cerrado.	103
Figura 64. Primera parte de imágenes con ojo cerrado.	104
Figura 65. Segunda parte de imágenes con ojo cerrado.	104
Figura 66. Caso de Uso para prototipo V.	110
Figura 67. Representación del agrupamiento de las clases.	111
Figura 68. Diagrama de clases correspondiente al prototipo V.	112
Figura 69. Ejemplificación de centroides obtenidos de las instancias de la Figura 66 .	117
Figura 70. Ejemplificación de una nueva Coordenada a clasificar.	117
Figura 71. Pantalla de Recomendaciones.	118
Figura 72. Pantalla de Seguimiento Ocular.	118
Figura 73. Pantalla de Resumen de Accesos oculares.	119
Figura 74. Pantalla de Resumen de Accesos oculares.	119
Figura 75. Diagrama de clases completo.	124
Figura 76. Pantalla de Calibración.	128
Figura 77. Seleccionando área del ojo.	128
Figura 78. Pantalla de Preguntas.	128
Figura 79. Se reproduce la pregunta.	129
Figura 80. Pantalla de resultados.	129
Figura 81. Prueba de LEDS Prototipo I.	137
Figura 82. Imagen tomada con la diadema.	138
Figura 83. Ventana de Porcentaje de Ruido.	138
Figura 84. A) Imagen Original. B) Imagen con 20% de ruido Mixto. C) Aplicación del filtro Máximo. D) Aplicación del filtro Mínimo. E) Aplicación del filtro Promedio. F) Aplicación del filtro Moda. G) Aplicación del filtro Mediana.	140
Figura 85. Aplicación del filtro mediana por segunda vez.	141
Figura 86. Prueba 1 de protocolo 2.	141
Figura 87. Prueba 2 de protocolo 2.	142

Figura 88. Prueba 3 de protocolo 2	142
Figura 89. Video capturado	142

T A B L A S

Tabla 1. Resumen de Trabajos Terminales.....	3
Tabla 2. Resumen de Aplicaciones Comerciales.....	4
Tabla 3. Resumen de Proyectos de Investigaciones.....	5
Tabla 4. Número de apariciones de pixel	23
Tabla 5. Tabla de Requerimientos Básicos.....	38
Tabla 6. Requerimientos Funcionales de la herramienta.....	38
Tabla 7. Requerimientos No Funcionales.....	39
Tabla 8. Reglas de Negocio	39
Tabla 9. Fuentes y sus apariciones	57
Tabla 10. Especificaciones del tipo de LED elegido. [16]	60
Tabla 11. Requerimientos correspondientes al Prototipo I.....	61
Tabla 12. Comparación de Estructuras de Eye Trackers.....	63
Tabla 13. Requerimientos correspondientes al Prototipo III.....	72
Tabla 14. Comparación de frameworks.....	73
Tabla 15. Atributos de la clase Camara	74
Tabla 16. Métodos de la clase Camara.....	74
Tabla 17. Atributos de la clase Grabación.....	75
Tabla 18. Métodos de la clase Grabación.....	75
Tabla 19. Atributos de la clase Procesamiento.....	75
Tabla 20. Métodos de la clase Procesamiento.....	75
Tabla 21. Atributos de la clase Procesamiento.....	76
Tabla 22. Métodos de la clase Procesamiento.....	76
Tabla 23. Resultados Prototipo II	81
Tabla 24. Protocolo 2 Prototipo II	82
Tabla 25. Requerimientos correspondientes al Prototipo III.....	84
Tabla 26. Comparación de Filtros Digitales	86
Tabla 27. Atributos de la clase Procesamiento.....	87
Tabla 28. Métodos de la clase Procesamiento	87
Tabla 29. Requerimientos correspondientes al Prototipo IV.....	94
Tabla 30. Comparativa entre Gestores de Bases de Datos.	95

Tabla 31. Atributos de la clase Procesamiento.....	96
Tabla 32. Métodos de la clase Procesamiento	97
Tabla 33. Atributos de la clase Coordenada	97
Tabla 34. Métodos de la clase Coordenada	97
Tabla 35. Atributos de la clase DBManager.....	98
Tabla 36. Métodos de la clase DBManager	98
Tabla 37. Requerimientos correspondientes al Prototipo V	110
Tabla 38. Atributos de la clase KMeans.....	113
Tabla 39. Métodos de la clase KMeans	113
Tabla 40. Atributos de la clase DatabaseManager.....	113
Tabla 41. Métodos de la clase DatabaseManager.....	113
Tabla 42. Atributos de la clase Estadistica.....	114
Tabla 43. Métodos de la clase Estadistica.....	114
Tabla 44. Atributos de la clase Resultado.....	115
Tabla 45. Métodos de la clase Resultado.....	115
Tabla 46. Ejemplo del punto 3 de clasificación.....	116
Tabla 47. Ejemplo de agrupación de FPS.....	116
Tabla 48. Ejemplo del fichero “Estadistica”	117
Tabla 49. Requerimientos correspondientes a la integración.....	123
Tabla 50. Atributos de la clase Pregunta	125
Tabla 51. Métodos de la clase Pregunta	125
Tabla 52. Atributos de la clase Pregunta_gui	125
Tabla 53. Métodos de la clase Pregunta_gui	125
Tabla 54. Atributos de la clase Preguntas_widget.....	125
Tabla 55. Métodos de la clase Preguntas_widget	126
Tabla 56. Atributos de la clase Calibracion	126
Tabla 57. Métodos de la clase Calibracion	126
Tabla 58. Atributos de la clase resultados_widget	127
Tabla 59. Métodos de la clase resultados_widget	127
Tabla 60. Atributos de la clase Principal.....	127
Tabla 61. Métodos de la clase Principal	127
Tabla 62. Tabla de Resultados de Pruebas	130

Tabla 63. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 7	130
Tabla 64. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 20	131
Tabla 65. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 22	131
Tabla 66. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 24	131
Tabla 67. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 1	143
Tabla 68. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 2	143
Tabla 69. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 3	143
Tabla 70. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 4	144
Tabla 71. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 5	144
Tabla 72. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 6	144
Tabla 73. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 7	145
Tabla 74. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 8	145
Tabla 75. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 9	145
Tabla 76. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 10	146
Tabla 77. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 11	146
Tabla 78. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 12	146
Tabla 79. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 13	147
Tabla 80. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 14	147
Tabla 81. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 15	147
Tabla 82. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 16	148
Tabla 83. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 17	148
Tabla 84. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 18	148
Tabla 85. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 19	149
Tabla 86. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 20	149
Tabla 87. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 21	149
Tabla 88. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 22	150
Tabla 89. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 23	150
Tabla 90. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 24	150
Tabla 91. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 25	151

C A PÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto de la Educación en México

La educación en nuestro país es un tema de suma importancia si atendemos los niveles socioeconómicos actuales y fenómenos tales como la globalización y el creciente desarrollo tecnológicos. Para que se lleve a cabo un correcto proceso enseñanza-aprendizaje que conlleve a la educación requerimos prestar más atención a las condiciones del propio estudiante.

La educación es definida como la comunicación organizada y sustentada, que está diseñada para producir aprendizaje. En donde se entenderá que la "Comunicación" involucra la transferencia de información, (por ejemplo, mensajes, ideas, conocimiento, estrategias, etc.) entre dos o más personas.

En México la educación no está teniendo buenos resultados, de acuerdo los datos de la prueba enlace del 2013, la mayoría de los estudiantes de escuelas primarias y secundarias se encuentran con un resultado insuficiente o elemental en los rubros que se evalúan.

Existen diferentes modelos en apoyo a la educación, de entre los cuales destacamos la Programación Neurolingüística, que es un modelo de comunicación interpersonal, el cual puede ayudar con resultados positivos a la enseñanza.

1.2 Problemática

Actualmente existe variedad en aplicaciones de soporte a la educación, sin embargo de acuerdo a nuestra investigación, son pocas las que soportan a la Programación Neurolingüística.

El problema del proceso enseñanza-aprendizaje está presente tanto en el nivel de educación básica como en el nivel superior. Siendo más específicos uno de los problemas es que normalmente no se enseña con una metodología especializada para cada tipo estudiante y el modelo actual sólo es efectivo para algunos alumnos.

Otro de los problemas radica en que los estudiantes desconocen su manera óptima de aprendizaje, lo cual provoca una baja eficiencia y repercute en un deficiente desempeño académico, debido a no aprovechar al máximo sus horas de estudio y sus capacidades particulares.

Es difícil encontrar un modelo de enseñanza especializado en las diferentes maneras óptimas de comprensión de los estudiantes, sin embargo la Programación Neurolingüística nos habla de estas maneras de aprender y la clasificación de las personas según su canal de aprendizaje óptimo. Lo que busca el presente trabajo terminal es una herramienta para clasificar a los estudiantes según su canal de aprendizaje.

1.3 Estado del Arte

Son escasos los Trabajos Terminales que utilizan el movimiento ocular en la **Tabla 1** se pueden apreciar algunos de ellos.

Anteriormente se han desarrollado algunos programas que trabajan con el movimiento ocular, éstos los han logrado comercializar como sustitución de dispositivos de hardware como el teclado y el mouse, ya que facilitan la interacción con los dispositivos tecnológicos evitándonos la necesidad de dar clics, o de tener que mover los dedos y/o las manos. Además de comodidad, también han sido utilizados como rehabilitadores para las personas con alguna discapacidad o con la necesidad de ejercitarse sus movimientos oculares. Sin embargo, también existen algunas aplicaciones que se crearon con el objeto de divertir y entretenerte a los usuarios. Algunas de los desarrollos encontrados de manera comercial se explicarán a detalle en la **Tabla 2**.

Existen varias investigaciones en el rubro de la psicología que ocupan el movimiento de los ojos, en la **Tabla 3** se muestra una breve descripción de los mismos.

Tabla 1. Resumen de Trabajos Terminales.

Año	Nombre	Directores	Autor(es)	Descripción	No. TT
2006	Reconocimiento de patrones afectivos mediante movimientos corporales.	Rodolfo Romero Herrera.	Erick Christian Fierro Montesillo y Miguel Ángel Gómez Rivero.	Reconocimiento de patrones afectivos mediante movimientos corporales.	20060042
2000	Identificación de personas por medio de imágenes del iris.		Erick Manuel Archiga Estvez, Juan Manuel Cruz Alcaráz, Carlos Iturberro Monroy, Cesar Luis Mendoza Trujillo y Jorge Eduardo Ramírez Flores.	Sistema de identificación de personas por medio de imágenes del iris el cual emplea técnicas de tratamiento de imágenes, redes neuronales, transformada de onda y base de datos para realizar un sistema capaz de captura de imagen de iris de una persona, procesarla, obtener un código y compararlos con los existentes.	20000192
2007	Ratón controlado por movimiento ocular.	Flavio Arturo Sánchez y Edgardo Felipe Riverón	García Mata Eira Yanai, Lara Gil Juan Alfonso y Villegas Arenas Carmen.	Sistema que utiliza el movimiento de los ojos como ratón de la computadora enfocado para discapacitados motrices y evita el Síndrome del Túnel Carpiano.	20070091

Tabla 2. Resumen de Aplicaciones Comerciales.

Nombre	Costo (dólares)	Autor	Descripción
GT3D	30	Médico Aldo Faisal, un neurocientífico en el Colegio Imperial en Londres	El dispositivo de seguimiento ocular trabaja estableciendo el lugar observado por los ojos, a través de un proceso de calibración. El usuario se pone los lentes, con las dos cámaras conectadas, y mira detenidamente a una pantalla de computadora llena de puntos. Con el software desarrollado por los investigadores, se calcula cómo el ojo observa cada punto. Una vez calibrado, el dispositivo puede ser utilizado para controlar un mouse en la pantalla. [1]
Tobii PCEye Go	21.77	Tobii Technology	Es un software de interacción visual, el cual elimina la necesidad de un mouse o teclado físico. Tobii utiliza dos componentes, el mouse emulado que reemplaza el tradicional mouse con cursor, y el "Tobii Gaze Selection", el cual nos ayuda a controlar el escritorio de la computadora eliminando clics indeseados. [2]
EyeTech TM3	609.62	Ian Foulger, Bart Noé.	EyeTech TM3 es un dispositivo que reemplaza el mouse, diseñado para Microsoft Windows Vista and XP. Permite al usuario fijar el mouse en cualquier parte de la pantalla mirando al punto deseado. [3]
Sensory Eye-FX	832.46	Sensory Guru	Sensory Eye-FX ha sido diseñado específicamente con el control visual en la mente. Fue diseñado para desarrollar tempranamente las herramientas de causa y efecto a través de diversión y actividades simuladas. Esas actividades son diseñadas para ser usadas sin la necesidad de ser calibradas. Los usuarios pueden desarrollar sus habilidades de interacción, seguimiento, focalización, selección y creatividad. Con actividades como hacer patrones en la pantalla o con un instrumento musical. [4]
Inclusive Eye Gaze Learning Curve	3,835.70	Inclusive Technology	<p>La primera colección de 54 actividades creadas para enseñar las habilidades de la mirada y desarrollar la elección de habilidades. Esta colección lleva a los niños en la curva del aprendizaje desde la comprensión de la causa y efecto usando la mirada para comunicación, aprendizaje y ocio.</p> <p>Eye Gaze puede ser usado por maestros y terapistas como una herramienta de valoración para determinar las habilidades visuales y el potencial de la mirada, como una herramienta de aprendizaje progresivo la cual nos proporciona una estructura y oportunidades para practicar en cada nivel. [5]</p>

Tabla 3. Resumen de Proyectos de Investigaciones.

Año	Nombre Original	Nombre	Autor(es)	Descripción
2002	Eye Movement Tracking to Support the Second Language Learners' Self-Learning in Comprehension of English Texts.	Rastreo de movimientos del ojo para el soporte de estudiantes autodidactas de un segundo idioma en comprensión de lectura de textos en inglés.	Hidehiko Hayashi, Tutomu Maeno, y Susumu Kunifcji	Se experimenta con la respuesta de los movimientos oculares para detectar la respuesta de comprensión de los estudiantes del idioma inglés como segundo idioma.[6]
2004	Development of Communication Supporting Device Controlled by Eye Movements and Voluntary Eye Blink.	Desarrollo de dispositivo de soporte controlado por el movimiento de los ojos y el parpadeo voluntario.	J. Hori, K. Sakano, Y. Saitoh	Una interfaz de comunicación controlado por movimientos del ojo y abrir y cerrar voluntario de ojos se ha desarrollado para las personas con discapacidad que tienen parálisis motora y, por lo tanto, no pueden hablar. [7]
2010	The Status of the Development of Eye-movement Moving Device and Its Application in Psychology in China.	El estado del desarrollo de dispositivo de movimiento del ojo y su aparición en Psicología en china.	Li Jianwei	El dispositivo está formado por una celda de control, un cabezal óptico y con una cámara, el cual ha sido aplicado en campos de la psicología y otros como ciencias cognitivas, neurociencia, lingüística.[8]
2010			Jaquelaine Arzate Gordillo, Ma. del Rosario Rocha Bernabé e Iván Díaz Toalá.	Se trata de un programa que además de facilitar y hacer ameno el aprendizaje de asignaturas técnicas, estimula el autoestima y concentración en los jóvenes.[9]
2011	Eye detection and tracking in images with using bag of pixels.	Detección de ojos y seguimiento en imágenes usando bolsa de pixeles.	Mohammad Ali Azimi Kashani, Mahdi Mollaei Arani.	Detectar y seguir imágenes de ojos con un fondo complejo, distinguir las diferentes características del ojo del usuario. Normalmente un seguidor de mirada puede dividirse en cuatro pasos: Detección de rostro, detección de región del ojo, detección de pupila y seguimiento. [10]
2012	Development of the Eye Input Device Using Eye Movement Obtained by Measuring the Center Position of the Pupil.	Desarrollo de dispositivo de entrada usando el movimiento del ojo obtenido mediante la medida del centro de la pupila.	Yuki Oyabu, Hironobu Takano, Kiyomi Nakamura	Se propone un nuevo dispositivo que se usa con el movimiento de los ojos, sin la necesidad de ser calibrado. Un dispositivo tradicional requiere movimientos de cabeza además del de los ojos. Esto se intenta usando el movimiento derivado de la posición relativa de la pupila. El sistema propuesto provee a los usuarios de un cursor para uso de una computadora personal. [11]
2012	Using High-Speed Photography and Image Processing for Fixational Eye Movements Measurement.	Uso de fotografía de alta velocidad y procesamiento de imágenes para medición de movimientos oculares.	Jiamao Li y Xiaolin Zhang	Este artículo habla sobre un dispositivo que mide el movimiento de los ojos. Puede detectar rotación en tres grados de libertad, además de ser menos invasivo en su uso. [12]

1.1 Solución Propuesta

1.1.1 Bosquejo de la Descripción

Para comenzar el programa activará la cámara web que estará conectada a un puerto USB de la computadora y se ajustará una vez por usuario. Cuando la prueba comience, el usuario escuchará las preguntas previamente seleccionadas y grabadas, cada que una pregunta termine, la cámara automáticamente debe grabar la reacción de los ojos del usuario.

Por cada pregunta se va a tener un video, sin embargo el programa deberá convertir cada video a una serie de imágenes secuenciales.

Como se puede observar en la **Figura 1**, después del almacenamiento de video, sigue la etapa donde las imágenes serán preprocesadas, es decir, se les aplicarán los filtros necesarios para limpiar el ruido que puedan tener.



La etapa siguiente recibe las imágenes previamente filtradas, para así proceder a aplicar algunas técnicas como son la binarización, detección de bordes, umbralización, etc. que nos permitan detectar las coordenadas de la pupila, teniendo como origen el centro del ojo. Esta información se guardará en una base de datos.

Para terminar, el programa tomará la información de la base de datos, clasificando al usuario mediante reconocimiento de patrones y así poder informarle cuál es el canal sensorial más activo. En esta etapa se generará un reporte anexando sugerencias de aprendizaje al usuario. Cada una de estas etapas se explicará más adelante.

1.1.2 Prototipos

La herramienta a desarrollar tendrá la arquitectura que se muestra en la **Figura 2**. En la imagen observamos que al inicio del proceso se requiere que el usuario muestre el rostro despejado, de manera que se puedan analizar los movimientos oculares que la persona realiza en respuesta a una serie de preguntas previamente grabadas. Los movimientos oculares serán grabados mediante el uso de cámara/s y así clasificar los canales sensoriales.

Al final del análisis se mostrará el canal óptimo y sus respectivas recomendaciones de aprendizaje.

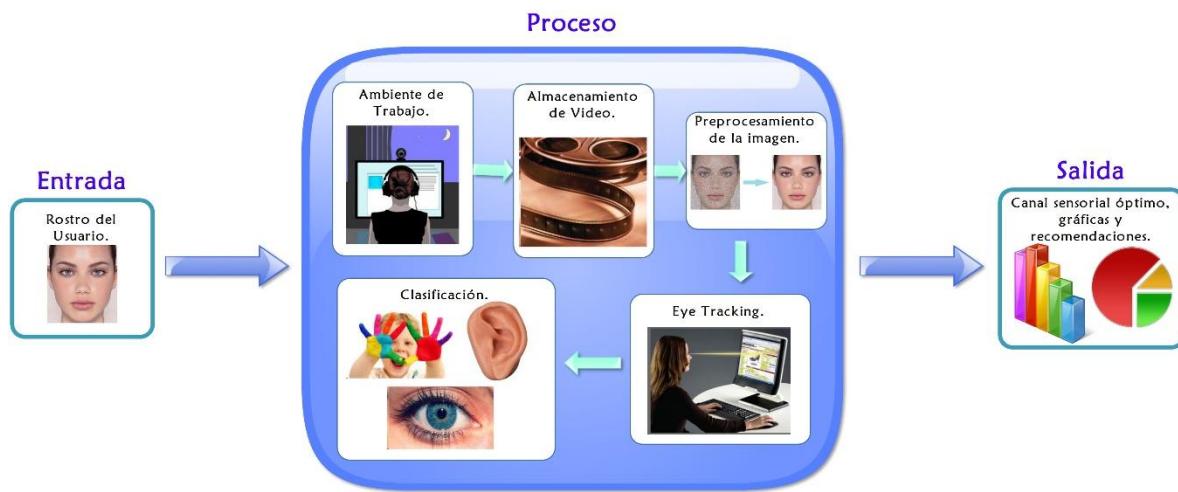


Figura 2. Diagrama de Bloques del Sistema.

Se propone de manera inicial que cada una de las etapas de la **Figura 2**, sean tomadas como prototipos, los cuales se describen de manera general a continuación:

I. Prototipo 1. Etapa I: “Ambiente de Trabajo” Se necesita definir el entorno en el cual nuestra herramienta deberá funcionar de manera óptima. Sin embargo esta etapa es la más importante, puesto que la selección del tipo de cámara o cámaras que usaremos, su posición con respecto al usuario y la iluminación son fundamentales para garantizar la calidad de las imágenes y facilitar el análisis posterior. Para ello es necesario elegir la técnica de eye tracking que se utilizará en el proyecto, pues dependiendo de esto podremos especificar si se requieren realizar ajustes tales como:

- ✓ Uso de leds infrarrojos para mejorar la iluminación.
- ✓ Montar la cámara en unos lentes o utilizar un triple.
- ✓ Adaptar un fondo de color específico para realizar la grabación.

II. Prototipo 2. Etapa II: “Almacenamiento de video” En este rubro se requiere precisar la calidad de video necesaria, así como el formato y el tiempo estimado de video. De esta manera podremos proseguir con la manipulación de la/s cámara/s mediante nuestra

herramienta, es decir que la grabación inicie automáticamente cuando termine la reproducción de la pregunta, así mismo que termine la grabación de video cuando comience la siguiente pregunta. Esta etapa convierte los videos tomados en imágenes secuenciales, para esto también se requiere definir la extensión que deberán tener las imágenes y la calidad de las mismas.

- III. Prototipo 3. Etapa III:** “Preprocesamiento de la Imagen” En esta fase se requiere tomar las imágenes secuenciales que se obtienen del prototipo anterior, las cuales pasarán por un proceso de filtrado y ciertos procedimientos que serán necesarios para entregar al siguiente prototipo las imágenes limpias y que ayuden a simplificar la detección de la pupila en el Eye Tracking.
- IV. Prototipo 4. Etapa IV:** “Eye Tracking” Aquí se implementará un algoritmo que nos indique cual es el seguimiento de la mirada de cada usuario. Primeramente, por cada imagen que se tenga de la etapa anterior éste prototipo será capaz de identificar la pupila del usuario así como de obtener las coordenadas de la misma.
- V. Prototipo 5. Etapa V:** “Clasificación” En este punto de acuerdo al seguimiento de la mirada, se realizará la clasificación entre visual, auditivo o kinestésico, y en base a ese resultado nuestro prototipo deberá darle al usuario recomendaciones de aprendizaje que le ayudarán a mejorar su nivel académico.

1.2 Justificación

En la actualidad nos encontramos en la era de la información en la cual el establecimiento de la comunicación, el envío y recepción de mensajes resultan cruciales en la vida diaria, por lo cual debemos asegurarnos que el proceso de comunicación se lleve a cabo satisfactoriamente, esto es muy importante tanto en escuelas como en empresas, para lograr el mayor desempeño de las personas.

En cuanto a la educación, la Programación Neurolingüística (PNL) es de beneficio para los estudiantes y maestros que lo pongan en práctica, ya que facilita la Enseñanza – Aprendizaje a través de la aplicación de modelos, estrategias y ejercicios que dependen del desarrollo de los sentidos y de las capacidades de los estudiantes, la práctica de modelos de la Programación Neurolingüística le permite al docente conocer las dificultades de aprendizaje que sus estudiantes poseen para solventar con un mínimo de error la problemática

Con ayuda de la programación neurolingüística y herramientas tecnológicas pretendemos implementar un prototipo que sea capaz de identificar la manera en la que las personas perciben el mundo, y así elegir el canal de comunicación más adecuado (auditivo, visual o kinestésico).

Con la **Tabla 3** citada en el estado del arte, se observa que existe software que ocupa el *eye tracking* con diferentes fines, no obstante el software que está destinado para fines pedagógicos y que utiliza esta tecnología es escaso, además en la Escuela Superior de Cómputo de acuerdo a la investigación realizada no existen trabajos relacionados directamente con la problemática atendida en el presente proyecto.

La herramienta expuesta en el presente documento está enfocada para el uso de expertos en Programación Neurolingüística como soporte de análisis de los canales sensoriales de cualquier persona. Dicho trabajo espera dar un resultado claro y conciso que se visualizará con estadísticas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y desarrollar una herramienta para la detección y clasificación de los canales sensoriales a partir del movimiento ocular, basados en la Programación Neurolingüística con el fin de seleccionar la manera óptima de aprendizaje de un estudiante.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Investigar el Estado del arte/Trabajo Previo.
- ✓ Determinar el ambiente de trabajo.
- ✓ Investigar tipos y características de cámaras.
- ✓ Estudiar métodos de tratamiento digital de imágenes.
- ✓ Investigar algoritmos y técnicas de *Seguimiento de Ojos*.
- ✓ Investigar información de tópicos relacionados con la Programación Neurolingüística y canales sensoriales.
- ✓ Seleccionar las preguntas que se harán a cada usuario.
- ✓ Grabar las preguntas de modo que el software las reproduzca de manera automática.
- ✓ Seleccionar las recomendaciones que se les dará dependiendo de su clasificación obtenida.
- ✓ Integrar los conocimientos adquiridos.
- ✓ Desarrollar la herramienta de clasificación de canales sensoriales.

C A PÍTULO 2
M A R C O T EÓRICO

2.1 Programación Neurolingüística

La Programación Neurolingüística trata de la estructura de la experiencia humana subjetiva; cómo organizamos lo que vemos, oímos y sentimos y cómo revisamos y filtramos el mundo exterior mediante nuestros sentidos. También explora cómo los describimos con el lenguaje y cómo reaccionamos, tanto intencionadamente como no para producir resultados [13].

Cada persona percibe el mundo en el que vive de manera diferente, realiza la asimilación de lo que percibe siguiendo un sistema personal y expresa sus experiencias de un modo en específico. Los seres humanos perciben su entorno con los cinco sentidos, sin embargo, existen algunos sentidos que una persona utiliza más que otros, estos adquieren el nombre de canal sensorial y puede ser: visual, auditivo o kinestésico¹.

La PNL inicia con una exploración de pautas de lenguaje y preguntas para generar un modelo de lenguaje que llegó a conocerse como metamodelo: el arte de utilizar el lenguaje mismo para hacer más claro el lenguaje. Los fallos de comunicación suelen producirse porque las palabras tienen distintos significados para las distintas personas.

2.1.2 Aprendizaje

Los aportes de investigaciones, a través de los años tienen la característica de haber resuelto problemas en el ámbito de la educación. Se ha despertado un interés por conocer el funcionamiento del cerebro, diseñar experiencia, organizadas y sistemáticas que faciliten su abordaje con modelos de intervención.

Actualmente las investigaciones de otros países se han realizado en el ámbito de la psicología y el desarrollo de modelos y estrategias de aprendizaje para la educación con PNL, así se emplean diversos métodos de rendimiento académico en el aprendizaje.

2.1.3 Canales sensoriales

Nuestros sentidos son estimulados en todo momento por una cantidad impresionante de información. Consciente o inconscientemente seleccionamos una parte de esos estímulos, y la interpretamos conforme a nuestros criterios personales, influidos entre otras cosas por nuestras creencias, valores y experiencias pasadas.

Si todos procesáramos o codificáramos la información de manera similar, podríamos decir que los malos entendidos no existirían, sin embargo, esto no es cierto, ya que cada uno percibimos, analizamos y procesamos la información de manera diferente, de acuerdo con los aprendizajes o modelos que hemos tenido desde nuestra más tierna infancia. Utilizamos los diferentes sentidos: visual, auditivo y cinestésico, es decir, los diversos canales mediante los cuales percibimos,

¹ Cinestesia o Kinesthesia.-Percepción del equilibrio y de la posición de las partes del cuerpo.

filtramos y procesamos inicialmente la información en nuestro interior, la que posteriormente, luego de pasar por otros filtros, metaprogramas, creencias, historia familiar, etc., será la salida o sentimientos. Esto se lleva a cabo a través de los sentidos: visual, auditivo, cinestésico. Se denominan “representacionales” porque es un término neutro y aplicable a cualquiera de los sistemas. Es la forma en que el cerebro humano representa los recuerdos, imágenes, ideas, experiencias, etcétera. [20]

El primer paso para comprender cómo pensamos es reconocer cuál es el canal sensorial que privilegiamos sobre el resto. Lo sorprendente de esto es que no sólo moldea cómo percibimos una vivencia, sino cómo representamos una idea, imaginamos una situación, o revivimos un suceso pasado. En otras palabras, tenemos el mismo canal sensorial preferido para los sucesos reales, que para los imaginados o recordados.

Las investigaciones señalan que la mayor parte de la gente privilegia uno de estos tres canales:

- Visual: pensar con imágenes. Las ideas, los recuerdos y la imaginación se representan con imágenes mentales.
- Auditivo: pensar con sonidos. Se recuerdan o imaginan voces, sonidos y/o ruidos.
- Cinestésico: pensar con sentimientos internos o sensaciones físicas (tacto, gusto, olfato).
Esto no quiere decir que la persona utilice exclusivamente su canal preferido, sino que utiliza un canal en mayor medida que los otros.

Existen diferentes técnicas para conocer el canal sensorial más utilizado en cada uno de nosotros. Por ejemplo el uso de predictores verbales, análisis de fisiologías, evaluaciones, método de accesos oculares, entre otras.

2.1.4 Accesos oculares

Uno de los más sorprendentes descubrimientos de la PNL se refiere al hecho de normalmente efectuamos movimientos oculares en determinadas direcciones según la modalidad sensorial a la que estamos accediendo. Tales movimientos se denominan claves de acceso ocular y son consistentes para cada sujeto. [19]

Los movimientos de los ojos de una persona delatan su canal sensorial o plano perceptivo, ya que existen movimientos oculares inconscientes con distinta direccionalidad (arriba, abajo, izquierda, derecha, etc.) y tienen significados diferentes.

Básicamente existen unos 6 patrones visuales universales como se observa en la **Figura 3**, con las diferencias propias en función de la lateralidad y otras variables que un experto PNL conoce.

- Mirada hacia arriba
 - Hacia la derecha: Construcción de imágenes, invención visual.
 - Hacia la izquierda: Recuerdo visual.
- Mirada horizontal
 - Hacia la derecha: Construcción de sonidos, invención auditiva.
 - Hacia la izquierda: Recuerdo auditivo.
- Mirada hacia abajo
 - Hacia la derecha: emociones, sensaciones, sabores
 - Hacia la izquierda: diálogo interior, auditivo.

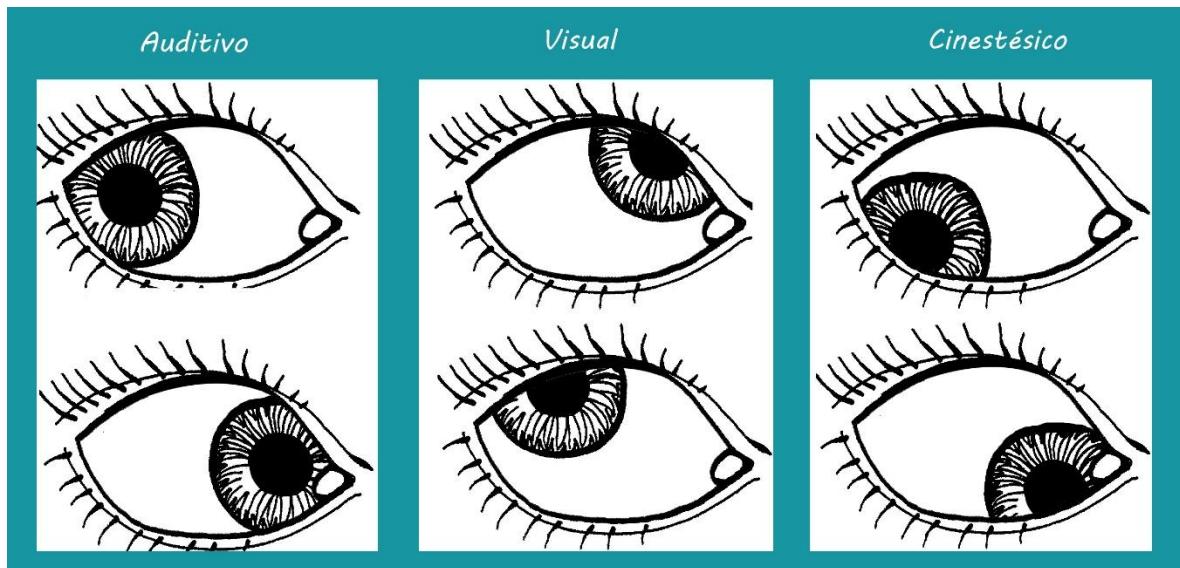


Figura 3. Ejemplo de clasificación de accesos oculares.

2.2 Procesamiento Digital de Imágenes

El campo del procesamiento digital de imágenes (PDI) se refiere a procesar las imágenes del mundo real de manera digital por medio de una computadora.

El interés por el PDI se basa principalmente en dos áreas de aplicación:

- ✓ Mejoramiento de la información pictórica para la interpretación humana.
- ✓ El procesamiento de datos de la imagen para su almacenamiento, transmisión y representación para percepción autónoma de máquinas.

2.2.1 Imagen Digital

Una imagen puede ser definida como una función bidimensional, $f(x,y)$, donde x y y son coordenadas espaciales (plano) y la amplitud f es llamada intensidad o nivel de gris en ese punto.

Si x y y son todos discretos y finitos, entonces la imagen es digital.



Figura 4. Pixel.

Una imagen digital está compuesta por un número finito de elementos, cada uno de los cuales con un valor y una posición particular, llamados píxeles (Picture Element).

2.2.2 Modelos de Color

El propósito de un modelo de color es facilitar la especificación de los colores de alguna forma estándar. En esencia, un modelo de color es una especificación de un sistema de coordenadas 3D y un subespacio dentro de dicho sistema donde cada color se representa por un punto.

Los modelos más comunes orientados al hardware usados en la práctica son el RGB (rojo, verde, azul) para monitores en color y una amplia gama de video cámaras; el CMY (cyan, magenta, amarillo) para impresoras en color; y el YIQ para TV en color.

En procesamiento de imágenes se utilizan RGB, HSV (matiz, saturación, valor) y HSI (matiz, saturación, intensidad)

2.2.2.1 RGB

Los colores se forman por la composición de diversas cantidades de los tres colores básicos o primarios: Rojo (R), Verde (G), y Azul (B). Se basa en la teoría triestímulo: el ojo humano tiene células fotosensibles de tres tipos, cada tipo de célula es sensible a un color básico.

Es un modelo normalmente utilizado para presentar color en los sistemas de video, cámaras, y monitores de computadoras. Usualmente se maneja para visualizar imágenes digitales en una pantalla. Cada pixel almacena tres cantidades que se miden en valores de 0 a 255, cuando se combina el rojo, verde y azul, en su máximo valor, el pixel es representado por el color blanco. Por el contrario, cuando el valor de cada componente es 0, el pixel es negro.

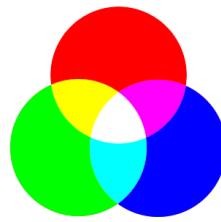


Figura 5. Representación del modelo RGB

2.2.2.2 HSV

Otro modelo de definición del color es el modelo HSV, también llamado HSB, basado en el trabajo de Albert Munsell y sus estudios de la percepción humana del color, definiendo los colores en función de las tres propiedades del color (matiz, saturación y valor).

El matiz o tonalidad, se representa como un grado de ángulo cuyos valores posibles van de 0 a 359° . Cada valor corresponde a un color. Ejemplos: 0° es rojo, 60° es amarillo y 120° es verde.

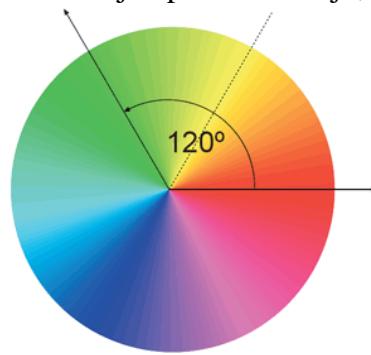


Figura 6. Representación del Matiz en el modelo HSV

La saturación se representa como la distancia al eje de brillo negro-blanco. Los valores posibles van del 0 al 100%. Cuanto menor sea la saturación de un color, mayor tonalidad grisácea habrá y más decolorado estará.

La luminosidad o valor representa la altura en el eje negro-blanco. Los valores posibles van del 0 al 100%.

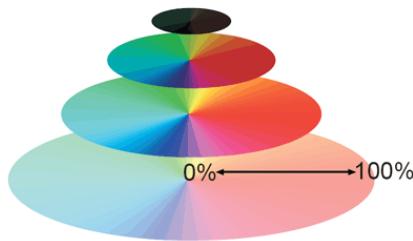


Figura 7. Representación de la Saturación en el modelo HSV.

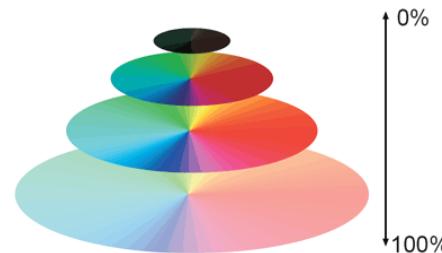


Figura 8. Representación del valor en el modelo HSV.

2.2.3 Binarización

La binarización es una técnica del procesamiento de imágenes que consiste en un proceso de reducción de la información de una imagen digital a dos valores: 0 (negro) y 255 (blanco).

Esta técnica consiste en comparar cada pixel de la imagen con un determinado umbral (valor límite que determina si un pixel será de color blanco o negro). Los valores de la imagen que sean mayores que el umbral toman un valor 255 (blanco), el resto de pixeles toman valor 0 (negro).

Para aplicar la binarización es necesario que la imagen esté representada en escala de grises.

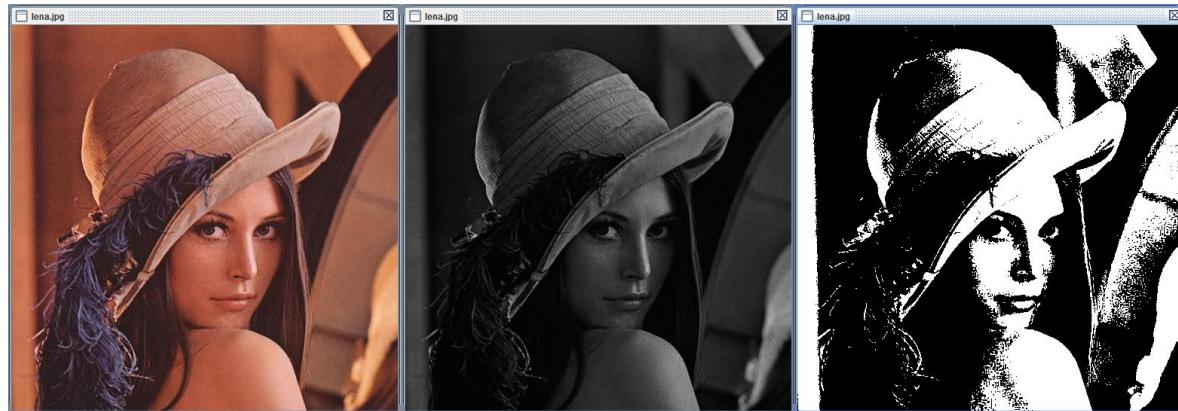


Figura 9. Imagen original, seguida de su representación en escala de grises, seguida de una binarización con umbral de 180.

2.2.4 Ruido

Es la información no deseada que contamina la imagen. $g(x,y)=f(x,y)+r(x,y)$ El origen puede estar tanto en el proceso de adquisición de la imagen (errores en los sensores), como en el de transmisión (debido a interferencias en el canal de transmisión). Existen distintos modelos de ruido, según las funciones de densidad de probabilidad que sigan sus intensidades $r(x,y)$:

- ✓ Ruido gaussiano
- ✓ Ruido uniforme
- ✓ Ruido mixto (aditivo y sustractivo)
- ✓ Etc.

2.2.4.1 Ruido Gaussiano

Modela el ruido producido por los circuitos electrónicos o ruido de los sensores por falta de iluminación y/o altas temperaturas. La intensidad de todos los píxeles se ve afectada como se puede ver en la **Figura 10**.



Figura 10. Se muestra la imagen limpia seguida de otra con ruido Gaussiano.

2.2.4.2 Ruido mixto (o aditivo y sustractivo)

Este ruido se presenta cuando a la imagen original se le ha agregado una cantidad de píxeles blancos (adicativo, 255) y otros negros (sustractivos, 0). Se produce normalmente en la cuantificación que se realiza en el proceso de digitalización, por lo cual es el más probable que se nos presente en nuestras imágenes, apreciable en la **Figura 11**. Debido a esto tendremos un apartado en el cuál explicaremos las técnicas de eliminación de ruido mixto.

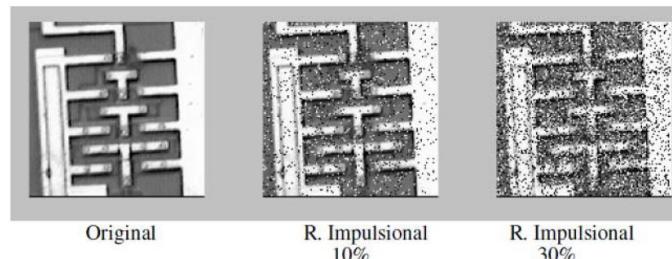


Figura 11. Ejemplo de imágenes con ruido mixto.

2.2.4.3 Ruido uniforme

Toma valores en un determinado intervalo de forma equiprobable. Se da en un menor número de situaciones reales.



Figura 12. Ejemplo de ruido uniforme.

2.2.5 Filtros

Los filtros son un medio muy efectivo para mejorar la calidad de las imágenes ya que permiten, entre otras cosas, eliminar ruido presente en las mismas.

2.2.5.1 Filtro Máximo

El filtro máximo asigna al pixel actual el valor máximo de entre los valores de sus vecinos. Como se puede apreciar en la **Figura 13** el resultado de aplicarle a la imagen original el filtro de máximo la va a iluminar más, por lo cual el ruido aditivo va a empeorar y por el contrario el sustractivo se elimina completamente.



Figura 13. Se aprecia la imagen original seguida de la aplicación del filtro máximo.

Esto sucede debido al algoritmo del filtro el cual trabaja de la siguiente manera:

1. Se recorren filas y columnas para posicionarse en un solo pixel en este caso el 1, y se recogen a sus 8 vecinos.

100	80	200
-----	----	-----

135	1	48
193	0	255

2. Obtiene los nueve pixeles en forma de arreglo.

100	80	200	135	1	48	193	0	255
-----	----	-----	-----	---	----	-----	---	-----

3. Los ordena de menor a mayor.

0	1	48	80	100	135	193	200	255
---	---	----	----	-----	-----	-----	-----	-----

4. Y elige el valor máximo que es 255 para colocarlo en el pixel analizado.

100	80	200
135	255	48
193	0	255

Por lo cual podemos notar que para nuestro problema, ésta no es una solución óptima ya que sólo eliminara el ruido sustractivo y aumentará el aditivo, ya que siempre que haya 255 en el arreglo es el pixel que elegirá para la nueva imagen.

2.2.5.2 Filtro Mínimo

Por el contrario el filtro mínimo elige el pixel con el menor valor entre los vecinos. Como se espera, el filtro mínimo hará más opaca la imagen al contrario del máximo, como puede apreciarse en la **Figura 14**.

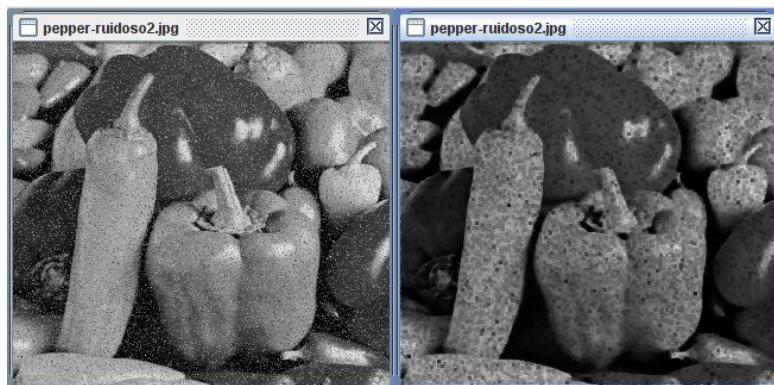


Figura 14. Se aprecia la imagen original seguida de la aplicación del filtro mínimo.

Esto sucede debido al algoritmo del filtro que trabaja en forma similar al del máximo, con la diferencia de que elige el valor mínimo del arreglo:

1. Se recorren filas y columnas para posicionarse en un solo pixel en este caso el 1, y se recogen a sus 8 vecinos.

100	80	200
-----	----	-----

135	1	48
193	0	255

2. Obtiene los nueve pixeles en forma de arreglo.

100	80	200	135	1	48	193	0	255
-----	----	-----	-----	---	----	-----	---	-----

3. Los ordena de menor a mayor.

0	1	48	80	100	135	193	200	255
---	---	----	----	-----	-----	-----	-----	-----

4. Y elige el valor mínimo que es 0 para colocarlo en el pixel analizado.

100	80	200
135	0	48
193	0	255

Por lo anterior, podemos ver que el filtro sólo agravara nuestro ruido sustractivo y sólo eliminara el ruido aditivo, permitiéndonos descartarlo la solución a nuestro problema.

2.2.5.3 Mediana

Al aplicar el filtro mediana (**Figura 15**), podemos apreciar que la imagen resultante está muy limpia, esto sucede debido al funcionamiento del algoritmo.



Figura 15. Se aprecia la imagen original seguida de la aplicación del filtro mediana.

1. Se recorren filas y columnas para posicionarse en un solo pixel en este caso el 1, y se recogen a sus 8 vecinos.

100	80	200
135	1	48

193	0	255
-----	---	-----

2. Obtiene los nueve pixeles en forma de arreglo.

100	80	200	135	1	48	193	0	255
-----	----	-----	-----	---	----	-----	---	-----

3. Los ordena de menor a mayor.

0	1	48	80	100	135	193	200	255
---	---	----	----	-----	-----	-----	-----	-----

4. Y elige el valor que se encuentra en la posición intermedia, como es un arreglo de tamaño par, la mediana se podría tomar indeterminadamente de la posición 3 o de la 4.

100	80	200
135	80	48
193	0	255

Debido a lo anterior podemos ver que si el ruido aditivo está representado por el 255 que se encuentra en la última posición del arreglo del paso 3, y el 0 representa el ruido sustractivo, siempre pondrá estos valores a los extremos por lo cual jamás los elegirá para sustituirlos en la nueva imagen. Así que éste filtro lo podemos tomar en cuenta para una solución óptima.

2.2.5.4 Promedio

En la **Figura 16** se aplica el siguiente algoritmo:

1. Se recorren filas y columnas para posicionarse en un solo pixel en este caso el 1, y se recogen a sus 8 vecinos.

100	80	200
135	1	48
193	0	255

2. Se suman todos los valores de la matriz anterior.

$$100+80+200+135+1+48+193+0+255 = 1012$$

3. Divide el resultado obtenido en el punto 2 entre 9.

$$1012 / 9 = 112.4$$

4. Toma la parte entera del resultado del punto 3 y lo sustituye por el pixel analizado.

100	80	200
135	122	48
193	0	255

Con el desarrollo del algoritmo podemos ver que la imagen resultante sale un poco emborronada ya que elige el promedio de los 8 vecinos para su nuevo pixel, así que elimina los cambios bruscos que puedan presentarse de un pixel a otro, como son el aditivo y sustractivo pero desafortunadamente nos devuelve una imagen alterada respecto a la original.



Figura 16. Se aprecia la imagen original seguida de la aplicación del filtro promedio.

2.2.5.5 Moda

Para la aplicación del filtro moda en la imagen 17 se puede apreciar que en los lugares donde predomina el negro (pixel en valor 0), se elimina un poco el ruido aditivo (pixel en valor 255).

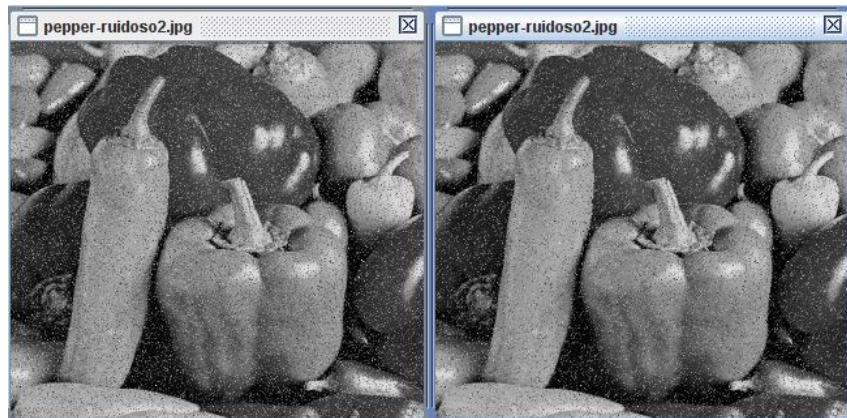


Figura 17. Se aprecia la imagen original seguida de la aplicación del filtro moda.

La explicación del algoritmo es la siguiente:

1. Se recorren filas y columnas para posicionarse en un solo pixel en este caso el 1, y se recogen a sus 8 vecinos.

100	80	200
-----	----	-----

135	1	48
80	0	255

2. Obtiene los nueve pixeles en forma de arreglo.

100	80	200	135	1	48	80	0	255
-----	----	-----	-----	---	----	----	---	-----

3. Cuenta las veces que aparece cada pixel.

Tabla 4. Número de apariciones de pixel

Pixel	Numero de apariciones
0	1
1	1
48	1
80	2
100	1
135	1
200	1
255	1

4. Y elige el pixel que más se repita en la matriz, en el caso de que ninguno se repita 2 o más veces, éste algoritmo puede tomar cualquiera de los valores que se encuentran en los 8 vecinos, incluyendo el pixel analizado.

100	80	200
135	80	48
193	0	255

2.2.5.6 Comparación

Podemos concluir que la imagen que se ve mejor es a la que se le aplicó el filtro mediana, a comparación de las demás elimina al máximo el ruido aditivo y el sustractivo sin tener que deformar la imagen original, por lo cual éste filtro es el que mejor elimina éste tipo de ruido debido al algoritmo que se explicó anteriormente ayuda al tipo de imagen que se analizó.



Figura 18. Se aprecia la imagen original, y los siguientes filtros máximo, mínimo, mediana, promedio y moda respectivamente.

2.2.6 Segmentación

Básicamente, la segmentación puede considerarse como la partición de una imagen, digamos $f(x,y)$ en un conjunto de regiones R homogéneas respecto a algún criterio cuya unión cubra la imagen completa. En otras palabras, el objetivo fundamental de la segmentación, en el proceso del análisis de imágenes, es el de separar los objetos de interés del resto no relevante el cual es considerado como fondo.

La segmentación está basada en dos principios fundamentales: discontinuidad y similitud. Cabe pues enfocar la segmentación orientada a bordes (discontinuidad) y orientada a regiones (similitud).

Una región es en líneas generales un área de la imagen en la que sus píxeles poseen propiedades similares (de intensidad, color, etc.), mientras que un borde es una línea que separa dos regiones, por tanto de diferentes propiedades (discontinuidades).

2.2.6.1 Detección de bordes

Los métodos de extracción de bordes de una imagen, se basan en la diferencia que experimenta una característica en dos regiones adyacentes y que indican la existencia de un borde. A la vez los bordes pueden clasificarse por su anchura, ángulo de su pendiente de variación, y las coordenadas de su punto medio. En general, se identifican diferentes modelos de bordes o contornos:

- ✓ Línea.
- ✓ Tipo escalón.
- ✓ Tipo Rampa.
- ✓ Tipo tejado.

2.2.6.2 Umbralización

Esta técnica de umbralización supone que la imagen posee un histograma con dos montañas y un valle, y por lo tanto, el objeto puede ser extraído del resto de la imagen mediante una simple operación que compare los valores de la imagen con el valor umbral T .

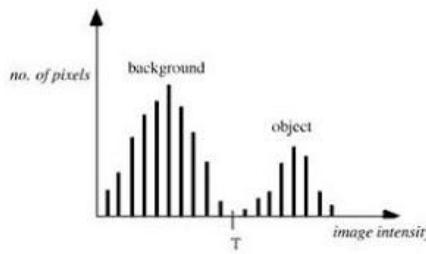


Figura 19. Histograma bimodal con umbral T .

Para una imagen $f(x,y)$, con el histograma de la **Figura 19**, los píxeles del objeto y del fondo tienen los niveles de gris agrupados en dos modos dominantes. La manera más obvia de extraer el objeto es seleccionar un umbral T que separe los dos modos.

La imagen $g(x,y)$, resultante de aplicar la umbralización, viene definida por:

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{si } (x,y) > T \\ 0 & \text{si } (x,y) \leq T \end{cases}$$

El resultado es una imagen binaria, donde los píxeles con valores de intensidad igual a 1 corresponden al objeto deseado; mientras que los píxeles con valor 0, corresponden al resto de la imagen.

La **Figura 20** muestra el resultado de la segmentación de una imagen mediante umbralización, donde la imagen original 20(a) contiene células blancas sobre un fondo negro, y las intensidades de los píxeles varían entre 0 y 255. El umbral $T=127$ se selecciona como el mínimo entre los dos modos del histograma 20(b), y el resultado de la segmentación se muestra en la **Figura 20(c)**, donde los píxeles con intensidades que superen el umbral ($T=127$) se representan en blanco. En

última instancia, en la **Figura 20(d)**, los bordes de las células se obtienen aplicando el laplaciano de orden tres a la imagen umbralizada (**Figura 20c**).

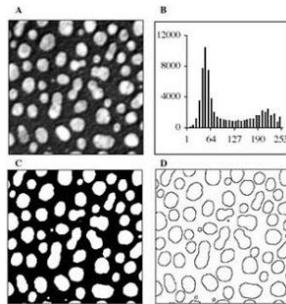


Figura 20. (a) Imagen original, (b) histograma de la imagen, (c) resultado de la umbralización con $T=127$, y (d) bordes de las células.

2.3 Eye Tracking

2.3.1 Definición

Eye-tracking se define como el proceso de medición del movimiento de un ojo en relación con la cabeza. A su vez se puede concluir su descripción como el programa de seguimiento del ojo de un dispositivo para medir la posición de los ojos y sus movimientos.

Al utilizar esta tecnología, el seguimiento se realiza con una cámara e iluminación infrarroja. Un software analiza los movimientos del ojo del usuario. Estos sistemas tienen un gran potencial de aplicación en varias disciplinas y áreas de estudio, desde el marketing y publicidad hasta la investigación médica o la psicolingüística, así como la interacción hombre máquina.

2.3.2 Técnicas de Eye Tracking

Los sistemas de Eye-tracking se pueden dividir en tres categorías por las metodologías de medición de movimientos oculares que impliquen: electro-oculografía (EOG), lentes de contacto/ bobinas de búsqueda y foto-oculografía (FOG) o video-oculografía (VOG).

Una de las características de los sistemas Eye-tracking requerida para la comodidad del usuario, es el carácter no invasivo de los sistemas. De esta forma podríamos agrupar las tres categorías de las metodologías antes mencionadas en dos: sistemas invasivos y no invasivos.

2.3.2.1 Sistemas Invasivos

Entre los sistemas invasivos que requieren el contacto físico con el sujeto encontramos los sistemas basados en lentes de contacto/bobinas de búsqueda y sistemas basados en electro-oculografía (EOG). Generalmente estos sistemas realizan mediciones de mayor precisión.

2.3.2.1.1 Sistemas basados en lentes de contacto

Esta es una de las técnicas más precisas que implica el contacto físico con el ojo a través de un mecanismo basado en lentes de contacto, pero inevitablemente estos sistemas resultan muy incómodos para los usuarios.

Esta técnica implica asignar un objeto de referencia mecánico u óptico para ser montado en la lente de contacto que luego se coloca directamente en el ojo, como por ejemplo fósforos que reflejan, diagramas de línea o bobinas inductoras, como se puede apreciar en la **Figura 21**. El método principal emplea bobinas de búsqueda y el movimiento se mide a través de un campo electromagnético. A pesar de que es el método más preciso, resulta ser el más invasivo.

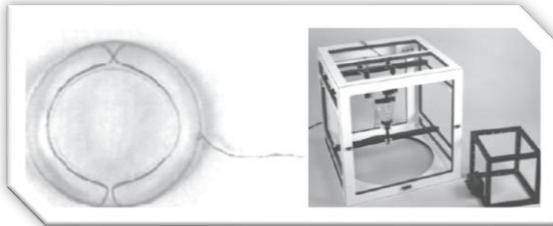


Figura 21. Ejemplo de bobina incrustada en lente de contacto y marcos de campo electromagnético para medir el movimiento ocular basado en la bobina.

Estas técnicas no parecen ofrecer una buena solución a la integración a la tecnología de Eye-tracking. A su vez, los problemas de salud derivados de los campos magnéticos de alta frecuencia no han sido resueltos todavía existiendo ciertas dudas sobre su efecto en el organismo humano. Muchos expertos expresan sus reservas sobre esta tecnología aún y cuando se lograsen solucionar estos problemas por tratarse de una técnica excepcionalmente invasiva.

2.3.2.1.2 Electro-oculografía (EOG)

Esta técnica fue una de las más utilizadas hace unos cuarenta años (y se sigue usando hoy en día), consiste en la medida de diferencias de potencial eléctricas en la piel detectadas por electrodos colocados alrededor del ojo (**Figura 22**). Esta técnica en principio ofrecería gran libertad de movimientos, pero al necesitar detectar la posición de la cabeza también se pierde esta propiedad. Estas diferencias de potencial se producen con movimientos de los ojos pero no son constantes y sus variaciones hacen difícil de usar EOG para medir los movimientos oculares lentos y la detección de dirección de la mirada.

Además, esta técnica requiere una potencia de cálculo muy baja y se puede utilizar en ausencia de iluminación.



Figura 22. Ejemplo de una Electro-oculografía.

2.3.2.2 Sistemas no-invasivos

Entre los sistemas no invasivos encontramos aquellos basados en técnicas de video o foto oculografía. El carácter no invasivo de estos sistemas hace que hoy en día sean los más utilizados. En este apartado serán introducidos los sistemas de video-oculografía, no obstante al tratarse de la tecnología que utilizaremos para capturar las imágenes utilizadas en este proyecto, en el apartado siguiente serán desarrollados en detalle.

2.3.2.2.1 Foto oculografía (POG) y video-oculografía (VOG)

Esta técnica incorpora una cámara o dispositivo de adquisición de imágenes para tratar de determinar el movimiento de los ojos utilizando las imágenes obtenidas por dicho dispositivo. Para ello, se analiza el comportamiento de características del ojo humano como el centro de la pupila, el contorno del iris o las reflexiones de la córnea e intentando establecer una relación entre estas y el punto donde se fija la mirada (PoR).

Estos sistemas están basados en la captura de imágenes por lo que requieren una iluminación del usuario adecuada. Algunos de estos sistemas cuentan con una o varias fuentes de iluminación aunque también existen sistemas que funcionan solamente con la luz visible.

En el caso de utilizar iluminadores, generalmente la luz emitida por estos es infrarroja. Puede apreciarse en la **Figura 23**. Esta se refleja en los ojos y es capturada por la cámara de vídeo. La información capturada se analiza para extraer la rotación de los ojos en función de los cambios de posición de las reflexiones. Distinguimos diferentes Eye-trackers por la característica del ojo que analizan.

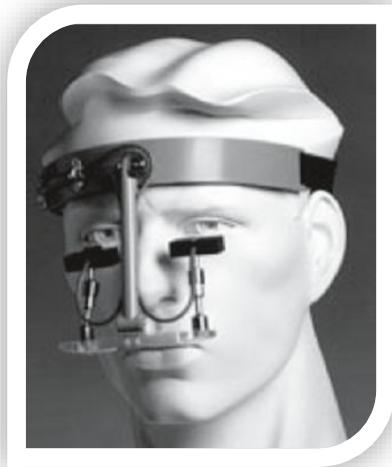


Figura 23. Ejemplo de un *eye tracker* con luces infrarrojas.

2.3.3 Aplicaciones

Se puede encontrar un amplio abanico de aplicaciones de Eye Tracking dentro del campo de la psicología, marketing, ergonomía, neurología o la estética, que nacen de las investigaciones realizadas en ciencias de la visión.

Los diferentes usos de esta tecnología se pueden dividir ampliamente en dos categorías, una pasiva (o de análisis y diagnóstico) y otra activa (como medio de interacción con la computadora):

- ✓ **Análisis y diagnóstico:** El *eye tracker* proporciona la evidencia objetiva y cuantitativa de los procesos relacionados con la visión y la percepción.
- ✓ **Como medio interactivo:** Sirve como un poderoso dispositivo de interacción con los ojos. Esta técnica es particularmente beneficiosa con pantallas grandes y en situaciones donde es importante utilizar las manos (determinadas discapacidades como la esclerosis múltiple, por ejemplo).

Con el tiempo, llegará a ser muy práctica en los espacios de trabajo del futuro, conforme vaya haciéndose más flexible, adaptable y al alcance de más personas.

Estas son algunas áreas de sus múltiples aplicaciones en las que se utilizan los seguidores de movimientos oculares.

2.3.3.1 HCI para discapacitados

Las herramientas de Interacción Humano-Computadora (HCI), actualmente son una de las aplicaciones más significativas. Dentro del área de la HCI algunos estudios ya han demostrado

que en tareas sencillas se puede ahorrar hasta un 60% de tiempo en seleccionar un objeto con la técnica del “eye tracking” en comparación con el ratón.

2.3.3.2 Estudios de ergonomía y HCI

Conocidas empresas de aeronáutica utilizan la tecnología de eye tracking en sus estudios de ergonomía, con objeto de verificar la mejor disposición de los paneles de mandos, especialmente en situaciones de emergencia. Las fuerzas aéreas lo aplican en este sentido, así como los fabricantes de automóviles.

Otros usos dentro de este apartado son:

- Control del tráfico aéreo y operadores de radar.
- Objetivos estratégicos, que incluyen el benchmarking, test comparativos, pruebas de usabilidad y mejora de la competitividad de la empresa.
- Estudios sobre conducción vial.
- Definición de pautas para el desarrollo de sistemas el e-learning con el alto nivel funcionalidad, usabilidad y accesibilidad

2.3.3.3 Mejora del rendimiento deportivo

En baloncesto, por ejemplo, se ha utilizado con objeto de entrenar lanzamientos a canasta, ayudando al jugador a que aprenda a fijarse en determinadas zonas del tablero con objeto de mejorar el tiro. También los estudios con imágenes móviles son muy útiles para el análisis fisiológico del movimiento ocular en donde se calculan características como los tiempos de reacción por ejemplo, un aspecto que puede ser muy útil para el estudio de reflejos de atletas profesionales.

2.3.3.4 Área clínica

Numerosos hospitales lo utilizan para analizar movimientos del ojo, realizar diagnósticos clínicos y corregir defectos. Actualmente se está aplicando con éxito en las conocidas operaciones de corrección de problemas refractivos (miopía, hipermetropía o astigmatismo) mediante láser.

2.3.3.5 Desarrollo de juegos avanzados de computadora

Ofrece muchas posibilidades creativas como original herramienta de interacción añadida a los mandos tradicionales (mediante casco) o como tecnología de optimización de los procesos de renderizado a tiempo real en interfaces tridimensionales.

2.3.3.6 Diagnóstico de dificultades de aprendizaje con fines pedagógicos

Cuando leemos textos en un lenguaje distinto al que estamos acostumbrados el sistema detecta dificultades en la lectura (fijaciones más duraderas y patrones repetitivos).

Estas características se trasladan también en la identificación de barreras de acceso a la información para casos de discapacidad cognoscitiva. La contemplación de otros factores, como la carga de trabajo mental medida a través de variaciones de la pupila abre aún más las posibilidades de un campo, que si bien lleva años desarrollándose, tiene todavía muchas dudas que resolver.

2.3.3.7 Investigación en percepción visual

Numerosas universidades europeas y norteamericanas recurren al seguimiento de movimientos oculares en sus estudios básicos sobre percepción, atención y búsqueda visual. Ya hay bastante material al respecto relacionados con la conducción de automóviles.

2.3.3.8 Área de diseño y publicidad

Estudios previos de mercado en los que antes de lanzar un anuncio se analizan las partes del mismo que más llaman la atención de los consumidores.

Los precisos conocimientos sobre psicología que se derivan de estas investigaciones ayudan a los publicistas a profundizar en los procesos implicados en la comunicación con sus clientes, fundamental para crear efectivas formas de promoción e innovar con ciertas garantías otras nuevas. Los medios digitales (publicidad, sitio web, etc.) de la competencia también se analizan comparativamente.

Cuando se procede a analizar el comportamiento visual de los usuarios de forma individualizada, se suelen emplear representaciones animadas de un punto sobre la interfaz, que indican dónde ha fijado en cada momento el participante su atención, así como un pequeño rastro en forma de línea que indica los movimientos sacádicos previos, tal y como podemos observar en la **Figura 24**.

Una representación estática alternativa, principalmente adecuada para el análisis aglomerado de los patrones de exploración visual de grupos de usuarios, son los 'heatmaps' o mapas de calor. En estas representaciones, las zonas 'calientes' o de mayor intensidad señalan dónde han fijado los usuarios su atención con mayor frecuencia.

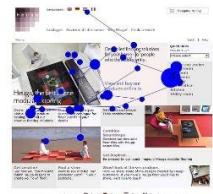


Figura 24. Representación de ruta sacádica.



Figura 25. HeatMap.

2.4 Reconocimiento de Patrones

2.4.1 Definición

Patrón puede ser definido como una descripción cuantificable o estructurada de un objeto o alguna otra entidad de interés (no sólo a un objeto visible, también a un sistema de datos). Se deduce que una clase patrón puede ser definida como un conjunto de patrones que comparten algunas propiedades en común. Ya que los patrones de la misma clase comparten algunas propiedades en común, podemos fácilmente diferenciar construcciones de diferentes modelos.

Cada patrón está representado por un conjunto de atributos. Es representado por un vector columna de d dimensiones llamado vector de atributos como se muestra en la **Figura 26**. El espacio de atributos ejemplificado en la **Figura 27** es el espacio de d dimensiones definido por este vector. Los patrones se representan como puntos del espacio de atributos.

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_d \end{bmatrix}$$

Figura 26. Vector de atributos.

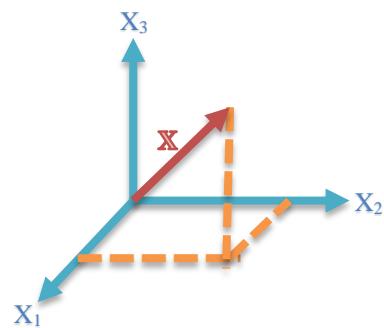


Figura 27. Espacio de atributos.

El Reconocimiento de Patrones es un proceso de clasificar cualquier objeto como miembro de una de varias clases o categorías. Dependiendo de la aplicación, los objetos pueden ser imágenes, formas de onda de señales o cualquier tipo de medición que necesite ser clasificada.

El Reconocimiento de Patrones es una ramificación de la Inteligencia Artificial, una “tema interdisciplinario” que actualmente desafía a científicos e ingenieros en varias disciplinas. Debido al hecho de que el reconocimiento de patrones es un atributo básico de los seres humanos y otras formas de vida, ha sido dado por hecho por un largo tiempo.

Los patrones cuya clase es conocida y son usados para diseñar el clasificador, son frecuentemente nombrados como patrones de entrenamiento o de aprendizaje. En la **Figura 28** se pueden apreciar veintiún patrones clasificados dentro de tres clases, los cuales cuentan con dos rasgos para ser reconocidos, la coordenada “X” y la coordenada “Y”.

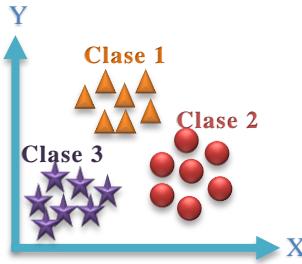


Figura 28. Ejemplo de muestreo de tres clases con dos atributos.

2.4.2 Etapas

En el Reconocimiento de Patrones podemos dividir un proceso completo en tres etapas: Adquisición de datos, Pre procesamiento de datos y Clasificación, como se muestra en la **Figura 29**.

En la Etapa de “Adquisición de datos”, datos analógicos del mundo físico son reunidos a través de un transductor y convertidos a un formato digital adecuado para el procesamiento computacional. En esta fase, las variables físicas son convertidas en un conjunto de datos medidos, indicados en la figura con la letra B. Ese conjunto de datos es usado como entrada para la segunda etapa “Pre Procesamiento de datos”, en donde son agrupados en un conjunto de rasgos característicos “C”. La Tercera Fase es un clasificador, en la forma de un conjunto de funciones de decisión. Con el conjunto de características el objeto puede ser clasificado. En la **Figura 29** el conjunto de datos B, C y D están en el espacio de patrones, espacio de características y espacio de clasificación, respectivamente.

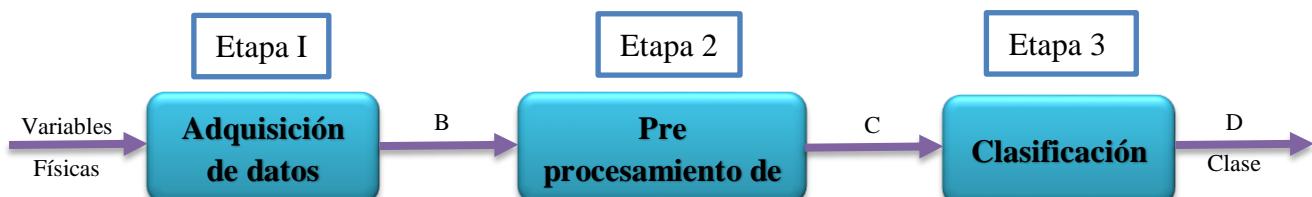


Figura 29. Representación Conceptual del Sistema de Reconocimiento de Patrones.

La etapa de “Pre procesamiento de datos” incluye el proceso de extracción de características. La razón de incluir esta extracción en esta fase es simplemente debido a que la cantidad de datos que obtenemos en la “Adquisición de datos” es enorme y debe ser reducida a una cantidad manejable pero conteniendo aún suficiente información discriminatoria para la identificación.

2.4.3 Aprendizaje Supervisado y No Supervisado

Clasificar un patrón en una categoría es por sí mismo un proceso de aprendizaje. Es esperado que el sistema de clasificación de patrones (o reconocimiento de patrones) deba tener la habilidad de

aprender y mejorar el desempeño de clasificación mediante el aprendizaje. La mejora en el rendimiento se lleva a cabo a través del tiempo de acuerdo con alguna medida prescrita.

Para el aprendizaje supervisado un sistema de reconocimiento de patrones aprende a través de un ajuste iterativo de parámetros. Se espera que después de una iteración del proceso de aprendizaje el sistema se convertirá en un sistema más efectivo y experto, el cual tendrá una mayor tasa de reconocimiento. Para tal fin el sistema de reconocimiento de patrones primero se someterá a un proceso de entrenamiento. Durante el proceso de entrenamiento, el sistema es presentado repetidamente con un conjunto de prototipos, es decir, con un conjunto de patrones de entrada junto con la categoría a la que pertenece cada patrón particular. Siempre que un error ocurra en la salida del sistema, seguirá un ajuste en los parámetros del sistema. Después de la correcta clasificación de todos los prototipos, el sistema será libre por sí solo de clasificar cualquier nuevo patrón que no se haya visto antes pero que, como sabemos, pertenece a la misma población de patrones usados en el entrenamiento del sistema. Si el sistema es bien entrenado, debería ser capaz de clasificar correctamente el nuevo patrón y muchos otros patrones como ese. La clasificación de patrones como se describió anteriormente es llamada un aprendizaje supervisado. La ventaja de utilizar un sistema de aprendizaje supervisado para el desempeño de una clasificación de patrones es que este puede construir un límite de decisión linear o no linear entre las diferentes clases de una manera no paramétrica y por lo tanto ofrece un método práctico para resolver problemas con una alta complejidad de clasificación de patrones.

Debería ser enfatizado que hay muchas otros casos en donde no existe un conocimiento desde el inicio de las categorías en las cuales los patrones serán clasificados. En esa situación, el aprendizaje no supervisado o de agrupamiento jugará un importante papel en la clasificación de patrones. En el aprendizaje no supervisado, los patrones son asociados por ellos mismos dentro de grupos con propiedades en común. Esas propiedades son normalmente conocidas como características. Es esperado que los patrones que pertenecen al mismo grupo estén muy cerca en el espacio de patrones, mientras que los patrones de diferentes grupos deberían estar más lejos unos de los otros.

2.4.4 Aplicaciones

La técnica de Reconocimiento de Patrones puede ser aplicada a muchos tipos de problemas que pueden ser numerables.

2.4.4.1 Reconocimiento de voz

Es un área en la cual se ha invertido un gran esfuerzo en investigación y desarrollo. Hablar es el medio más natural por el cual los humanos se comunican e intercambian información. Además la meta de construir máquinas inteligentes que reconozcan la información hablada lo ha sido durante mucho tiempo para científicos e ingenieros así como para escritores de ciencia ficción. Las posibles aplicaciones de tales máquinas son numerosas pueden ser usadas, por ejemplo, para mejorar la eficiencia en el ambiente de manufactura, para controlar máquinas en ambientes peligrosos remotos

y para ayudar a personas discapacitadas a controlar máquinas al hablarles. En la **Figura 30** se puede observar otro ejemplo de este tipo de aplicación.



Figura 30. Ejemplo de aplicación de Reconocimiento de Voz.

2.4.4.2 Reconocimiento de caracteres escritos a mano

Estas aplicaciones son principalmente utilizadas para automatizar la clasificación de correo mediante la identificación de código postal. El software de reconocimiento de patrones se hace cargo de reconocer caracteres, es decir, de clasificar cada carácter en la clase “letra, número, puntuación” correcta. Este problema ha sido estudiado por mucho tiempo. Debido a la amplia variación de tipos de letra que existen, el porcentaje de reconocimiento correcto aún no es lo suficientemente alto para un uso práctico.

Numerosos enfoques han sido sugeridos para esta aplicación. Hasta ahora, 121 caracteres especiales, incluyendo 52 letras mayúsculas y minúsculas del alfabeto, 10 dígitos y otros símbolos han reportado ser reconocidos. Reconocimiento-máquina de caracteres más sofisticados como los chinos también está en investigación.

2.4.4.3 Diagnóstico asistido por computadora

Es otra aplicación importante, dirigido a asistir doctores en la toma de decisiones de diagnóstico. El diagnóstico final es, por supuesto, realizado por el doctor. El diagnóstico asistido por computadora ha sido aplicado a, y es de interés para una variedad de información médica, tal como rayos x, imágenes tomográficas computarizadas, imágenes de ultrasonido, electrocardiogramas y electroencefalogramas.

2.4.4.4 Visión Computacional

Es un área en la cual reconocimiento de patrones es importante. Un sistema de visión computacional captura imágenes a través de una cámara y las analiza para producir descripciones de lo que fue fotografiado. Una aplicación típica de un sistema de visión computacional es en la industria manufacturera, ya sea para inspección visual automatizada o para automatización en la línea de ensamblaje. Por ejemplo, en inspección, objetos manufacturados en un trasportador en

movimiento pueden pasar la estación de inspección, donde la cámara se encuentre y deba ser comprobado si hay un defecto. Así, imágenes deben ser analizadas en línea y un sistema de reconocimiento de patrones tiene que clasificar los objetos en la clase “defectuoso” o “no defectuoso”. Después de eso, una acción debe ser tomada, como rechazar las partes infractoras.

2.4.5 Validación Cruzada

Validación cruzada k-fold es uno de los métodos más utilizados a fin de obtener una estimación de la precisión del modelo de aprendizaje. La precisión del modelo puede ser definida como el porcentaje de instancias clasificadas correctamente.

En este método el conjunto de datos es particionado en k muestras excluyentes y de tamaño similar. La creación del modelo y su medida de error se realizan repetidamente (k veces) con k-1 muestras para la creación del modelo y 1 muestra para la medida del error. En la **Figura 31** se ejemplifica una agrupación para realizar ésta técnica.

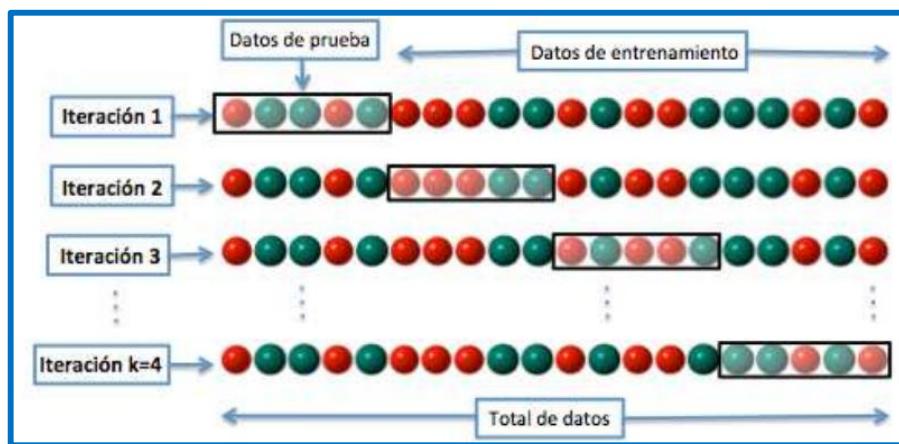


Figura 31. Ejemplo de agrupamiento de la validación cruzada.

C A PÍTULO 3
V I S I Ó N G E N E R A L D E L A
H E R R A M I E N T A

3.1 Requerimientos

3.1.1 Requerimientos Básicos (RB)

Tabla 5. Tabla de Requerimientos Básicos.

REQUERIMIENTOS BÁSICOS	
RB1	Una aplicación que indique al usuario su canal sensorial predominante.
RB2	Una aplicación que reconozca el movimiento de los ojos.
RB3	Una aplicación que ofrezca una interfaz intuitiva con el usuario.
RB4	Una aplicación que sirva tanto a una persona común, como a un especialista.
RB5	Una aplicación que sirva de guía para conocer métodos óptimos de aprendizaje.

3.1.2 Requerimientos Funcionales (RF)

Tabla 6. Requerimientos Funcionales de la herramienta.

REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	
RF1	La herramienta permitirá al usuario seleccionar el nivel de brillo y contraste de la entrada de video.
RF2	La herramienta accederá a la cámara definida en el RNF1.
RF3	La herramienta grabará video de acuerdo al RNF3.
RF4	La herramienta mostrará una serie de preguntas para realizar el estudio.
RF5	El usuario podrá elegir la pregunta a reproducir mediante un botón.
RF6	En el momento de que se concluyan todas las preguntas, el usuario podrá activar el inicio del análisis de los videos grabados.
RF7	La herramienta mostrará los cálculos realizados en gráficas.
RF8	Los resultados deberán mostrar los porcentajes de los canales sensoriales analizados.
RF9	La herramienta tendrá una sección de recomendaciones precargadas que serán mostradas según los resultados obtenidos del análisis.
RF10	El usuario podrá aumentar o disminuir brillo de la entrada de video.
RF11	El usuario podrá aumentar o disminuir contraste de la entrada de video.

3.1.3 Requerimientos No Funcionales (RNF)

REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES	
RNF1	La herramienta utiliza una cámara web Logitech C270, con una modificación que permite capturar luz infrarroja.
RNF2	La herramienta utilizará un mecanismo que soporte físicamente a la cámara descrita en el RNF1.
RNF3	El formato del video será mp4 con una resolución de 640x480 con 20fps.
RNF4	Una vez concluido un grupo de cinco preguntas, la herramienta deberá desplegar el siguiente grupo sustituyendo al anterior automáticamente.
RNF5	La herramienta mostrará una marca cuando la pregunta se haya concluido.
RNF6	La herramienta será desarrollada en C++.
RNF7	La cámara estará situada a 5cm del ojo.
RNF8	La cámara deberá contar con un arreglo de LED's infrarrojos como iluminación complementaria.
RNF9	La herramienta permitirá hacer el análisis tanto en el ojo derecho como el izquierdo.
RNF10	El usuario no deberá mover la cámara ni el mecanismo en ningún momento durante el estudio.
RNF11	El mecanismo requerirá de dos puertos USB disponibles.
RNF12	La pregunta no podrá ser seleccionada sin que la anterior haya sido completada.
RNF13	La herramienta incluirá un módulo que aplique los filtros necesarios a las imágenes antes de su procesamiento.
RNF14	Para su procesamiento, las imágenes deben observarse claramente y con el menor ruido posible.

Tabla 7. Requerimientos No Funcionales.

3.2 Reglas de Negocio (RN)

Tabla 8. Reglas de Negocio.

REGLAS DE NEGOCIO	
RN1	La herramienta solamente deberá ser usada con el mecanismo desarrollado y la cámara definida en el RNF1.
RN2	Para efectuar el análisis la herramienta actual necesita de 30 preguntas precargadas.
RN3	La clasificación se hará entre los tres canales sensoriales, visual, kinestésico o auditivo.
RN4	La herramienta grabará 5 segundos por cada pregunta.
RN5	Ni la herramienta ni el entorno deben de suponer una distracción para la persona durante el estudio.
RN6	Las preguntas serán concretas y neutrales de tal forma de que a la persona a la cual se le aplica el estudio las entienda y no le alteren.
RN7	La herramienta debe funcionar aunque la fuente de iluminación exterior sea nula, escasa o convencional.

3.3 Casos De Uso

En la **Figura 32** se puede observar los casos de uso empleados para el desarrollo de la aplicación.

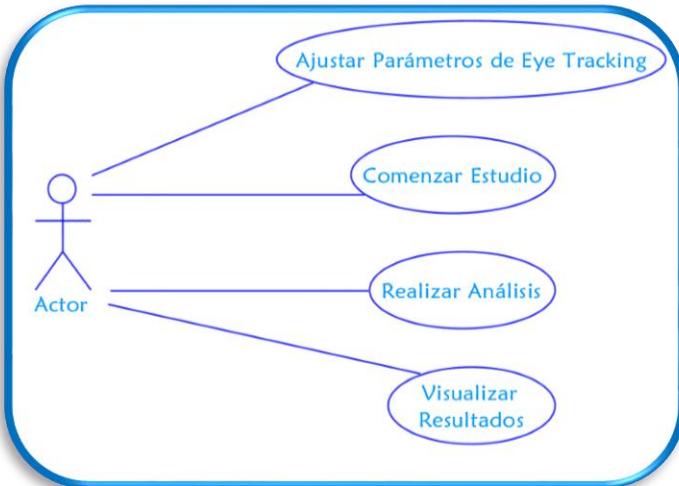


Figura 32. Casos de Uso de la herramienta.

3.3.1 CU No.1 “Ajustar Parámetros de Eye Tracking”

CU No. 1: AJUSTAR PARÁMETROS DE EYE TRACKING	
Propósito	Obtener los parámetros necesarios antes de realizar un seguimiento de ojos.
Resumen	Este caso de uso nos sirve para ajustar algunas propiedades de las imágenes, como es el brillo y el contraste. Además aquí se reproducen las instrucciones mediante un audio para ajustar los parámetros del eye tracking.
Entradas	Brillo, contraste y cámara.
Salidas	Área de trabajo para el <i>eye tracker</i> .
Actor	Usuario.
Precondición	Ninguna.
Postcondición	Se obtuvieron los parámetros satisfactoriamente.
Autor	Juan Miguel Martínez Jiménez.
Referencias	RF1, RF2, RF3, RFN1, RFN3, RFN9, RN1.
Tipo	Primario.

Trayectoria Principal		
#	Actor	Sistema
1		Activa la cámara principal de la computadora.[Trayectoria A][Trayectoria B]
2		Carga la imagen de la cámara seleccionada.[Trayectoria C]
3		Activa controles de brillo y contraste. [Trayectoria D] [Trayectoria E]
4	Da clic al botón “Reproducir Instrucciones”.	
5		Se reproduce audio: “Instrucciones”.
6	Delimita el área de trabajo dibujando un rectángulo alrededor del ojo en la imagen.	
7		Obtiene el área de trabajo
8		Activa el botón “Siguiente”
9	Da clic en el botón siguiente.	
FIN		

Trayectoria Alternativa A		
Descripción		No se encontró cámara.
Condición		No se ha encontrado ninguna cámara disponible.
Punto de Entrada		1
#	Actor	Sistema
A1		Despliega el mensaje “No se encontró entrada de video”.
A2		Busca de nuevo cámaras conectadas.
A3		Regresa 1 Trayectoria Principal.

Trayectoria Alternativa B		
Descripción		No se selecciona la cámara del prototipo I.
Condición		No se selecciona la cámara del prototipo I.
Punto de Entrada		1
#	Actor	Sistema
B1	Selecciona la cámara en la lista	
B2		Activa la cámara seleccionada.[Alternativa C]

Trayectoria Alternativa C		
Descripción		No se puede acceder a la cámara
Condición		No se puede acceder a la cámara elegida
Punto de Entrada		B.2
#	Actor	Sistema
C1		Despliega el mensaje “No se puede acceder a la cámara”.
C2		Regresa al paso 2 de la Trayectoria Principal.

Trayectoria Alternativa D		
Descripción		Ajustar Brillo (RF10).
Punto de Entrada		3
#	Actor	Sistema
D1	Selecciona el nivel de brillo.	
D2		Actualiza el valor de brillo de la imagen visualizada.

Trayectoria Alternativa E		
Descripción		Ajustar Contraste (RF11),
Punto de Entrada		3
#	Actor	Sistema
E1	Selecciona el nivel de contraste.	
E2		Actualiza el valor de contraste de la imagen visualizada.

Trayectoria Alternativa F		
Descripción		Se perdió conexión con la cámara.
Condición		En algún momento ya no se detectó la cámara que se eligió.
Punto de Entrada		Del paso 1 al 9.
#	Actor	Sistema
B1		Despliega el mensaje “La cámara se ha desconectado”.
B2	Da clic en el botón “Aceptar”.	
B3		Cierra la aplicación.

3.3.2 CU No.2 “Comenzar Estudio”

CU No.2: COMENZAR ESTUDIO	
Propósito	Obtener los videos necesarios para hacer el análisis.
Resumen	En esta sección, el sistema va a grabar el movimiento ocular mientras reproduce las preguntas que el usuario le indicó.
Entradas	Cámara.
Salidas	Videos.
Actor	Usuario.
Precondición	Cámara y leds conectados, diadema y cámara colocada correctamente.
Postcondición	Videos indicados en la regla de negocio RN2 grabados.
Autor	Patricia del Pilar Solórzano Villanueva.
Referencias	RF3, RF4, RF5, RF6, RFN3, RFN4, RFN5, RFN10, RFN12, RN2, RN5, RN6, RN7.

Tipo	Primario.
-------------	-----------

Trayectoria Principal		
#	Actor	Sistema
1	Da clic a botón “Siguiente” de la pantalla “Ajuste de parámetros”.	
2		Busca las preguntas registradas en el archivo de configuración de preguntas.[Trayectoria A]
3		Despliega grupo de preguntas (RFN4).
4	Da clic a “Play”.	
5		Abre pantalla modal de carga.
6		Reproduce la pregunta correspondiente. [Trayectoria B]
7		Graba Video. [Trayectoria C]
8		Espera 5 segundos (RN4).
9		Detiene la Grabación.
10		Guarda el Video.
11		Muestra una confirmación de la pregunta correspondiente. [Trayectoria D][Trayectoria E]
FIN		

Trayectoria Alternativa A		
Descripción		No Encuentra el archivo de configuración en la ruta precargada.
Condición		No Encuentra el archivo de configuración en la ruta precargada.
Punto de Entrada		2
#	Actor	Sistema
A1		Despliega el mensaje “No se puede encontrar el archivo de preguntas”.
A2	Da clic en el botón “Aceptar”.	
A3		Cierra la aplicación.

Trayectoria Alternativa B		
Descripción		No encuentra archivo de audio.
Condición		No encuentra archivo de audio.
Punto de Entrada		6
#	Actor	Sistema
B1		Despliega el mensaje “No se encuentra audio”.
B2	Da clic en el botón “Aceptar”.	
B3		Cierra la aplicación.

Trayectoria Alternativa C		
Descripción		Se perdió conexión con la cámara.
Condición		En algún momento ya no se detectó la cámara que se eligió.
Punto de Entrada		Del paso 7 al 11.
#	Actor	Sistema
C1		Despliega el mensaje “La cámara se ha desconectado”.
C2	Da clic en el botón “Aceptar”.	
C3		Cierra la aplicación.

Trayectoria Alternativa D		
Descripción		Bucle de preguntas.
Condición		Existen preguntas sin ícono de confirmación en la pantalla.
Punto de Entrada		11
#	Actor	Sistema
D1	Regresa al punto 4 de la trayectoria Básica.	

Trayectoria Alternativa E		
Descripción		Bucle de Grupos
Condición		Existen más grupos de preguntas pendientes
Punto de Entrada		11
#	Actor	Sistema
E1		Despliega el siguiente grupo de preguntas (RF4).
E2	Regresa al punto 3 de la trayectoria Básica.	

3.3.3 CU No.3 “Realizar Análisis”

CU No.3: Realizar Análisis	
Propósito	Obtener la estadística de los movimientos oculares del usuario detectados por la herramienta y clasificar su canal sensorial óptimo.
Resumen	Este caso de uso se desarrolla la parte más importante y compleja de la herramienta, ya que aquí se llevan a cabo todos los algoritmos que nos darán el resultado esperado. Primero se accederá a los videos que nos proporcionará el CU No.2, para poder obtener los frames de cada uno, procesarlos, detectar la pupila, y posteriormente analizar los movimientos realizados y poder clasificarlos.
Entradas	Videos.
Salidas	Archivos con resultados.
Actor	Usuario.
Precondición	Haber concluido con el CU2.
Postcondición	Generar archivos correctamente.
Autor	Patricia del Pilar Solórzano Villanueva.
Referencias	RF6, RN3.

Tipo	Primario.
-------------	-----------

Trayectoria Principal		
#	Actor	Sistema
1		Obtener video.[Trayectoria A]
2		Obtener un frame del video.
3		Procesar la imagen.
4		Detección de pupilas. [Trayectoria C]
5		Obtener coordenadas del conjunto fundamental de la Base de Datos. [Trayectoria B]
6		Clasificación.
7		Guardar Coordenadas del usuario actual la Base de Datos.
8		Guarda Estadísticas en la Base de Datos. [Trayectoria D]
FIN		

Trayectoria Alternativa A		
Descripción		No encuentra archivo de video.
Condición		No encuentra archivo de video.
Punto de Entrada		1
#	Actor	Sistema
A1		Despliega el mensaje “No se encuentra video”.
A2	Da clic en el botón “Aceptar”.	
A3		Cierra la aplicación.

Trayectoria Alternativa B		
Descripción		No hay conexión con la base de datos.
Condición		No hay conexión con la base de datos o existe problemas en la base de datos.
Punto de Entrada		Pasos 5 y 7.
#	Actor	Sistema
B1		Despliega el mensaje “No se puede conectar a la base de datos”.
B2	Da clic en el botón “Aceptar”	
B3		Cierra la aplicación.

Trayectoria Alternativa C		
Descripción		Bucle de extracción de frames.
Condición		Hay más frames.
Punto de Entrada		4
#	Actor	Sistema

**3.3.4 CU
“Visualizar
Resultados”**

C1	Entra al punto 2 de la Trayectoria Principal.
----	---

Trayectoria Alternativa D		
Descripción		Bucle de Videos.
Condición		Hay más videos.
Punto de Entrada		5
#	Actor	Sistema
D1		Entra al punto 1 de la Trayectoria Principal.

No.4

CU NO.4: VISUALIZAR RESULTADOS

Propósito	Mostrar al usuario los gráficos, tablas y recomendaciones.
Resumen	Este caso de uso permite al usuario observar sus resultados mediante algunas gráficas que el sistema le proporciona, además de unas recomendaciones para mejorar su aprendizaje.
Entradas	Archivos de resultados.
Salidas	Gráficos, tablas y recomendaciones.
Actor	Usuario.
Precondición	Haber concluido el CU3.
Postcondición	Ninguna.
Autor	Juan Miguel Martínez Jiménez.
Referencias	RF7, RF8, RF9.
Tipo	Primario.

Trayectoria Principal		
#	Actor	Sistema
1		Abre la ventana “Visualizar Resultados”.
2		Lee archivos que se generaron previamente.
3		Carga las gráficas.
4		Muestra los resultados. [Trayectoria A]
FIN		

Trayectoria Alternativa A		
Descripción		Visualizar alguna otra gráfica
Condición		Haber cargado las gráficas
Punto de Entrada		4
#	Actor	Sistema
A1	Selecciona una pestaña.	

3.4 Pantallas

En esta sección se muestran las pantallas que la herramienta ofrece al usuario, además de una explicación a cerca de la funcionalidad de los componentes que cada una de ellas tiene.

3.4.1 Ajuste de Parámetros

Objetivo: La pantalla que se muestra en la **Figura 33** es la primera que aparece en la herramienta, en donde se pretende obtener los parámetros necesarios para realizar el eye tracking.

Diseño: Del lado derecho de la pantalla se puede localizar la lista desplegable de cámaras, los controles de brillo y contraste y los botones que se explicarán más adelante. En la parte izquierda se observa un recuadro donde se verá la captura de video después de que se seleccione la cámara de la herramienta.

Entradas:

- **Cámara:** El usuario elige la cámara de la lista desplegable.
- **Brillo:** El usuario selecciona el nivel de brillo mediante un control.
- **Contraste:** El usuario selecciona el nivel de contraste mediante un control.
- **Área de trabajo:** El usuario encerrará en un rectángulo el área del ojo a analizar.

Salidas:

- Área de flujo de video.

Comandos:

- ✓ **Iniciar estudio:** Al presionarlo, se enviará a la siguiente pantalla donde comienza el estudio 
- ✓ **Escuchar instrucciones:** Reproduce el audio de instrucciones 

Estos botones no serán visibles hasta que se cumplan las precondiciones para ser mostrados.

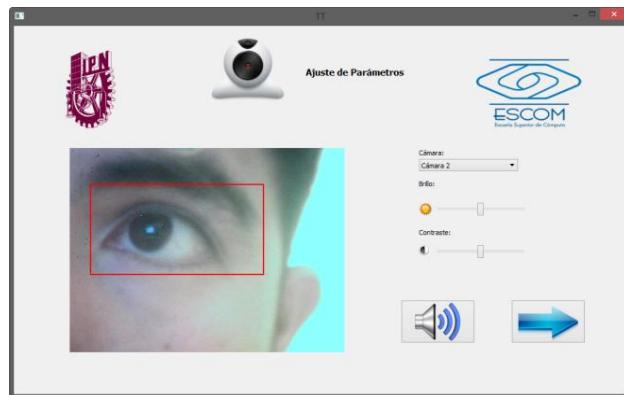


Figura 33. Pantalla “Ajuste de Parámetros”.

3.4.2 Evaluación

Objetivo: Ofrecer una manera cómoda la reproducción de preguntas al usuario para poder realizar la evaluación de sus movimientos oculares.

Diseño: En la parte central de la ventana se va a visualizar una especie de lista de preguntas, la cual se compone del número de la pregunta, un botón de play y un marcador que indica que la pregunta ya se ha respondido. En la parte inferior se encuentran dos botones que más adelante se explicará su funcionamiento.

Salidas:

- Número de la Pregunta.
- Audio de la pregunta.
- Marca de “Pregunta contestada” .

Comandos:

- ✓ **Iniciar Análisis:** Envía al proceso en segundo plano que analiza los movimientos grabados. Después Abre automáticamente la siguiente pantalla (Visualizar Resultados).

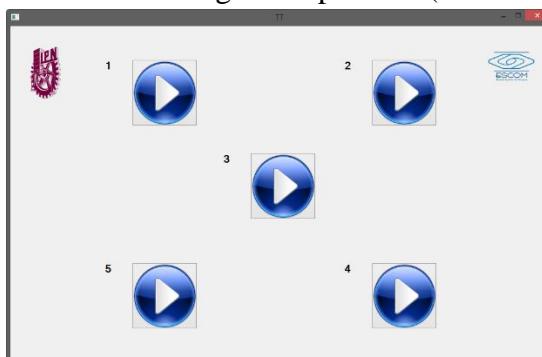


Figura 34. Pantalla “Evaluación”.

3.4.3 Visualizar Resultados

Objetivo:

Esta pantalla muestra los resultados finales, facilitará una sección de pestañas para visualizar diferentes gráficos y las recomendaciones predeterminadas que tiene el sistema según los resultados del usuario.

Diseño: Para facilitar la visualización de las gráficas, éstas se organizaron en pestañas las cuales se pueden observar en la parte superior de la venta. En la parte central se puede apreciar la gráfica correspondiente y su tabla informativa.

Salidas:

- Gráficos.
- Tablas Informativas.
- Recomendaciones.

Comandos:

- Pestañas de gráficas.

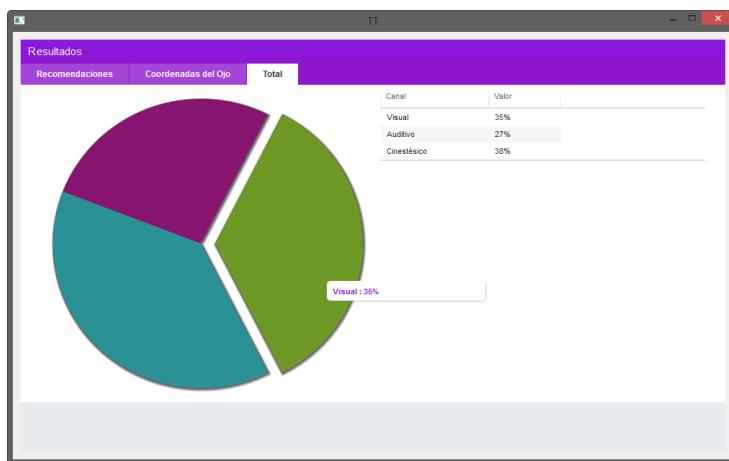


Figura 35. Pantalla “Visualizar Resultados” muestra un ejemplo de gráficas.

3.5 Diagramas de Secuencia

En esta sección se muestran los diagramas de secuencias correspondientes al:

- ✓ Caso de Uso 1 “Ajustar Parámetros de Eye Tracking”.
- ✓ Caso de Uso 2 “Comenzar Estudio”.
- ✓ Caso de Uso 3 “Realizar Análisis”.
- ✓ Caso de Uso 4 “Visualizar Resultados”.

En la **Figura 36**, **Figura 37**, **Figura 38** y **Figura 39** respectivamente.

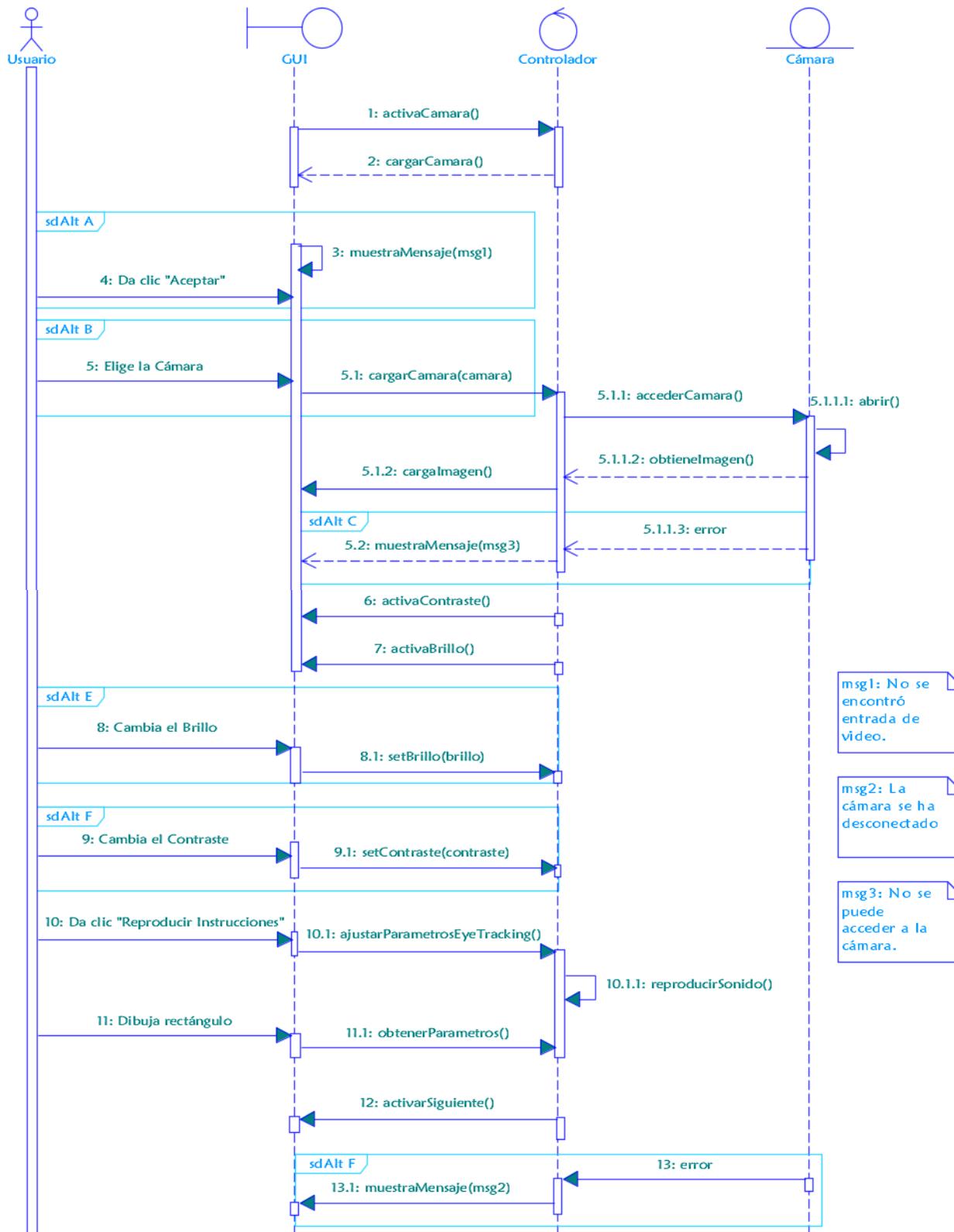


Figura 36. Diagrama de Secuencia CU1.

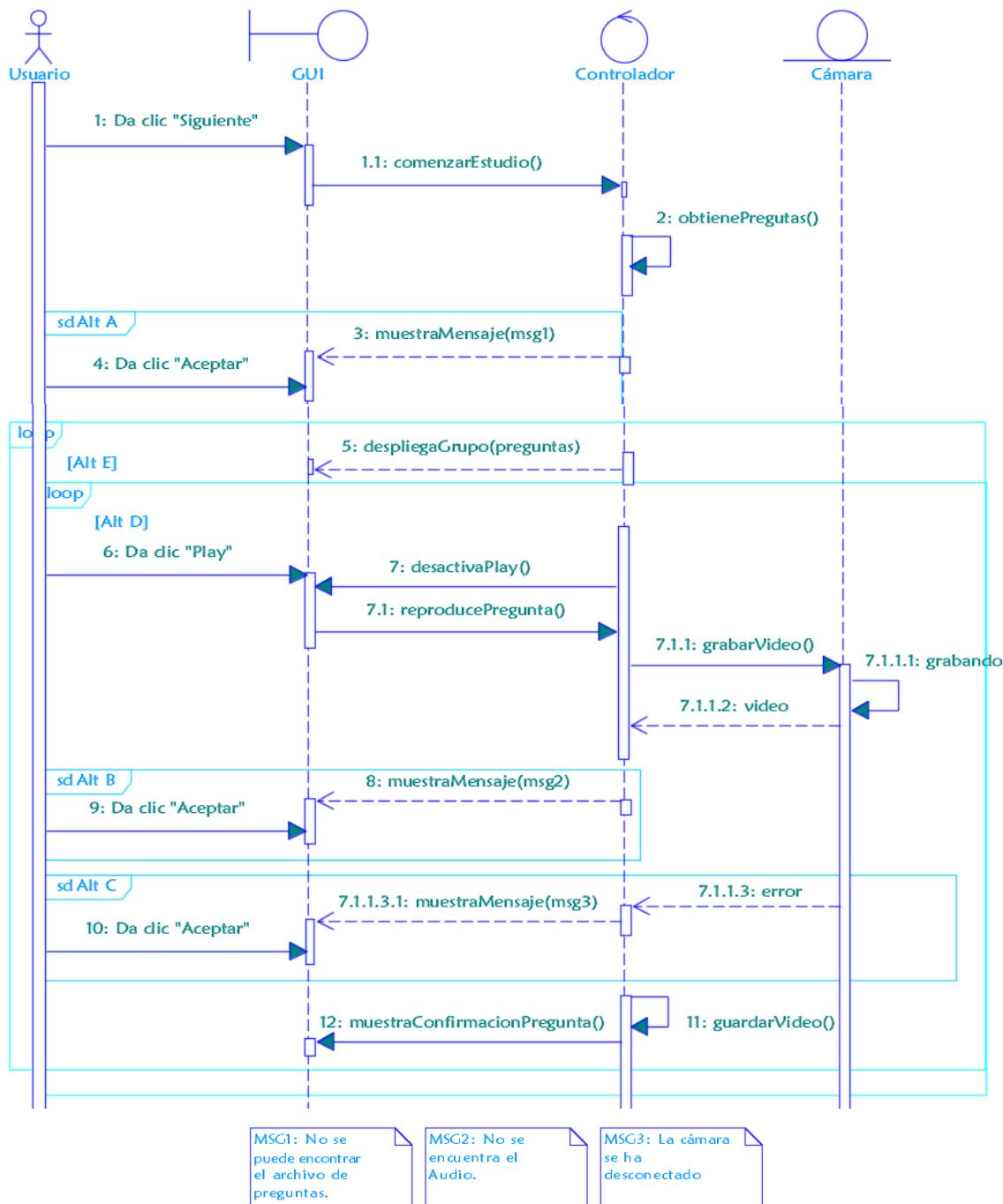


Figura 37. Diagrama de Secuencia CU2.

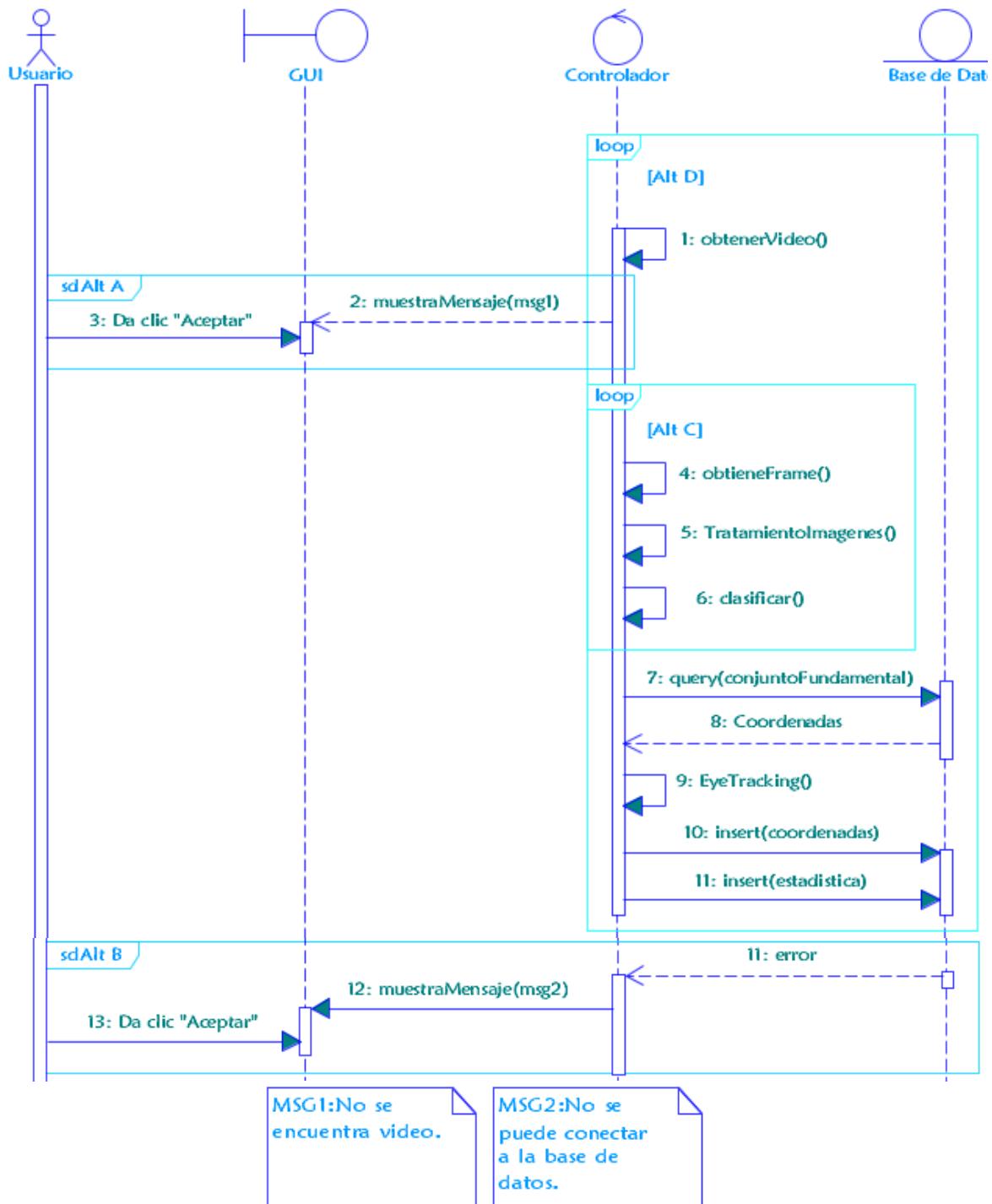


Figura 38. Diagrama de Secuencia CU3.

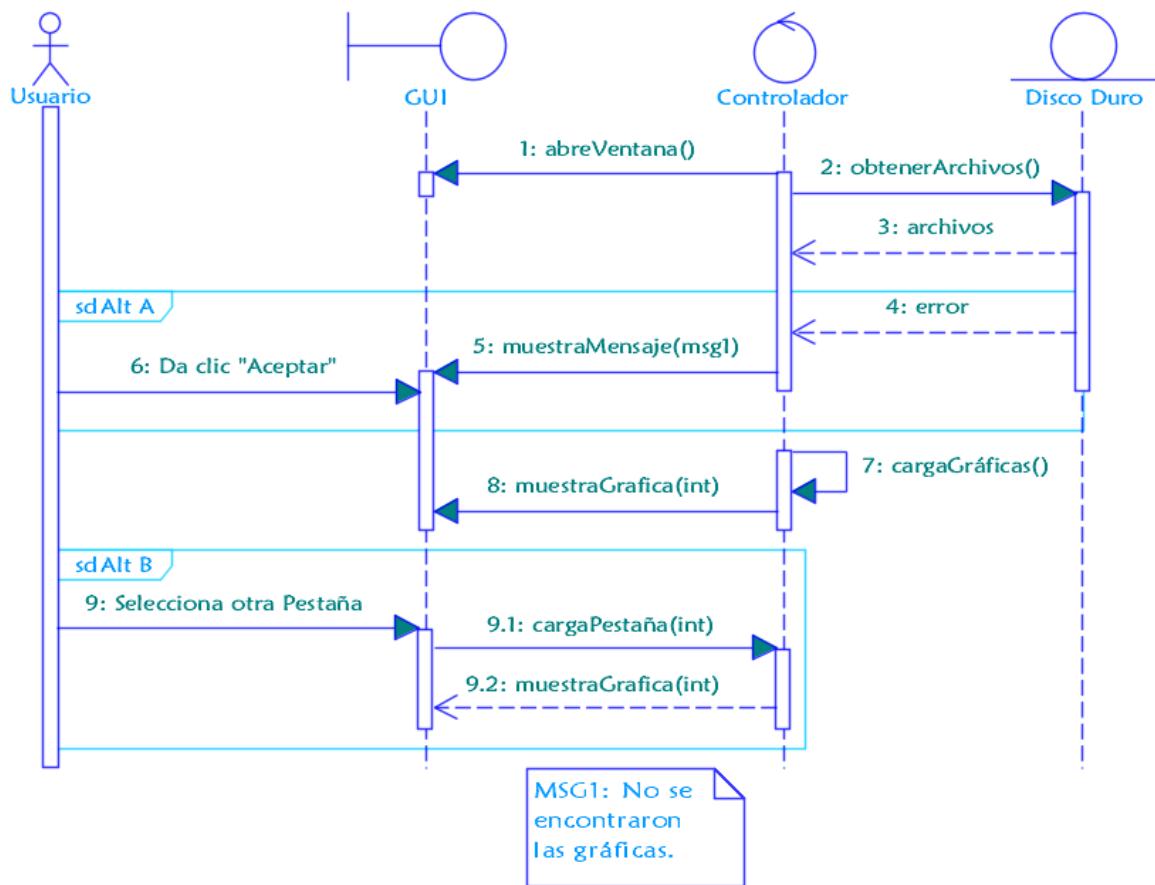


Figura 39. Diagrama de Secuencia CU4.

C A PÍTULO 4
P R O T O T I P O I
“ A M B I E N T E D E T R A B A J O ”

4.1 Análisis

4.1.1 Especificación del entorno de trabajo

Como se mencionó en el capítulo 1, en el primer prototipo se define el marco contextual, es decir, se detallan las características del ambiente óptimo para el funcionamiento de nuestro prototipo.

Se requiere de un espacio acondicionado con:

- ✓ Mesa o escritorio acorde al equipo de cómputo.
- ✓ Una o dos sillas ergonómicas.
- ✓ Un equipo de cómputo con las siguientes características:
 - Windows XP o superior.
 - 2GB de RAM.
 - Dos puertos USB disponibles.
 - Procesador a 1.2 GHz o superior.
 - Salida de Audio.

Se requiere que durante el procedimiento no existan elementos externos que interfieran con la concentración del usuario, tanto auditivos como visuales. Debido a lo anterior se requiere que el usuario apague su teléfono celular antes de la evaluación y que la habitación se encuentre aislada de sonidos y personas externas.

El usuario ingresará a la habitación y ocupara uno de los asientos. Se colocará la diadema y posteriormente iniciará el test mediante una serie de preguntas previamente grabadas en el sistema. Durante este proceso será recopilada la información necesaria para realizar la evaluación, posteriormente se llevará a cabo un diagnóstico el cual será desplegado en la pantalla indicando las estadísticas que muestran los resultados del uso de los canales sensoriales del usuario.

Es posible que el procedimiento sea efectuado siendo el usuario la única persona en la habitación, o bien que el mismo sea asistido por personal capacitado.

4.1.2 Iluminación

Nuestro proyecto como muchos otros de visión computacional requiere de una iluminación específica para obtener los resultados que deseamos.

Enfrentamos un gran problema inicial, porque iluminar nuestra área de trabajo implica hacer incidir luz en el ojo, lo cual resulta molesto e invasivo, por consecuente los resultados no serían los buscados.

Para enfrentar lo descrito en el párrafo anterior utilizamos luz infrarroja, la cual no es visible para el ojo humano, pero sí por cámaras con ciertas características.

4.1.3 Radiación Infrarroja

Es importante saber que la radiación infrarroja es la parte del espectro de radiación comprendida entre las microondas y la luz visible. Es algo natural en nuestro entorno y por eso todos estamos expuestos a pequeñas cantidades de esta radiación en todas las situaciones de la vida cotidiana [15].

Las longitudes de onda de la radiación infrarroja (IR) están comprendidas entre 780 y 1mm. Según la clasificación de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), esta banda se subdivide en IRA (de 780 nm a 1,4 μ m), IRB (de 1,4 μ m a 3 μ m) e IRC (de 3 μ m a 1 mm). Tal subdivisión se ajusta de manera aproximada a las características de absorción dependiente de la longitud de onda de la IR en el tejido y a los diferentes efectos biológicos resultantes [14].

Debido a las propiedades ópticas y fisiológicas, especialmente del ojo, normalmente se hace una distinción entre fuentes “puntuales”, es decir, pequeñas, y fuentes “extendidas”. Son aquéllas que subtienden un ángulo de visión en el ojo mayor que α_{min} , cuyo valor es normalmente de 11 miliradianes. Para todas las fuentes extendidas hay una distancia de visión en que α es igual a α_{min} ; a distancias de visión mayores se puede tratar la fuente como puntual. En lo que a protección contra la radiación óptica se refiere, las magnitudes más importantes relativas a las fuentes extensas son la radiancia (L , expresada en $Wm^{-2}sr^{-1}$) y la radiancia integrada en el tiempo (L_p en $Jm^{-2}sr^{-1}$), que expresan el “brillo” de la fuente. A efectos de valorar el riesgo para la salud, las magnitudes más importantes relativas a las fuentes puntuales o extensas, a distancias de la fuente tales que $\alpha < \alpha_{min}$, son la irradiancia (E , expresada en Wm^{-2}), que es equivalente al concepto de tasa de dosis de exposición, y la exposición radiante (H , en Jm^{-2}), que equivale al concepto de dosis de exposición.

A continuación se muestra una tabla de las fuentes de luz IR.

Tabla 9. Fuentes y sus apariciones

Fuente	Aplicación o población expuesta	Exposición
Luz solar	Trabajadores a la intemperie, agricultores, trabajadores de la construcción, marineros, público en general.	500 Wm^{-2}
Lámparas de filamento de tungsteno	Población y trabajadores en general Alumbrado general, secado de tintas y pinturas.	$105-106 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$
Lámparas de filamento de tungsteno halogenado	Sistemas de copia (fijación), procesos generales (secado, cocción, retracción, reblandecimiento).	$50-200 \text{ Wm}^{-2}$ (a 50 cm)
Diodos fotoemisores (p. ej., diodo de GaAs)	Juguetes, electrónica de consumo, tecnología de transmisión de datos, etc.	$105 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$
Lámparas de arco de xenón Proyectores, simuladores solares, luces de exploración	Operadores de cámaras de impresoras, trabajadores de laboratorios ópticos, artistas de variedades.	$107 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$
Hierro en fusión	Horno de acero, trabajadores de acerías 105.	$\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$
Baterías de lámparas de infrarrojos	Calentamiento y secado industriales.	$103 \text{ a } 8-103 \text{ Wm}^{-2}$
Lámparas de infrarrojos en hospitales	Incubadoras.	$100-300 \text{ Wm}^{-2}$

4.1.3.1 Efectos Biológicos

Por regla general, la radiación óptica no penetra a mucha profundidad en el tejido biológico, por lo tanto, los principales objetivos de una exposición a IR son la piel y los ojos. En la mayoría de condiciones de exposición el principal mecanismo de interacción de la IR es térmico, sólo los impulsos de muy corta duración que pueden producir los láseres, aunque no se tratan aquí, pueden originar también efectos termomecánicos. Con la radiación IR no son de prever efectos debidos a ionización o a la rotura de enlaces químicos, dado que la energía de las partículas, al ser inferior a 1,6 eV aproximadamente, es demasiado baja para causar tales efectos. Por la misma razón, las reacciones fotoquímicas sólo revisten importancia a longitudes de onda cortas en las regiones visible y ultravioleta del espectro.

Los distintos efectos de la IR para la salud, dependientes de la longitud de onda, se deben principalmente a las propiedades ópticas de los tejidos, dependientes también de la longitud de onda que presenta dicho tejido: por ejemplo, la absorción espectral de los medios oculares.

4.1.3.1.1 Efectos en el ojo

En términos generales, el ojo está bien adaptado para autoprotegerse frente a la radiación óptica del entorno natural. Además, está protegido fisiológicamente contra lesiones por fuentes de luz intensa, como el sol o las lámparas de alta intensidad, mediante una respuesta de aversión que limita la duración de la exposición a una fracción de segundo (0,25 segundos aproximadamente).

La IRA afecta principalmente a la retina, debido a la transparencia de los medios oculares. Además, cuando se mira directamente a una fuente puntual o a un haz láser, la capacidad de enfocar en la región de la IRA hace la retina mucho más susceptible de sufrir daños que ninguna otra parte del cuerpo.

Se considera que, con períodos de exposición cortos, el calentamiento del iris por absorción de radiación visible o IR próxima conduce a la formación de opacidades en el cristalino.

Al aumentar la longitud de onda, a partir de 1 μm aproximadamente, aumenta también la absorción por los medios oculares. Por lo tanto, se considera que la absorción de radiación IRA por el cristalino y el iris pigmentado influye en la formación de opacidades de cristalino. Las lesiones del cristalino se atribuyen a longitudes de onda inferiores a 3 μm (IRA e IRB).

El humor acuoso y el cristalino presentan una absorción especialmente elevada de la radiación infrarroja de longitud de onda superior a 1,4 μm .

En la región IRB e IRC del espectro, los medios oculares se vuelven opacos a causa de la elevada absorción por el agua que contienen. En esta región, la absorción se produce principalmente en la córnea y el humor acuoso. Por encima de 1,9 μm , el único medio realmente absorbente es la córnea. La absorción de radiación infrarroja de larga longitud de onda por la córnea puede elevar la temperatura del interior del ojo debido a la conducción térmica. Gracias a la rápida renovación de las células superficiales de la córnea cabe esperar que cualquier daño que se limite a la capa externa de esta última sea temporal.

En la banda de IRC, la exposición puede provocar en la córnea quemaduras similares a las de la piel. No obstante, las quemaduras de la córnea no son muy probables dada la reacción de aversión que desencadena la sensación dolorosa provocada por una exposición intensa.

4.1.3.1.2 Normas de Exposición

Los efectos biológicos de la exposición a la IR que dependen de la longitud de onda y de la duración de la exposición, sólo son intolerables si se sobrepasan ciertos valores umbral de intensidad o de dosis. Como protección frente a tales condiciones de exposición intolerables, organizaciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Oficina Internacional del Trabajo (OIT), el Comité Internacional de Radiación no Ionizante de la Asociación Internacional

de Protección contra la Radiación (INIRC/IRPA) y su sucesora la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP), así como la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH), han propuesto límites de exposición a la radiación infrarroja de fuentes ópticas tanto coherentes como incoherentes. La mayoría de las propuestas nacionales e internacionales sobre guías para limitar la exposición humana a la radiación infrarroja se basan en los valores límites umbral (TLV) publicados por la ACGIH (1993/1994) o coinciden exactamente con ellos. Dichos límites están ampliamente aceptados y se aplican con frecuencia en situaciones profesionales. Se basan en el estado actual del conocimiento científico y están destinados a prevenir lesiones térmicas de la retina y de la córnea y a evitar posibles efectos retardados en el cristalino. La revisión de 1994 de los límites de exposición de la ACGIH se expresa así:

1.- Para la protección de la retina contra lesiones térmicas en caso de exposición a luz visible (por ejemplo, en el caso de fuentes luminosas potentes, la radiancia espectral $L\lambda$ en $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr nm})$ ponderada con respecto a la función de riesgo térmico para la retina $R\lambda$ sobre el intervalo de longitudes de onda $\Delta\lambda$ y sumada sobre la gama de longitudes de onda de 400 a 1.400 nm, no deberá exceder de:

$$\sum_{400}^{1400} L\lambda R\lambda \Delta\lambda \leq \frac{5 \times 10^4}{\alpha \cdot t^{\frac{1}{4}}}$$

Siendo t la duración de visión limitada a intervalos de 10^{-3} a 10 segundos (es decir, en condiciones de visión accidentales, no de visión fija) y α el ángulo subtendido para la fuente en radianes calculado para $\alpha =$ máxima extensión de la fuente/distancia a la fuente $R\lambda$.

2.- Para proteger la retina de los riesgos de exposición de las lámparas de calor por infrarrojos o de cualquier fuente del IR próximo en ausencia de un fuerte estímulo visual, la radiación infrarroja en el intervalo de longitudes de onda de 770 a 1.400 nm tal como es observada por el ojo (sobre la base de un diámetro de pupila de 7 mm) en condiciones de visión de duración prolongada deberá limitarse a:

$$\sum_{770}^{1400} L\lambda R\lambda \leq \frac{6 \times 10^3}{\alpha}$$

Este límite se basa en un diámetro de pupila de 7 mm, ya que en este caso la respuesta de aversión (por ejemplo, cerrar los ojos) puede no existir debido a la ausencia de luz visible.

3.- Para evitar posibles efectos retardados sobre el cristalino, tales como formación retardada de cataratas, y proteger la córnea de una sobreexposición, la radiación infrarroja a longitudes de onda superiores a 770 nm deberá limitarse a 100 W/m^2 para períodos superiores a 1.000 s, y a:

$$\sum_{770}^{3000} E\lambda \Delta\lambda \leq 1.8 \times 10^4 t^{\frac{1}{4}}$$

para períodos más cortos.

4.1.4 Características de los Leds

Después de mostrar los datos arrojados en nuestra investigación en el subtítulo anterior, tenemos la siguiente tabla con las características de un LED infrarrojo comercial:

Tabla 10. Especificaciones del tipo de LED elegido. [16]

	Min	Típica	Max	Unidad	Condición
Intensidad de Radiación	11	12	-	mW/sr	If=20mA-100mA
Longitud de onda	-	940	-	nm	If=20mA
Ancho de banda del espectro	-	45	-	nm	If=20mA
Vista angular	-	40	-	Grados	If=20mA

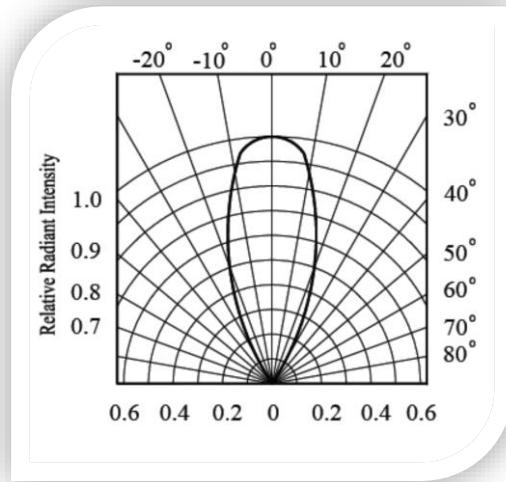


Figura 40. Intensidad de Radiación Relativa.

De lo anterior podemos observar que la longitud de onda de la luz IR producida por el LED es de 940 nm, lo cual entra en la categoría de IRA que prácticamente no es dañina y los cuidados para evitar resequedad son únicamente evitar un contacto directo prolongado en el ojo.

4.1.5 Requerimientos

En la **Tabla 11** se pueden apreciar los requerimientos que corresponden al prototipo actual, los cuales fueron seleccionados del Capítulo 3 en la sección de requerimientos.

Tabla 11. Requerimientos correspondientes al Prototipo I.

REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	
RF3	La herramienta grabará video de acuerdo al RNF3.
REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES	
RNF1	La herramienta utiliza una cámara web Logitech C270, con una modificación que permite capturar luz infrarroja.
RNF2	La herramienta utilizará un mecanismo que soporte físicamente a la cámara descrita en el RFN1.
RNF7	La cámara estará situada a 5cm del ojo.
RNF8	La cámara deberá contar con un arreglo de LED's infrarrojos como iluminación complementaria.
RNF9	La herramienta permitirá hacer el análisis tanto en el ojo derecho como el izquierdo.
RNF11	El mecanismo requerirá de dos puertos USB disponibles.

4.1.6 Casos de Uso

En la **Figura 41** se puede observar que se retomó el Caso de Uso presentado en el capítulo anterior, sin embargo, en esta imagen se pueden apreciar en azul los casos de uso que se utilizan en este prototipo.

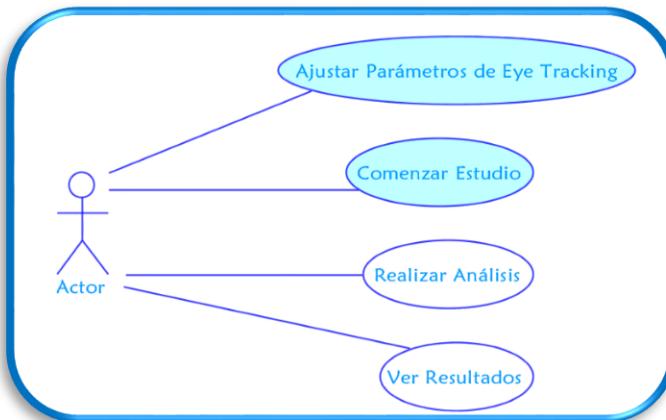


Figura 41. Diagrama de Caso de Uso correspondiente al Prototipo I.

4.2 Diseño

4.2.1 Diadema

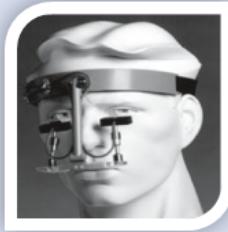
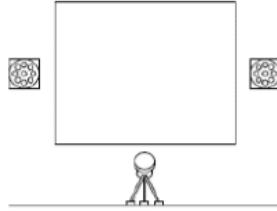
4.2.1.1 Estructura

A lo largo de la investigación de *Eye Trackers*, se observaron distintos tipos de seguidores, técnicas y estructuras, lo cual nos lleva a hacer una comparación entre algunos de esos modelos para poder analizar cuál es la mejor opción para este prototipo.

Debido a la investigación en la **Tabla 12** decidimos descartar los métodos invasivos ya que deseamos que nuestro prototipo sea lo más cómodo. La técnica de Foto Oculografía se acopla perfectamente a nuestro trabajo, debido a que nosotros utilizaremos una cámara para obtener el movimiento de los ojos. Sin embargo hay distintos tipos de estructuras que se presentan, a lo cual elegimos utilizar las ventajas de cada una de ellas:

- ✓ Utilizaremos una estructura práctica, fácil de operar y de construir.
- ✓ Una fuente de iluminación infrarroja.
- ✓ Deberá captar un espacio reducido al área de interés (un cuadrante de la cara donde se vea el ojo).

Tabla 12. Comparación de Estructuras de Eye Trackers.

Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas	Ejemplo
Lente de Contacto	El método principal emplea bobinas de búsqueda y el movimiento se mide a través de un campo electromagnético.	Esta es una de las técnicas más precisas.	Muy incómodos para los usuarios.	
Electro-Oculografía	Consiste en la medida de diferencias de potencial eléctricas en la piel detectadas por electrodos colocados alrededor del ojo.	Se puede utilizar en ausencia de iluminación.	Es difícil calcular movimientos lentos debidos a las diferencias de potencial que NO son constantes.	
	Método invasivo.		No permite moverse durante la prueba.	
Foto Oculografía	Esta técnica incorpora una cámara o dispositivo de adquisición de imágenes para tratar de determinar el movimiento de los ojos.	Es un método no invasivo.	Necesidad de una cámara.	
		Permite más libertad de movimiento al usuario.		
		Contiene una fuente de iluminación infrarroja, lo cual permite que la luz del ambiente no sea necesaria.		
		Práctico.	Depende de la luz del ambiente.	Armazón sin lentes, con cámara web apoyada sobre un costado.
		Fácil de operar.		
		Fácil de fabricar.		
		Fuente de iluminación infrarroja.	Debido al ángulo y posición de la cámara no sólo se captaría el área de interés.	Cámara que contiene dos fuentes de iluminación infrarroja y una cámara con triple.

4.2.1.2 Elección

Después de haber observado y comparado las propuestas anteriores, decidimos hacer nuestra estructura modificando una diadema de lupas de uso quirúrgico y adaptarle una cámara además de una placa de iluminación IR.

En la **Figura 42** se muestra la diadema, en la cual la parte azul será nuestra placa de LEDs que darán la iluminación necesaria, también se puede observar la cámara que irá adaptada a un riel que le permitirá elegir qué ojo se va a analizar y la posición de este.

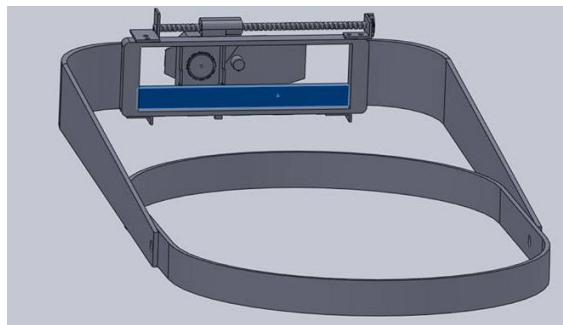


Figura 42. Diadema con la cámara y LEDs montados.

4.2.1.3 Ubicación

El seguimiento de la mirada utilizando iluminación infrarroja permite dos técnicas para la detección de la pupila: la técnica de pupila brillante y la técnica de pupila oscura **Figura 43**. También puede utilizarse la combinación de las dos técnicas para conseguir un sistema más preciso.

La técnica de pupila brillante ilumina el ojo con una fuente IR que se encuentre muy cerca del eje de la cámara. El resultado de la iluminación es tal que la pupila está claramente delimitada como una región brillante debido a la naturaleza de la parte reflectiva, la parte posterior del ojo. La técnica de pupila oscura por el contrario ilumina el ojo con una fuente situada fuera del eje de la cámara siendo así la pupila la parte más oscura del ojo en la imagen. En ambos métodos, la reflexión especular de la primera superficie de la fuente de iluminación fuera de la córnea (el elemento exterioróptico del ojo) también es visible. El vector entre el centro de la pupila y del reflejo de la córnea se suele utilizar en lugar del centro de la pupila como única indicación, para detectar la dirección de la mirada [17].

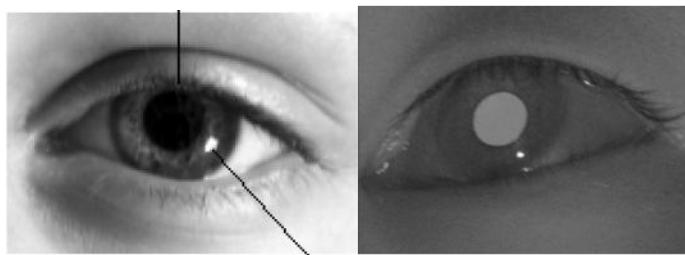


Figura 43. Técnica de pupila oscura (izda.) y técnica de pupila brillante (dcha.)

Se pueden emplear desde un LED hasta un arreglo de LEDs para iluminar el área a analizar. El objetivo de usar un arreglo de LEDs es generar una iluminación más fuerte en una imagen y así poder reducir la indeterminación en el cómputo de la imagen. [18]

4.3 Implementación

4.3.1 Cámara



Como se ha mencionado, la técnica de Eye Tracking estará basada en la iluminación infrarroja, sin embargo la mayoría de las cámaras cuentan con un filtro para que dicho tipo de luz no pueda verse.

Por lo cual seleccionamos la cámara Logitech HD Webcam C270, ya que nos permite quitar el filtro, dicho procedimiento se detallará más adelante.

4.3.1.1 Especificaciones

- Videoconferencias HD (1280 x 720 píxeles) con el sistema recomendado.
- Captura de vídeo: Hasta 1280 x 720 píxeles.
- Tecnología Logitech Fluid Crystal™.
- Fotos: Hasta 3.0 megapíxeles (mejora por software).
- Micrófono integrado con reducción de ruido.
- Certificación USB 2.0 de alta velocidad (se recomienda).
- Clip univeraditivo para monitores LCD, CRT o portátiles.

4.3.1.2 Filtro Infrarrojo

En la **Figura 44** se presenta la placa de la cámara web, en la parte izquierda podemos observar el integrado denominado CCD, del inglés Charge Coupled Device (dispositivo de carga acoplada), uno de los dos tipos principales de sensores de imágenes utilizados por las cámaras digitales.

Cuando se toma una foto, el sensor CCD recibe la luz que pasa a través del objetivo de la cámara. Cada uno de los miles o millones de diminutos píxeles que componen el sensor CCD convierte esta luz en electrones. El número de electrones, generalmente conocido como carga acumulada de píxeles, se mide y a continuación, se convierte en un valor digital.



Figura 44. Circuito de la Cámara Web

Sin embargo, en dicha imagen se puede apreciar un fragmento del filtro infrarrojo, el cual es una pequeña pieza tornasol pegada al CCD, este fue el problema que se nos presentó al momento de intentar retirar el filtro, ya que cualquier tipo de contacto con el sensor provocaba que la cámara dejara de funcionar, por lo cual, fue necesario investigar otros procedimientos que nos permitieran desprender el filtro sin dañar la cámara.

Se requirió de una secadora con aire caliente que nos permitiera disolver el pegamento del filtro y de esta manera proceder a desgastar los bordes de la pieza con una aguja hipodérmica, para después desprenderlo con unas pinzas. Este procedimiento se debe llevar a cabo con sumo cuidado debido a la sensibilidad del sensor CCD, el cual no debe ser tocado.



Figura 45. Cámara sin filtro infrarrojo.

4.4 Pruebas

4.4.1 Protocolo de Pruebas

El alcance de estas pruebas está enfocado en la validación del Prototipo I.

Código	Título de la prueba
PROTOTIPOI_01	Integración de la Cámara a la diadema.
PROTOTIPOI_02	Integración de los LEDs a la diadema.

4.4.2 Fichas de Realización de Pruebas

Código de Prueba:	PROTOTIPO1_01	Fecha:	26 /03/2014			
Título de Prueba:	Integración de la Cámara a la diadema.					
Verificación de los siguientes requerimientos:						
<ul style="list-style-type: none">✓ RNF2: La herramienta utilizará un mecanismo que soporte físicamente a la cámara.<ul style="list-style-type: none">• Colocar y ajustar la diadema a un usuario.✓ RNF9: La herramienta permitirá hacer el análisis tanto en el ojo derecho como el izquierdo.<ul style="list-style-type: none">• Ubicar la cámara en el ojo derecho.• Ubicar la cámara en el ojo izquierdo.✓ RF3: La herramienta grabará video.<ul style="list-style-type: none">• Grabar video con la cámara mediante un software auxiliar.						
Entorno de prueba:	La cámara se encuentra integrada a la diadema.					
Objetivo del escenario de prueba:	Verificar que la cámara y la diadema cumplan con los requerimientos anteriormente mencionados.					

Id	Acciones	Resultados	Comentarios
Colocar y ajustar la diadema a un usuario.			
1	Colocar la diadema en la cabeza de un usuario.	La diadema se ajusta satisfactoriamente al tamaño y forma de la cabeza del usuario.	
Ubicar la cámara en el ojo derecho.			
2	Deslizar la cámara hacia el ojo derecho.	El lente de la cámara enfoca el ojo derecho del usuario.	
Ubicar la cámara en el ojo izquierdo.			
3	Deslizar la cámara hacia el ojo izquierdo.	El lente de la cámara enfoca el ojo izquierdo del usuario.	
Grabar video mediante un software auxiliar.			
4	Abrir el software “WebCam Companion 3”.	Se abre la aplicación y muestra un menú.	
5	Seleccionar la opción “Capturar”.	En el marco de captura se muestra la imagen tomada, sin embargo la cámara predeterminada es la webcam integrada en la computadora (Laptop).	
6	Seleccionar la cámara del prototipo.	En el marco de captura se muestra la imagen tomada por la cámara del prototipo.	
7	Ajustar la cámara con un ángulo de inclinación que permita visualizar la pupila del usuario aunque mire hacia abajo.	La cámara capta la pupila del usuario cuando éste mira en cualquier dirección.	
8	Dar clic en “Grabar video”.	El video previamente grabado se encuentra en la carpeta predeterminada. En el video puede visualizarse el movimiento de la pupila izquierda del usuario.	

Código de Prueba:	PROTOTIPO1_02	Fecha:	26 /03/2014
Título de Prueba:	Integración de los LEDs a la diadema.		
Verificación de los siguientes requerimientos:			
<ul style="list-style-type: none"> ✓ RNF1: La herramienta utiliza una cámara web con una modificación que permite capturar luz infrarroja. ✓ RN7: La herramienta debe funcionar aunque la iluminación del entorno sea nula, escaza o convencional. <ul style="list-style-type: none"> • Grabar video en un ambiente con iluminación nula. • Grabar video en un ambiente con iluminación escaza. • Grabar video en un ambiente con iluminación convencional. 			
Entorno de prueba:	<ul style="list-style-type: none"> ○ RNF8: La herramienta contará con un arreglo de LEDs infrarrojos como iluminación complementaria. 		
Objetivo del escenario de prueba:	Verificar que el arreglo de LEDs es adecuado para grabar en un ambiente con poca o nula iluminación y que no altera la grabación en un ambiente con luz convencional.		

Id	Acciones	Resultados	Comentarios
Grabar video en un ambiente con iluminación nula.			
1	Abrir el software “WebCam Companion 3”.	Se abre la aplicación y muestra un menú.	
2	Seleccionar la opción “Capturar”.	En el marco de captura se muestra la imagen tomada, sin embargo la cámara predeterminada es la webcam integrada en la computadora (laptop).	
3	Seleccionar la cámara del prototipo.	En el marco de captura se muestra la imagen tomada por la cámara del prototipo.	
4	Dar clic en “Grabar video”.	El arreglo de LEDs permite que el video tenga una iluminación adecuada.	
Grabar video en un ambiente con iluminación escaza.			
5	Dar clic en “Grabar video”.	El arreglo de LEDs permite que el video tenga una iluminación adecuada.	
Grabar video en un ambiente con iluminación convencional.			
6	Dar clic en “Grabar video”.	El arreglo de LEDs no causa ningún problema en el video.	

4.4.3 Resultados

La diadema muestra resultados satisfactorios al ajustarse fácilmente a diferentes tamaños y formas de las cabezas de los usuarios. La placa con el arreglo de LEDs hace que la herramienta funcione sin que se requiera una iluminación de ambiente específica. La cámara seleccionada capta correctamente la luz infrarroja después de retirarle el filtro. El Prototipo I es ergonómico y ajustable para cada usuario.

C A PÍTULO 5
P R O T O T I P O I I
“ A L M A C E N A M I E N T O D E
V I D E O “

5.1 Análisis

5.1.1 Descripción

El Prototipo II está encargado de la captura de imágenes y el almacenamiento. Es necesario que acceda a la cámara, capture video, pueda extraer frames, ajuste brillo y ajuste el contraste.

El objetivo de este prototipo es capturar el movimiento ocular.

5.1.2 Casos de Uso

En la **Figura 46** podemos ver los casos de uso que necesitarán del Prototipo II.

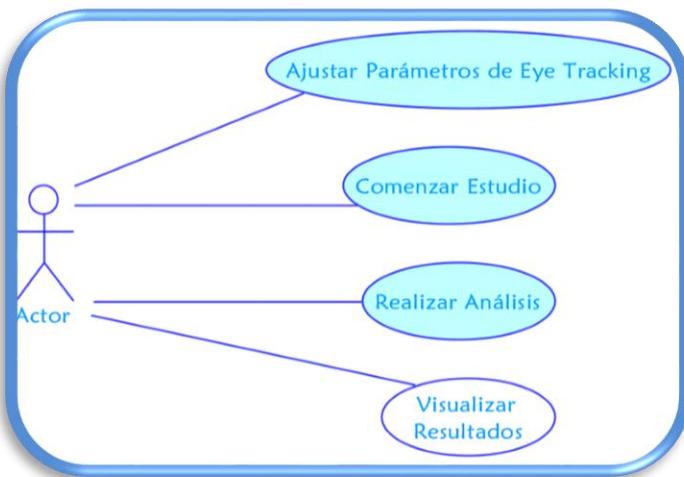


Figura 46. Casos de uso Prototipo II.

5.1.3 Requerimientos

Del capítulo 3 retomamos los requerimientos que se desarrollan en este prototipo.

Tabla 13. Requerimientos correspondientes al Prototipo III

REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	
RF2	La herramienta accederá a la cámara definida en el RFN1.
RF3	La herramienta grabará video de acuerdo al RFN2.
RF10	El usuario podrá aumentar o disminuir brillo de la entrada de video
RF11	El usuario podrá aumentar o disminuir contraste de la entrada de video
REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES	
RNF3	El formato del video será mp4 con una resolución de 640x480 con 20fps.
RNF10	El usuario no deberá mover la cámara ni el mecanismo en ningún momento durante el estudio.

5.1.4 Especificación

Es necesario el uso de un framework² para facilitar el acceso a dispositivos de video, así como para tener facilidades en el procesamiento de imagen. La Tabla 14 muestra algunas opciones, dentro de las cuales se eligió OpenCV debido a su velocidad de procesamiento de imágenes, la documentación y su robustez para desarrollar nuestra herramienta.

Tabla 14. Comparación de frameworks.

Framework	Lenguajes	Resumen	Ventajas	Desventajas	Costo	Fuente
SimpleCV	Python	SimpleCV es un framework opensource para desarrollar aplicaciones de visión. Permite trabajar con imágenes o flujo de video, así como con cámaras, kinect, firewire o incluso dispositivos móviles.	Fácil de usar. Licencia libre. Pocos recursos para ejecución.	Al utilizar un lenguaje interpretado, se experimenta una ejecución lenta.	Libre	http://simplecv.org/
JavaCV	Java	JavaCV ofrece una envoltura a las librerías usadas en el campo de la computadora de visión. Se apoya de las investigaciones de proyectos tales como OpenCV, FFmpeg, libdc1394, PGR FlyCapture, OpenKinect, videoInput, and ARToolKitPlus.	Compatible con dispositivos con android. Fácil de usar. Métodos para cómputo paralelo. Incluye aceleración de hardware. Licencia libre.	Corre sobre la máquina virtual de java, lo cual produce un performance lento a comparación de compilaciones en el sistema nativo.	Libre	https://code.google.com/p/javacv/
OpenCV	C, C++, python, java	OpenCV es software libre bajo la licencia BSD. Es un framework multiplataforma. OpenCV fue diseñado para un cómputo eficiente y con un fuerte enfoque en aplicaciones de tiempo real.	Optimizado en C++. Multiplataforma. Enfoque en tiempo real (rapidez). Procesamiento multi-core. Puede tomar ventaja de la aceleración por hardware. Robustez en computación de visión. Requiere pocos recursos. Licencia libre. Documentación extensa.	Difícil de usar a comparación de otros frameworks.	Libre	http://opencv.org/
MatLab	Matlab	Lenguaje de alto nivel y tiene un ambiente interactivo de computación numérica, visualización y programación.	Fácil de usar. Curva de aprendizaje corta. Visualización rápida de resultados.	Está construido en java. Muy lento. No apto para construir una aplicación. Necesita muchos recursos. Requiere licencia.	2000 USD	http://www.mathworks.com/products/matlab/

² Estructura de soporte definida que suele incluir soporte de programas, bibliotecas, lenguaje de scripting. Y sirve para facilitar el desarrollo de software.

5.2 Diseño

5.2.1 Diagrama de Clases

En la **Figura 47** se muestra el diagrama de clases del prototipo II.

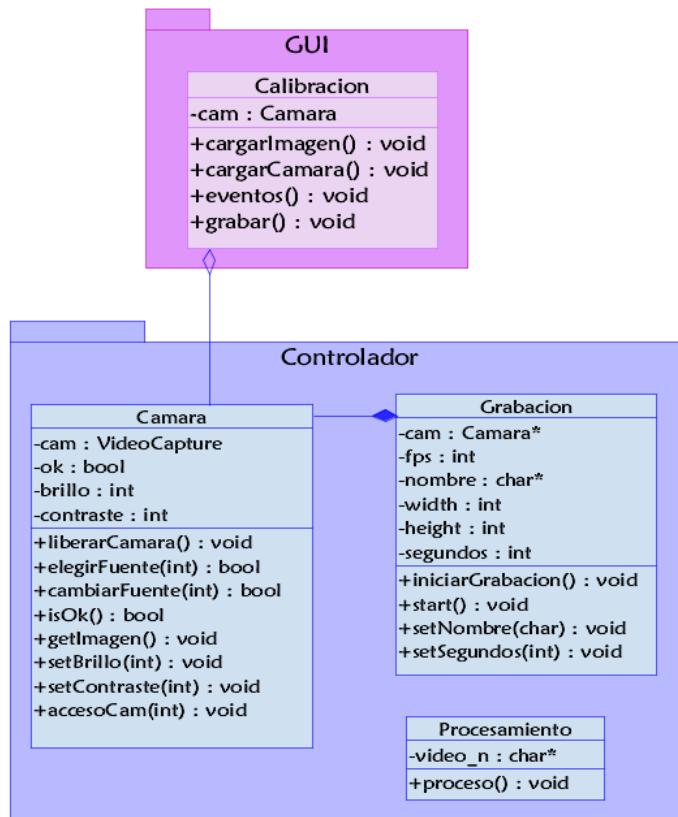


Figura 47. Diagrama de Clases del Prototipo II.

Clase “Camara”

En las tablas **Tabla 15** y **Tabla 16** podemos ver la descripción de los atributos y métodos de la clase “Camara” correspondientemente.

Tabla 15. Atributos de la clase Camara.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
<i>cam</i>	Es un objeto VideoCapture ofrecido por OpenCV y sirve para tener acceso a la cámara.
<i>ok</i>	Es una variable de tipo bool que nos indica si una instancia de la clase <i>camara</i> ha accedido correctamente a la cámara.
<i>brillo</i>	Es la variable que cambia el brillo de la imagen obtenida de la cámara.
<i>contraste</i>	Es la variable que cambia el contraste de la imagen obtenida de la cámara.

Tabla 16. Métodos de la clase Camara.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
liberarCamara	Es un objeto VideoCapture ofrecido por OpenCV y sirve para tener acceso a la cámara.
elegirFuente	Es una variable de tipo bool que nos indica si una instancia de la clase <i>camara</i> ha accedido correctamente a la cámara.
cambiarFuente	Es la variable que cambia el brillo de la imagen obtenida de la cámara.
isOk	Es la variable que cambia el contraste de la imagen obtenida de la cámara.
getImagen	Obtiene la imagen actual de la cámara.
setBrillo	Cambia el valor de brillo.
setContraste	Cambia el valor de contraste.

Clase “Grabación”

Tabla 17. Atributos de la clase Grabación.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
cam	Es un objeto de la clase camara definida anteriormente.
fps	Es un entero que indica el valor de frames por segundo que se capturarán en el video.
nombre	Es el nombre del archivo donde se guardará el video.
width	El ancho del video.
height	El alto del video.
segundos	El número de segundos que durará el video.

Tabla 18. Métodos de la clase Grabación.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
iniciarGrabacion	Captura un video con las características elegidas en el constructor.
start	Inicia un hilo para grabar en segundo plano.
setNombre	Este método sirve para poder cambiarle el nombre a la grabación configurada y al momento de realizar una siguiente grabación guardarla con un nombre diferente.
setSegundos	Este método sirve para poder cambiar la duración a la grabación configurada y al momento de realizar una siguiente grabación guardarla con una duración diferente.

Clase “Procesamiento”

Tabla 19. Atributos de la clase Procesamiento.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
video_n	Este atributo es una cadena que contiene la ruta del video a tratar.

Tabla 20. Métodos de la clase Procesamiento.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
obtenerFrame()	Este método extrae los frames del video y los guarda en una carpeta.

Clase “Calibracion”

Tabla 21. Atributos de la clase Procesamiento.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
cam	Es un objeto de la clase camara definida anteriormente.

Tabla 22. Métodos de la clase Procesamiento.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
cargarImagen	Este método muestra una imagen de la cámara en el área de visualización del flujo de video.
cargarCamara	Sirve para escribir la lista de cámaras en el comboBox.
eventos	Da de alta los eventos.
accesoCam	Carga una cámara.
grabar	Graba un video a partir de un objeto <i>grabacion</i> .

5.3 Implementación

Este prototipo como ya se ha mencionado sirve para tomar video y obtener los frames del mismo. Esta funcionalidad será ejecutada en segundo plano en el CU2, sin que el usuario visualice el video directamente debido a que puede resultar una distracción durante el estudio. Sin embargo en el CU1 si será posible que el usuario observe el flujo de video en la interfaz y se ha implementado usando la interfaz “Ajuste de Parámetros”. En la **Figura 48** podemos ver como la aplicación accede a la cámara y visualizamos el flujo.

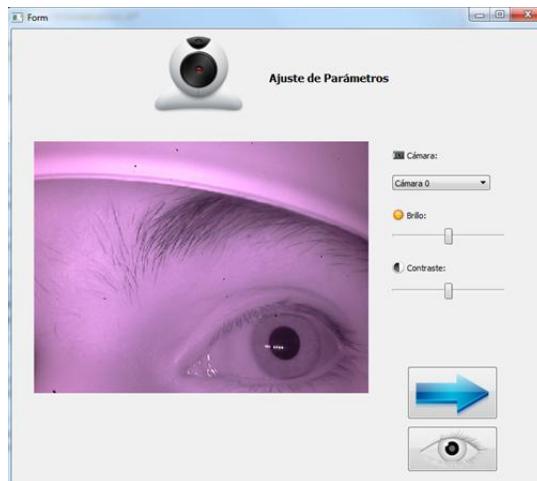


Figura 48. Implementación prototipo II.

En la **Figura 49** podemos observar el aumento de brillo de la imagen cuando se desplaza la barra de brillo.



Figura 49. Implementación Prototipo II con brillo.

En la **Figura 50** podemos observar el aumento de contraste de la imagen cuando se desplaza la barra de contraste.



Figura 50. Implementación Prototipo II con contraste.

5.4 Pruebas

Para poder realizar pruebas de este prototipo los botones de la esquina inferior derecha funcionan de la siguiente manera:

- ✓ Graba Video.
- ✓ Obtiene frames del video.

5.4.1 Protocolo de prueba

El alcance de las pruebas tiene como objetivo validar los requerimientos de este Prototipo.

Código	Título de la prueba
PROTOTIPOII_01	Frames obtenidos del video.
PROTOTIPOII_02	Velocidad de captura.

5.4.2 Fichas de Realización de Pruebas

Código de Prueba:	PrototipoII_01	Fecha:	24/03/2014		
Título de Prueba:	Frames obtenidos del video.				
Verificación de los siguientes requerimientos:					
<ul style="list-style-type: none"> ✓ RN3: La herramienta graba video en el formato mp4 de 640x480 a velocidad de 20fps. 					
Entorno de prueba:	Ambiente con iluminación convencional.				
Objetivo del escenario de prueba:	Verificar que el Prototipo II cumpla con los requerimientos anteriores considerando distintas grabaciones. Revisar el número de frames con las diferentes configuraciones de FPS.				

Id	Acciones	Resultados	Comentarios
Realizar pruebas del Prototipo II con 20 FPS.			
1	Conectar cámara.	La herramienta reconoce la cámara.	
2	Se elige la cámara.	Se visualiza en la pantalla la imagen que se va a capturar.	
3	Confirmar grabación.		
4	Dar clic en "iniciar grabación" y esperar 5 segundos.	Se inicia la grabación de la prueba.	
5	Dar clic en "Obtener frames".		
6	Entramos al explorador de archivos.		
7	Cambiamos a la carpeta donde se ejecutó la aplicación.		
8	Entramos a la carpeta "frames".	Vemos los fotogramas extraídos.	Se obtuvieron 100 frames.
Realizar pruebas del Prototipo II con 16 FPS.			
1	Conectar cámara.	La herramienta reconoce la cámara.	

2	Se elige la cámara.	Se visualiza en la pantalla la imagen que se va a capturar.	
3	Confirmar grabación.		
4	Dar clic en "iniciar grabación" y esperar 5 segundos.	Se inicia la grabación de la prueba.	
5	Dar clic en "Obtener frames".		
6	Entramos al explorador de archivos.		
7	Cambiamos a la carpeta donde se ejecutó la aplicación.		
8	Entramos a la carpeta "frames".	Vemos los fotogramas extraídos.	Se obtuvieron 80 frames.

Realizar pruebas del Prototipo II con 15 FPS.

1	Conectar cámara.	La herramienta reconoce la cámara.	
2	Se elige la cámara.	Se visualiza en la pantalla la imagen que se va a capturar.	
3	Confirmar grabación.		
4	Dar clic en "iniciar grabación" y esperar 5 segundos.	Se inicia la grabación de la prueba.	
5	Dar clic en "Obtener frames".		
6	Entramos al explorador de archivos.		
7	Cambiamos a la carpeta donde se ejecutó la aplicación.		
8	Entramos a la carpeta "frames".	Vemos los fotogramas extraídos.	Se obtuvieron 75 frames.

Código de Prueba:	PrototipoII_02	Fecha:	29/03/2014		
Título de Prueba:	Velocidad de captura.				
Verificación de los siguientes requerimientos:					
✓ RN3: La herramienta graba video en el formato mp4 de 640x480 a velocidad de 20fps.					
Entorno de prueba:	Ambiente con iluminación convencional.				
Objetivo del escenario de prueba:	Verificar que el Prototipo II cumpla con los requerimientos anteriores considerando distintas grabaciones. Revisar la relación entre frames y FPS.				

Id	Acciones	Resultados	Comentarios
Realizar pruebas del Prototipo II configurado con 20 FPS			
1	Conecitar cámara.	La herramienta reconoce la cámara.	
2	Se inicia el programa.	Se visualiza en la pantalla la imagen que se va a capturar.	
3	Se elige la cámara.		
4	Se visualiza en la pantalla la imagen que se va a capturar.	Se inicia la grabación de la prueba.	
5	Confirmar grabación.		
6	Colocar un cronómetro en la cámara.		
7	Dar clic en "iniciar grabacion".		
8	Dar clic en "Obtener frames".		
7	Entramos al explorador de archivos.		
8	Cambiamos a la carpeta donde se ejecutó la aplicación		
9	Entramos a la carpeta "frames". Y calcular los frames con el tiempo del cronómetro.	Vemos los fotogramas extraídos.	Obtuvimos 14 fps reales
Realizar pruebas del Prototipo II configurado con 16 FPS.			
1	Conecitar cámara.	La herramienta reconoce la cámara.	
2	Se inicia el programa.	Se visualiza en la pantalla la imagen que se va a capturar.	
3	Se elige la cámara.		
4	Se visualiza en la pantalla la imagen que se va a capturar.	Se inicia la grabación de la prueba.	
5	Confirmar grabación.		
6	Colocar un cronómetro en la cámara.		
7	Dar clic en "iniciar grabacion".		
8	Dar clic en "Obtener frames".		
7	Entramos al explorador de archivos.		
8	Cambiamos a la carpeta donde se ejecutó la aplicación		

9	Entramos a la carpeta "frames". Y calcular los frames con el tiempo del cronómetro.	Vemos los fotogramas extraídos.	Obtuvimos 14.8 fps reales
Realizar pruebas del Prototipo II configurado con 15 FPS.			
1	Conectar cámara.	La herramienta reconoce la cámara.	
2	Se inicia el programa.	Se visualiza en la pantalla la imagen que se va a capturar.	
3	Se elige la cámara.		
4	Se visualiza en la pantalla la imagen que se va a capturar.	Se inicia la grabación de la prueba.	
5	Confirmar grabación.		
6	Colocar un cronómetro en la cámara.		
7	Dar clic en "iniciar grabacion".		
8	Dar clic en "Obtener frames".		
7	Entramos al explorador de archivos.		
8	Cambiamos a la carpeta donde se ejecutó la aplicación		
9	Entramos a la carpeta "frames". Y calcular los frames con el tiempo del cronómetro.	Vemos los fotogramas extraídos.	Obtuvimos 14.4 fps reales

5.4.3 Resultados

Después de efectuar el protocolo de prueba uno descrito en el punto anterior pudimos concluir los resultados mostrados en la **Tabla 23**.

Tabla 23. Resultados Prototipo II

Prueba	Frames por segundo	Tiempo	Frames obtenidos
1	20fps	5s	100
2	16fps	5s	80
3	15fps	5s	75

Observamos que la captura de video es constante, es decir siempre obtendremos los mismos frames para las grabaciones hechas con la misma configuración.

Al realizar el protocolo de prueba dos descrito en el punto anterior pudimos concluir los resultados mostrados en la **Tabla 24**.

Tabla 24. Protocolo 2 Prototipo II.

Prueba	Tiempo Inicial	Tiempo Final	Diferencia	Tiempo Video	Frames	Frames por segundo reales
1	1.2	8.3	7.1	5	100	14.08451
2	2.6	8	5.4	5	80	14.81481
3	52.1	57.3	5.2	5	75	14.42308

De esta prueba observamos que la cámara captura con una velocidad variante que va entre los 14 y los 15 frames por segundo.

C A P Í T U L O 6

P R O T O T I P O I I I

“ P R E P R O C E S A M I E N T O

D E

I M Á G E N E S “

6.1 Análisis

6.1.1 Descripción

El objetivo del Prototipo III es recibir los frames que entrega el Prototipo II, ya que se necesita aplicarles filtros y ciertos procedimientos básicos de procesamiento de imágenes, de esta forma, se podrá entregar al siguiente Prototipo los frames limpios y listos para hacer el Eye Tracking correctamente.

6.1.2 Casos de Uso

En la **Figura 51** se puede observar que el Prototipo II interviene el siguiente caso de uso:

- **Realizar Análisis:** El prototipo tiene que filtrar, binarizar, convertir, etc. las imágenes del estudio, para entregárselas al Eye Tracking.

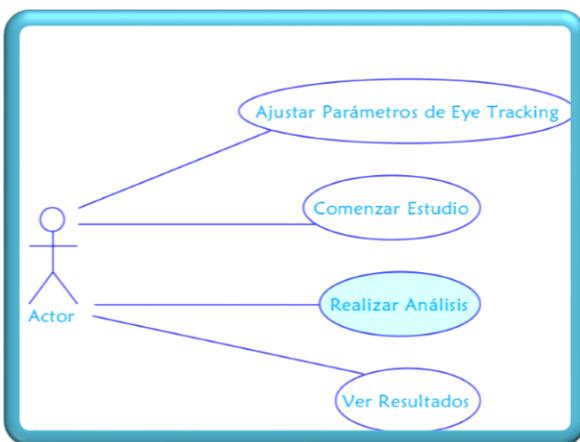


Figura 51. Casos de Uso en los que el Prototipo III interviene.

6.1.3 Requerimientos

En la **Tabla 25** se pueden apreciar los requerimientos que corresponden al prototipo actual, los cuales fueron seleccionados del Capítulo 3 en la sección de requerimientos.

Tabla 25. Requerimientos correspondientes al Prototipo III.

REQUERIMIENTOS BÁSICOS	
RB2	Una aplicación que reconozca el movimiento de los ojos.
REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES	
RNF6	La herramienta será desarrollada en C++.
RNF13	La herramienta incluirá un módulo que aplique los filtros necesarios a las imágenes antes de su procesamiento.
RFN14	Para su procesamiento, las imágenes deben observarse claramente y con el menor ruido posible.

6.1.4 Especificación

En la **Tabla 26** se puede observar una comparación teórica entre las características de algunos filtros, con el objetivo de implementar los que sean necesarios.

Como se pudo apreciar en el marco teórico **Ruido mixto (o aditivo y sustractivo)**, el ruido aditivo y sustractivo se produce normalmente en la cuantificación que se realiza en el proceso de digitalización, por lo cual es necesario aplicar un filtro que elimine este tipo de ruido, como se observa en la **Tabla 26** el filtro mediana, teóricamente es el que tiene un mayor desempeño para eliminar este tipo de ruido, aunando a esto, en el marco teórico (sección **2.2.5.6 Comparación**) se concluyó prácticamente que el filtro que da mejores resultados es el mediana, por lo cual será necesario implementarlo. Para observar una comparación práctica de filtros ir al Apartado **11.2.1 Elección de filtros** ubicado en Anexos.

También nos apoyaremos del Filtro Gaussiano para lograr un suavizado uniforme en la imagen.

Tabla 26. Comparación de Filtros Digitales.

Filtros	«Para qué sirve?	«Cómo funciona?	Ventajas	Desventajas
Filtros Lineales				
Media	Suaviza las imágenes reduciendo la cantidad de variaciones de intensidad entre píxeles vecinos.	Se visita cada píxel de la imagen y se reemplaza por la media de los píxeles vecinos.	Es el más simple, intuitivo y fácil de implementar.	<ul style="list-style-type: none"> • El filtro de la media es bastante sensible a cambios locales. • El filtro de la media puede crear nuevas intensidades de grises que no aparecen en la imagen.
Gaussiano	El filtro gaussiano se usa para suavizar imágenes y eliminar ruido.	Es similar al filtro de media pero se usa una máscara diferente, modelizando la función gaussiana.	<ul style="list-style-type: none"> • Es separable: es decir, en lugar de realizar una convolución bidimensional, podemos realizar dos convoluciones unidimensionales. Una en sentido horizontal y otra en sentido vertical. • El filtro gaussiano produce un suavizado más uniforme que el filtro de media. 	
Filtros no Lineales				
Máximo	Aclarar imágenes y quitar el ruido sustractivo.	Selecciona el mayor valor dentro de una ventana ordenada de valores de nivel de gris.	Elimina el ruido sustractivo (píxeles negros).	Sólo funciona cuando el ruido es exclusivamente tipo sustractivo. - Tiende a aclarar la imagen.
Mínimo	Oscurecer imágenes y quitar el ruido aditivo.	Selecciona el menor valor dentro de una ventana ordenada de valores de nivel de gris.	Elimina el ruido aditivo (píxeles blancos).	Sólo funciona cuando el ruido es exclusivamente tipo aditivo. - Tiende a oscurecer la imagen.
Mediana	Suaviza las imágenes.	Se visita cada píxel de la imagen y se reemplaza por la mediana de los píxeles vecinos. La mediana se calcula ordenando los valores de los píxeles vecinos en orden y seleccionando el que queda en medio.	Da muy buenos resultados en caso de ruido aditivo y sustractivo.	Su desempeño disminuye cuando el número de píxeles con ruido es mayor a la mitad del número total de píxeles en la vecindad.

6.2 Diseño

6.2.1 Diagrama de Clases

En la **Figura 52** se puede observar que sólo una clase interviene en este prototipo, esto es debido a que los procedimientos que se le tienen que aplicar a la imagen son simplemente operaciones básicas del procesamiento de imágenes.

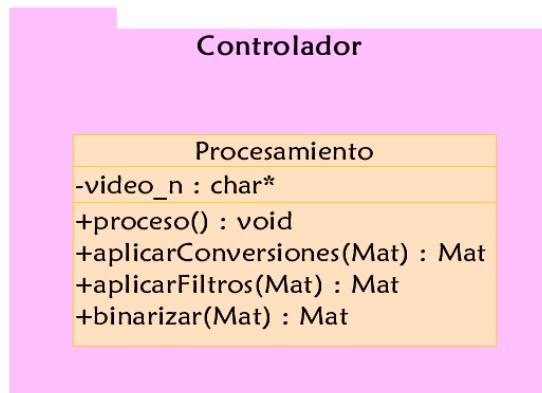


Figura 52. Parte del diagrama de Clases correspondiente al Prototipo III.

En la **Tabla 27** se puede apreciar que los atributos no fueron modificados del prototipo II, sin embargo, para los métodos se agregaron todos los necesarios para realizar el prototipo III los cuales se pueden observar en la **Tabla 28**.

Tabla 27. Atributos de la clase Procesamiento.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
video_n	Este atributo es una cadena que contiene la ruta del video a tratar.

Tabla 28. Métodos de la clase Procesamiento.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
obtenerFrame	Obtiene un frame del video a tratar.
aplicarFiltros	Aplica los filtros correspondientes al frame.
binarizar	Binariza la imagen.
aplicarConversiones	Convierte a escala de grises e invierte la imagen.

6.3 Implementación

Con la finalidad de exemplificar los procedimientos que se realizan en el prototipo, se irán mostrando unas pantallas con cada uno de los pasos, sin embargo hay que recordar que estas operaciones se realizan tras fondo y el usuario no las puede visualizar.

Con la **Figura 53** se ven claramente los resultados de los pasos descritos anteriormente, es decir, en el inciso a se puede observar la imagen original que nos proporciona el prototipo II, el siguiente inciso nos muestra la imagen después de aplicarle el primer método que involucra la conversión de RGB a escala de Grises y la inversión de la imagen. En el inciso c se aprecia la imagen completamente suavizada y lo más importante es que las manchas significativas de ruido que se observaban en las imágenes anteriores han desaparecido o disminuido. Para terminar con este proceso, se binariza la imagen de tal forma que la pupila quede blanca y el fondo negro.

También se observa que además de la pupila se pueden encontrar otras partes blancas, sin embargo la primera parte del Eye Tracking se encargará de descartarlas para poder detectar la pupila.

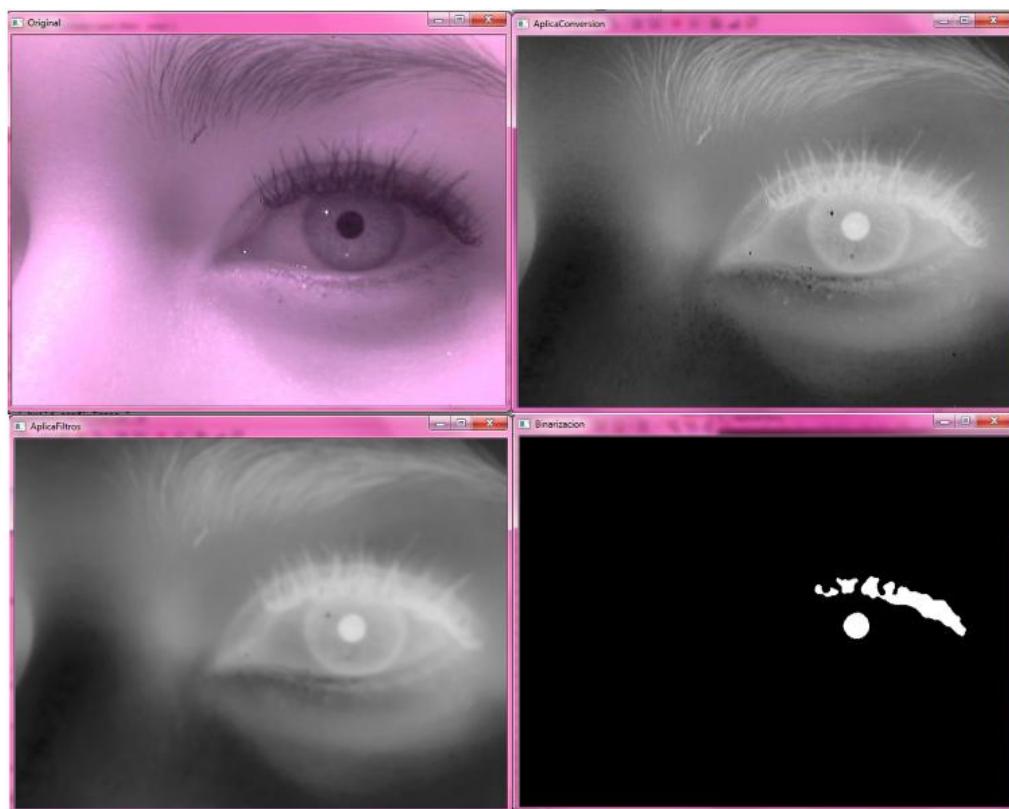


Figura 53. a) Imagen original. b) Imagen en escala de grises e invertida. c) Imagen filtrada. d) Imagen binarizada.

6.4 Pruebas

6.4.1 Protocolo de prueba

El alcance de las pruebas tiene como objetivo validar los requerimientos de este Prototipo.

Código	Título de la prueba
PROTOTIPOIII_01	Integración del Prototipo III a la herramienta.

6.4.2 Fichas de Realización de Pruebas

Código de Prueba:	PrototipoIII_01	Fecha:	24 /03/2014			
Título de Prueba:	Integración de la Cámara a la diadema.					
Verificación de los siguientes requerimientos:						
<ul style="list-style-type: none"> ✓ RNF13: La herramienta incluirá un módulo que aplique los filtros necesarios a las imágenes antes de su procesamiento. ✓ RNF14: Para su procesamiento, las imágenes deben observarse claramente y con el menor ruido posible. <ul style="list-style-type: none"> • Realizar pruebas del Prototipo III con una persona de la tercera edad. • Realizar pruebas del Prototipo III con un adulto del sexo masculino. • Realizar pruebas del Prototipo III con un adulto del sexo femenino. • Realizar pruebas del Prototipo III con una adolescente. • Realizar pruebas del Prototipo III con un niño. 						
Entorno de prueba:	Ambiente con iluminación convencional.					
Objetivo del escenario de prueba:	Verificar que el Prototipo III cumpla con los requerimientos anteriores considerando usuarios de diferentes edades y sexos.					

Id	Acciones	Resultados	Comentarios
Realizar pruebas del Prototipo III con una persona de la tercera edad.			
1	Ejecutar la herramienta.	Se despliega una ventana que muestra el menú principal.	
2	Seleccionar la cámara de la herramienta.	En el marco captura se muestra la imagen tomada por la cámara de la herramienta.	
3	Colocar la diadema en la cabeza del usuario.	La diadema se ajusta satisfactoriamente al tamaño y forma de la cabeza del usuario.	
4	Deslizar la cámara hacia el ojo derecho.	El lente de la cámara enfoca el ojo derecho del usuario.	
5	Ajustar la cámara con un ángulo de inclinación que permita visualizar la pupila del usuario aunque mire hacia abajo.	La cámara capta la pupila del usuario cuando éste mira hacia cualquier dirección.	
6	Dar clic en el botón de “Grabar video”	La cámara graba durante 5 segundos. El video se encuentra en la carpeta predeterminada.	

7	Dar clic en el botón “Siguiente”	La herramienta convierte a frames el video y preprocesa cada uno de ellos.	En la imagen binarizada se aprecia interferencia ocasionada por la ceja y una mínima por las pestañas.
---	----------------------------------	--	--

Realizar pruebas del Prototipo III con un adulto del sexo masculino.

8	Ejecutar la herramienta.	Se despliega una ventana que muestra el menú principal.	
9	Seleccionar la cámara de la herramienta.	En el marco captura se muestra la imagen tomada por la cámara de la herramienta.	
10	Colocar la diadema en la cabeza del usuario.	La diadema se ajusta satisfactoriamente al tamaño y forma de la cabeza del usuario.	
11	Deslizar la cámara hacia el ojo derecho.	El lente de la cámara enfoca el ojo derecho del usuario.	
12	Ajustar la cámara con un ángulo de inclinación que permita visualizar la pupila del usuario aunque mire hacia abajo.	La cámara capta la pupila del usuario cuando éste mira hacia cualquier dirección.	
13	Dar clic en el botón de “Grabar video”	La cámara graba durante 5 segundos. El video se encuentra en la carpeta predeterminada.	
14	Dar clic en el botón “Siguiente”	La herramienta convierte a frames el video y preprocesa cada uno de ellos.	En la imagen binarizada se aprecia interferencia ocasionada por la ceja y una mínima por las pestañas.

Realizar pruebas del Prototipo III con un adulto del sexo femenino.

15	Ejecutar la herramienta.	Se despliega una ventana que muestra el menú principal.	
16	Seleccionar la cámara de la herramienta.	En el marco captura se muestra la imagen tomada por la cámara de la herramienta.	
17	Colocar la diadema en la cabeza del usuario.	La diadema se ajusta satisfactoriamente al tamaño y forma de la cabeza del usuario.	

18	Deslizar la cámara hacia el ojo derecho.	El lente de la cámara enfoca el ojo derecho del usuario.	
19	Ajustar la cámara con un ángulo de inclinación que permita visualizar la pupila del usuario aunque mire hacia abajo.	La cámara capta la pupila del usuario cuando éste mira hacia cualquier dirección.	
20	Dar clic en el botón de “Grabar video”	La cámara graba durante 5 segundos. El video se encuentra en la carpeta predeterminada.	
21	Dar clic en el botón “Siguiente”	La herramienta convierte a frames el video y preprocesa cada uno de ellos.	En la imagen binarizada se aprecia interferencia considerable ocasionada por la ceja y por las pestañas.

Realizar pruebas del Prototipo III con una adolescente.

22	Ejecutar la herramienta.	Se despliega una ventana que muestra el menú principal.	
23	Seleccionar la cámara de la herramienta.	En el marco captura se muestra la imagen tomada por la cámara de la herramienta.	
24	Colocar la diadema en la cabeza del usuario.	La diadema se ajusta satisfactoriamente al tamaño y forma de la cabeza del usuario.	
25	Deslizar la cámara hacia el ojo derecho.	El lente de la cámara enfoca el ojo derecho del usuario.	
26	Ajustar la cámara con un ángulo de inclinación que permita visualizar la pupila del usuario aunque mire hacia abajo.	La cámara capta la pupila del usuario cuando éste mira hacia cualquier dirección.	
27	Dar clic en el botón de “Grabar video”	La cámara graba durante 5 segundos. El video se encuentra en la carpeta predeterminada.	
28	Dar clic en el botón “Siguiente”	La herramienta convierte a frames el video y preprocesa cada uno de ellos.	En la imagen binarizada se aprecia interferencia considerable ocasionada por la ceja y por las pestañas.

Realizar pruebas del Prototipo III con un niño.			
29	Ejecutar la herramienta.	Se despliega una ventana que muestra el menú principal.	
30	Seleccionar la cámara de la herramienta.	En el marco captura se muestra la imagen tomada por la cámara de la herramienta.	
31	Colocar la diadema en la cabeza del usuario.	La diadema se ajusta satisfactoriamente al tamaño y forma de la cabeza del usuario.	
32	Deslizar la cámara hacia el ojo derecho.	El lente de la cámara enfoca el ojo derecho del usuario.	
33	Ajustar la cámara con un ángulo de inclinación que permita visualizar la pupila del usuario aunque mire hacia abajo.	La cámara capta la pupila del usuario cuando éste mira hacia cualquier dirección.	
34	Dar clic en el botón de “Grabar video”	La cámara graba durante 5 segundos. El video se encuentra en la carpeta predeterminada.	
35	Dar clic en el botón “Siguiente”	La herramienta convierte a frames el video y preprocesa cada uno de ellos.	En la imagen binarizada se aprecia una interferencia mínima ocasionada por la ceja.

6.4.3 Resultados

Después de realizar las pruebas del Prototipo III se observa que la ceja e incluso las pestañas ocasionan ruido en la mayoría de las imágenes, esto es debido al fenotipo del mexicano el cual en la mayoría de las personas presenta ojos, pestañas y cejas oscuras. Sin embargo, el ruido causado por las pestañas es mínimo en la mayoría de los casos, esto cambia para la mujer y la adolescente debido al maquillaje, es decir, el utilizar rímel oscuro en las pestañas hace que el ruido aumente, por lo cual se requerirá que los usuarios que utilicen la herramienta no se encuentren maquillados. El Prototipo IV deberá implementar un algoritmo para descartar las cejas y así ayudar a la detección de la pupila.

C A P Í T U L O 7
P R O T O T I P O I V
“ E Y E T R A C K I N G “

7.1 Análisis

7.1.1 Descripción

Este prototipo va a tener como entrada las imágenes preprocesadas del capítulo anterior, por lo cual trabajará con las imágenes limpias a las cuales les aplicará una serie de pasos, con el objetivo de obtener las coordenadas de la pupila del usuario en cada una de las imágenes.

7.1.2 Casos de Uso

En la **Figura 51** se puede observar que el Prototipo IV interviene en dos casos de uso:

- **Realizar Análisis:** Aquí el Eye Tracking va a determinar las coordenadas de cada pupila por frame.

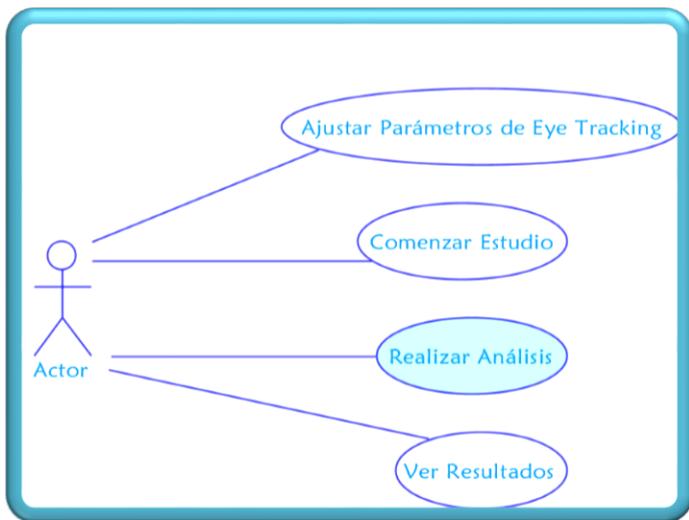


Figura 54. Casos de Uso en los que el Prototipo IV interviene.

7.1.3 Requerimientos

En la **Tabla 29** se pueden apreciar los requerimientos que corresponden al prototipo actual, los cuales fueron seleccionados del Capítulo 3 en la sección de requerimientos.

Tabla 29. Requerimientos correspondientes al Prototipo IV.

REQUERIMIENTOS BÁSICOS	
RB2	Una aplicación que reconozca el movimiento de los ojos.
REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES	
RNF6	La herramienta será desarrollada en C++.
RNF9	La herramienta permitirá hacer el análisis tanto en el ojo derecho como el izquierdo.

7.1.4 Especificación

Como se mencionó anteriormente, este prototipo va a tomar las imágenes que el capítulo anterior entrega, un ejemplo de esto se puede observar en el inciso d de la **Figura 53**, en donde se buscaba simplemente observar la pupila del usuario, sin embargo los tonos oscuros de la pupila, las cejas y las pestañas son muy similares, por esta razón se necesita implementar un algoritmo que ayude a descartar estos contornos indeseables para poder realizar el eye tracking.

7.1.4.1 Base de Datos

Este prototipo requiere de una conexión a una base de datos local para extraer la información generada por el Prototipo anterior y así poder realizar una clasificación de los canales sensoriales de cada uno de las preguntas.

En la **Tabla 30** se puede apreciar la comparativa que se realizó para la elección de un adecuado Gestor de Base de Datos para el Prototipo.

Tabla 30. Comparativa entre Gestores de Bases de Datos.

SGBD	ACID	Integridad referencial	Transacciones	Unicode	Portable	Necesita configuración
Adaptive Server Enterprise	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
ANTS Data Server	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
DB2	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Firebird	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
HSQldb	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Informix	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Ingres	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
InterBase	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
SapDB	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
MaxDB	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Microsoft SQL Server	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
MySQL	Sólo en InnoDB	Sólo en InnoDB	Sólo en InnoDB	Sí	No	Sí
Oracle	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
PostgreSQL	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
SQLite	Sí	No	Básico	Sí	Sí	No

Se eligió SQLite ya que no requiere de instalación, es ligero, gratuito y se adecua a nuestras necesidades.

7.2 Diseño

7.2.1 Diagrama de Clases

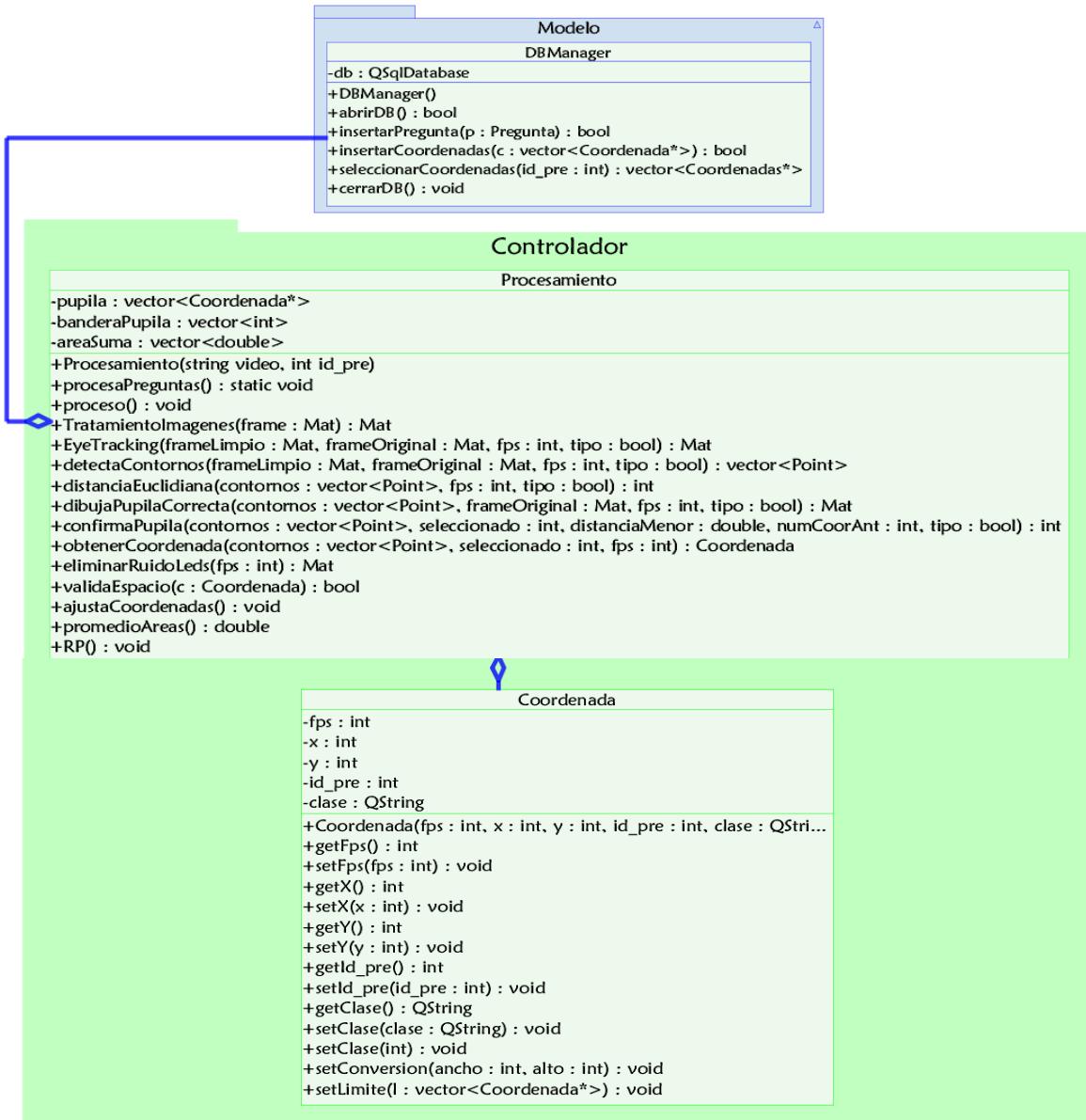


Figura 55. Diagrama de Clases Prototipo IV.

Clase “Procesamiento”

En la **Tabla 31** se observan los atributos de la clase Procesamiento.

Tabla 31. Atributos de la clase Procesamiento

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
<i>pupila</i>	Representa las coordenadas de la pupila de cada frame.
<i>banderaPupila</i>	Indica si se encontró la pupila en un determinado frame.

En la **Tabla 32** se observan los métodos de la clase Procesamiento, se puede observar que los métodos del prototipo anterior se agruparon en un solo método “TratamientoImagenes”.

Tabla 32. Métodos de la clase Procesamiento.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
ProcesaPreguntas	Invocará n veces a procesamiento, una vez por cada pregunta.
procesamiento	Invoca a los Prototipos III, IV y V.
TratamientoImagenes	Realiza filtros, binarizaciones y conversiones en imágenes.
EyeTracking	Ejecuta el Prototipo IV.
DetectaContornos	Detecta los contornos que se encuentran en una imagen.
DistanciaEuclidianas	Calcula la distancia que hay entre coordenadas.
DibujaPupilaCorrecta	Selecciona las posibles pupilas en un frame.
ConfirmaPupila	Elige la pupila en un frame.
ObtenerCoordenada	Obtiene la coordenada de la pupila.
EliminarRuidoLeds	Elimina el reflejo que causan los leds.
ValidaEspacio	Devuelve verdadero si las coordenadas se encuentran dentro del área de trabajo.
AjustaCoordenadas	Ajusta los valores para banderaPupila y para pupila.
RP	Realizará el proceso del prototipo V.

Clase “Coordenada”

Tabla 33. Atributos de la clase Coordenada.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
fps	Frame por segundo.
x	Valor x de la coordenada.
y	Valor y de la coordenada.
Id_pre	Pregunta a la cual corresponde la coordenada.
clase	Almacena el canal sensorial de la coordenada.

Tabla 34. Métodos de la clase Coordenada.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
getFps	Devuelve el número de fps.
setFps	Inicializa el valor del fps.
getX	Devuelve el valor de X.
setX	Inicializa el valor de X.
getY	Devuelve el valor de Y.
setY	Inicializa el valor de Y.
getId_pre	Devuelve el número de la pregunta.
setId_pre	Inicializa el número de la pregunta.
getClase	Devuelve la clase de la coordenada.
setClase	Inicializa la clase de la coordenada.
setConversion	Realiza la conversión de coordenadas.
setLimite	Inicializa el área de trabajo.

Clase “DBManager”

Tabla 35. Atributos de la clase DBManager.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
db	Conexión con la Base de datos.

Tabla 36. Métodos de la clase DBManager.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
abrirDB	Abre la conexión con la base de datos.
insertarPregunta	Guarda una pregunta en la base de datos.
insertarCoordenadas	Guarda las coordenadas en la base de datos.
SeleccionarCoordenadas	Carga las coordenadas de la base de datos.
cerrarBD	Cierra la conexión con la base de datos.

7.2.2 Diagrama de Base de Datos

En la Figura 56 se puede apreciar el Diagrama Entidad Relación de la herramienta, cada entidad y atributo será descrito brevemente en el diccionario de datos siguiente.

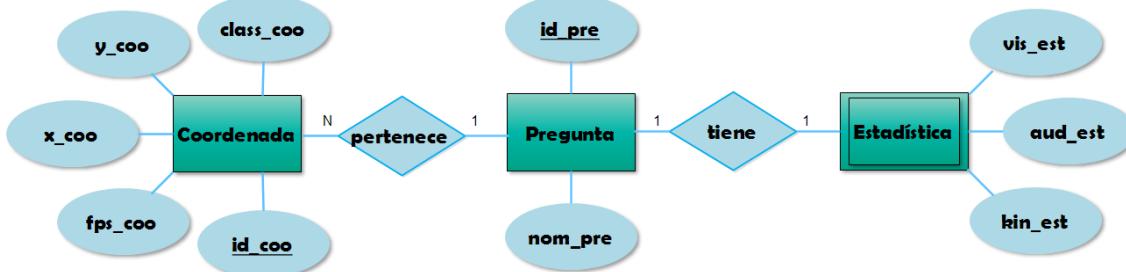


Figura 56. Diagrama Entidad Relación.

Tabla Coordenada

Descripción: Almacena las Coordenadas de las pupilas del usuario con respecto a una Pregunta.

Atributo	Descripción
id_coo	Identificador de cada Coordenada.
fps_coo	Frame por Segundo al que pertenece la Coordenada.
x_coo	Coordenada x de la pupila.
y_coo	Coordenada y de la pupila.
class_coo	Canal sensorial predominante de la Coordenada.

Tabla Pregunta

Descripción: Almacena las Preguntas que la herramienta reproduce al usuario para llevar a cabo el estudio.

Atributo	Descripción
id_pre	Identificador de cada Pregunta.
nom_pre	Texto que conforma la Pregunta.

Tabla Estadística

Descripción: Almacena las estadísticas de cada usuario por pregunta.

Atributo	Descripción
vis_est	Cantidad de frames visuales en una pregunta determinada.
aud_est	Cantidad de frames auditivos en una pregunta determinada.
kin_est	Cantidad de frames kinestésicos en una pregunta determinada.

En la **Figura 57** se observa el Diagrama Relacional de la Base de Datos.

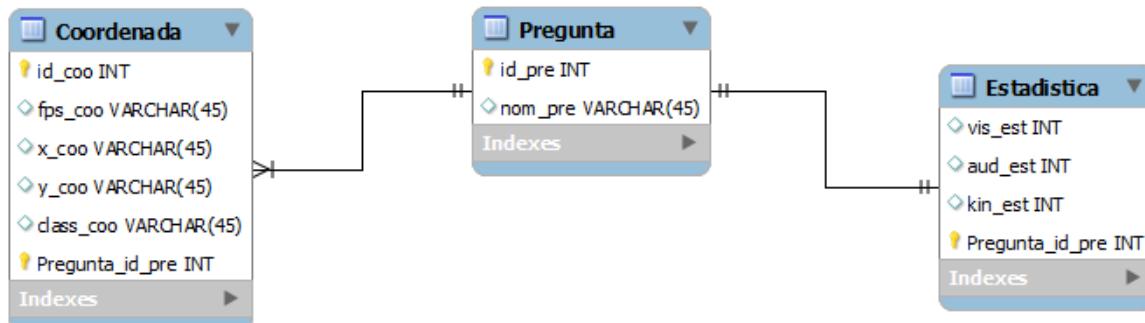


Figura 57. Diagrama Relacional.

7.3 Implementación

En la **Figura 58 b)** se ejemplifica el procedimiento que realiza el prototipo IV, el cual utiliza la imagen a) que es entregada por el prototipo anterior. A partir de esta imagen se utiliza un método de OpenCV que localiza los contornos que se encuentren en una imagen binarizada. Posteriormente se analizan los contornos para seleccionar los que cumplan con características preestablecidas de una pupila (los restantes son mostrados con un contorno azul). Los contornos seleccionados son comparados con la posición de la pupila en el frame anterior, el contorno más cercano es el elegido como la pupila de este frame. Las posibles pupilas son mostradas con un contorno rojo y la pupila seleccionada es mostrada con un contorno amarillo. A continuación se localizan las coordenadas centrales del contorno elegido como pupila.

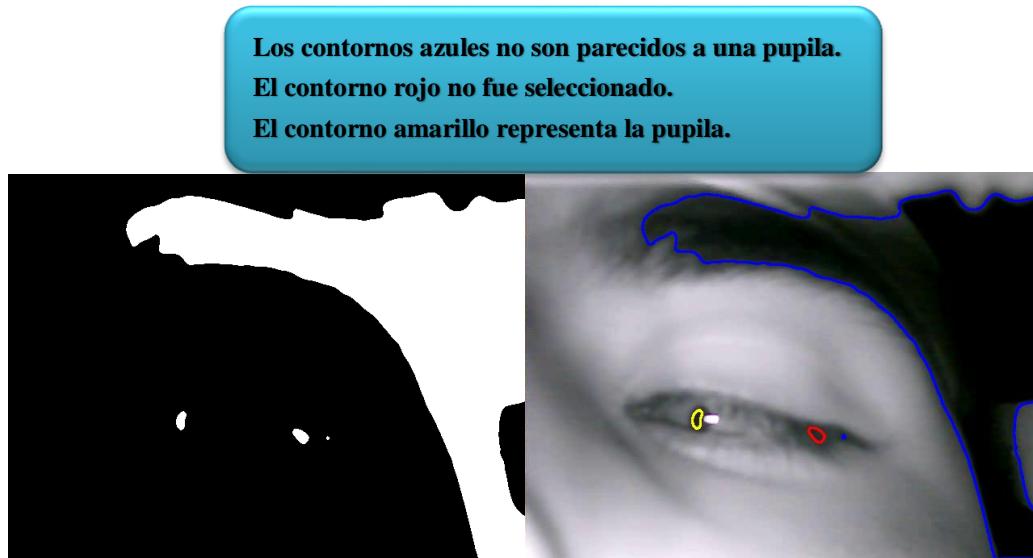


Figura 58. a) Imagen entregada por el Prototipo III. b) Proceso de Eye Tracking.

Hasta el momento, se tiene la coordenada de la pupila $P = (201, 296)$ como se puede observar en la **Figura 59**, sin embargo se requiere hacer una conversión de coordenadas para ajustar el nuevo origen a la arista superior izquierda del área de trabajo (rectángulo rojo):

$$x' = x - \Delta x$$
$$y' = y - \Delta y$$

Sustituyendo:

$$x' = 201 - 115$$
$$x' = 86$$

$$y' = 296 - 169$$
$$y' = 127$$

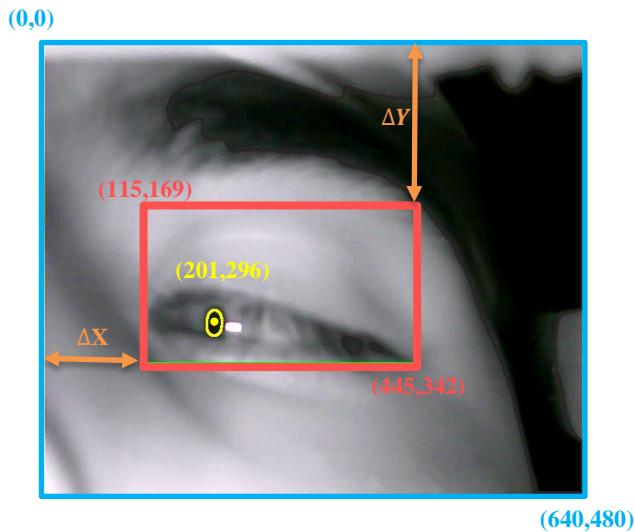


Figura 59. Conversión de coordenadas.

Como bien es sabido los ojos de cada persona son de diferentes dimensiones, por lo tanto para realizar una futura comparación de coordenadas de la pupila para el reconocimiento de patrones, debemos hacerlo considerando posiciones relativas de acuerdo a las dimensiones de cada caso particular. Para ello el largo y el alto del área de trabajo se consideran como un porcentaje, por lo cual la siguiente conversión de coordenadas será de pixeles a porcentajes. Para exemplificar la segunda conversión se tomarán las coordenadas del ejemplo anterior.

Calculamos la base y la altura del área de trabajo:

$$\begin{aligned}
 b &= \text{límiteDerecho}_x - \text{límiteIzquierdo}_x \\
 b &= 445 - 115 \\
 b &= 330
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h &= \text{límiteInferior}_y - \text{límiteSuperior}_y \\
 h &= 342 - 169 \\
 h &= 173
 \end{aligned}$$

Conversión para x' :

Píxel	Porcentaje
330	100
86	x''

$$\begin{aligned}
 x'' &= \frac{86 * 100}{330} \\
 x' &= 26\%
 \end{aligned}$$

Conversión para y' :

Píxel	Porcentaje
173	100
127	y''

$$y'' = \frac{127 * 100}{173}$$

$$y' = 73\%$$

Por lo tanto las coordenadas finales de la pupila son $P'' = (26,73)$, las cuales se guardan en la base de datos. Cabe mencionar que en este último sistema de coordenadas la posición central del ojo sería (50,50).

7.3.1 Reflejo de leds

En ocasiones dependiendo de la posición de la pupila, nos encontramos con el reflejo del led que dificulta la detección normal de la pupila, por lo cual al Eye Tracking se le incorporó un algoritmo que elimina dicho reflejo. Esto se puede apreciar en la **Figura 60** inciso a.

En el procedimiento establecido se realiza la búsqueda de contornos con características particulares de una pupila, sin embargo el reflejo de los leds provoca que la pupila no muestre estas características o que ni siquiera sea mostrada tras aplicar el Preprocesamiento como en el inciso b de la **Figura 60**.

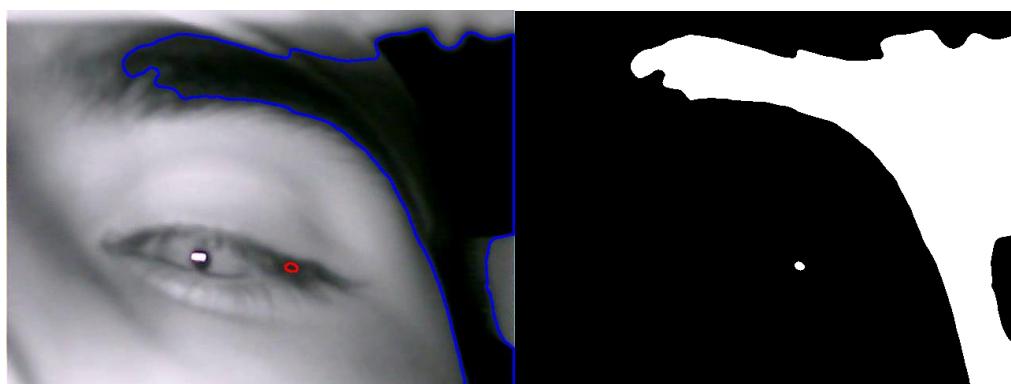


Figura 60. a) Pupila con reflejo provocado por led. b) Preprocesamiento del frame.

Cuando se presenta este caso en el que no hay pupila detectada, se toma el frame original del video y se binariza como se muestra en la **Figura 61**, de nuevo se detectan contornos y sólo se toman en cuenta los que están dentro del área de trabajo, posteriormente se sobreponen en el frame original en color negro.



Figura 61. Binarización del frame original.

Ahora ya se tiene eliminado el reflejo de los leds y cubierto con color negro, por lo cual se repite el procedimiento establecido con el nuevo frame, en el inciso b de la **Figura 62** se puede observar que el Prototipo III muestra la pupila y en el inciso a se muestra la detección de ella.

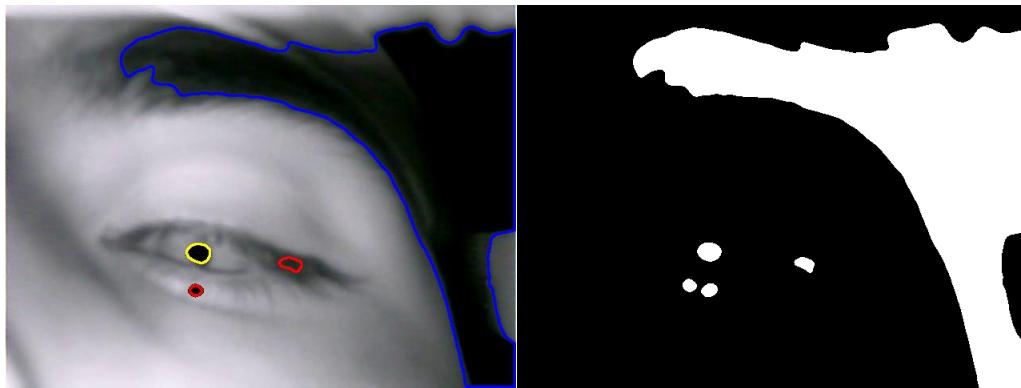


Figura 62. a) Nuevo frame sin reflejo de leds. b) Preprocesamiento del nuevo frame.

7.3.2 Ojo cerrado

Podemos encontrarnos con el caso de que el frame contenga un ojo cerrado o que simplemente el parpado cubra la pupila como se muestra en la **Figura 63**.



Figura 63. Frames con el ojo cerrado.

En estos casos la imagen tomará en cuenta la posición de la pupila del frame anterior. Sin embargo si existen varios frames secuenciales con este caso los dos primeros serán considerados como la posición de la última pupila detectada. Cuando se vuelva a detectar la pupila las dos imágenes anteriores sin detección serán consideradas con esta posición y los frames restantes serán descartados, como se muestra en la **Figura 64** y **Figura 65**.

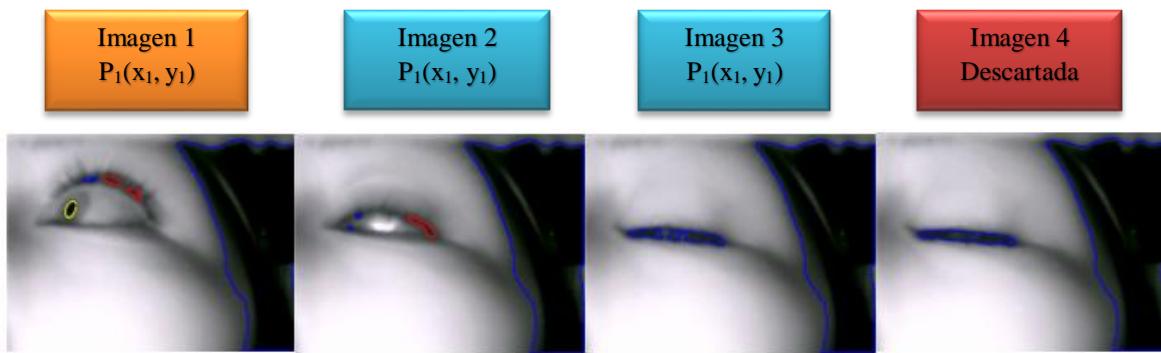


Figura 64. Primera parte de imágenes con ojo cerrado.

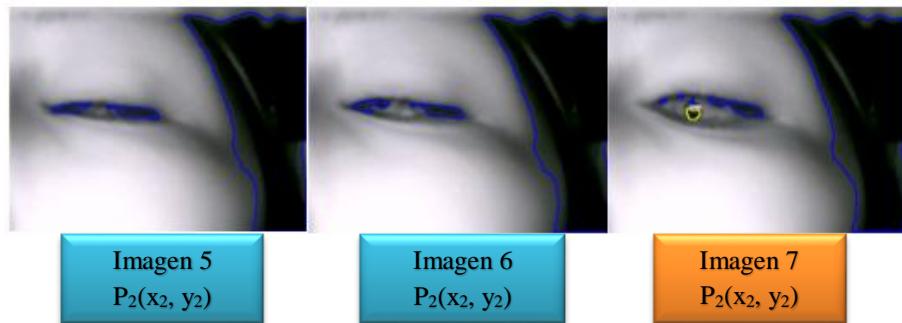


Figura 65. Segunda parte de imágenes con ojo cerrado.

7.4 Pruebas

7.4.1 Protocolo de pruebas

El alcance de estas pruebas está enfocado en la validación del Prototipo IV.

Código	Título de la prueba
PROTOTIPOIV_01	Validación del Seguimiento Ocular.

7.4.2 Fichas de Realización de Pruebas

Código de Prueba:	PROTOTIPO1V_01	Fecha:	25 /09/2014			
Título de Prueba:	Validación del Seguimiento Ocular.					
Verificación de los siguientes requerimientos:						
<ul style="list-style-type: none"> ✓ RB2: Una aplicación que reconozca el movimiento de los ojos. ✓ RNF9: La herramienta permitirá hacer el análisis tanto en el ojo derecho como el izquierdo. <ul style="list-style-type: none"> • Realizar pruebas del Prototipo IV a una persona de la tercera edad en ojo izquierdo. • Realizar pruebas del Prototipo IV a un adulto del sexo masculino en ojo derecho. • Realizar pruebas del Prototipo IV a un adulto del sexo femenino en ojo izquierdo. • Realizar pruebas del Prototipo IV a una adolescente en ojo derecho. • Realizar pruebas del Prototipo IV a un niño en ojo izquierdo. 						
Entorno de prueba:	<p>Iluminación ambiente convencional.</p> <p>Las personas se encuentran desmaquilladas, sin lentes ni objetos que obstruyan los ojos.</p>					
Objetivo del escenario de prueba:	<p>Verificar que el Prototipo IV cumpla con los requerimientos anteriores considerando usuarios de diferentes edades y sexos.</p> <p>La elección del ojo se intercalará entre los usuarios.</p>					

Id	Acciones	Resultados	Comentarios
Realizar pruebas del Prototipo IV a una persona de la tercera edad en ojo izquierdo.			
1	Ejecutar la herramienta.	Se despliega una ventana que muestra el menú principal.	
2	Seleccionar la cámara de la herramienta.	En el marco captura se muestra la imagen tomada por la cámara de la herramienta.	
3	Colocar la diadema en la cabeza del usuario.	La diadema se ajusta satisfactoriamente al tamaño y forma de la cabeza del usuario.	
4	Deslizar la cámara hacia el ojo izquierdo.	El lente de la cámara enfoca el ojo izquierdo del usuario.	
5	Ajustar la cámara con un ángulo de inclinación que permita visualizar la	La cámara capta la pupila del usuario cuando éste mira hacia cualquier dirección.	

	pupila del usuario aunque mire hacia abajo.		
6	Dar clic en el botón de “Grabar video”	La cámara graba durante 5 segundos. El video se encuentra en la carpeta predeterminada.	
7	Dar clic en el botón “Siguiente”	La herramienta realiza el análisis y resalta la pupila encontrada en cada frame.	Se localizó la pupila en el 95% de los casos.

Realizar pruebas del Prototipo IV a un adulto del sexo masculino en ojo derecho.

8	Ejecutar la herramienta.	Se despliega una ventana que muestra el menú principal.	
9	Seleccionar la cámara de la herramienta.	En el marco captura se muestra la imagen tomada por la cámara de la herramienta.	
10	Colocar la diadema en la cabeza del usuario.	La diadema se ajusta satisfactoriamente al tamaño y forma de la cabeza del usuario.	
11	Deslizar la cámara hacia el ojo derecho.	El lente de la cámara enfoca el ojo derecho del usuario.	
12	Ajustar la cámara con un ángulo de inclinación que permita visualizar la pupila del usuario aunque mire hacia abajo.	La cámara capta la pupila del usuario cuando éste mira hacia cualquier dirección.	
13	Dar clic en el botón de “Grabar video”	La cámara graba durante 5 segundos. El video se encuentra en la carpeta predeterminada.	
14	Dar clic en el botón “Siguiente”	La herramienta realiza el análisis y resalta la pupila encontrada en cada frame.	Se localizó la pupila en el 100% de los casos.

Realizar pruebas del Prototipo IV a un adulto del sexo femenino en ojo izquierdo.

15	Ejecutar la herramienta.	Se despliega una ventana que muestra el menú principal.	
16	Seleccionar la cámara de la herramienta.	En el marco captura se muestra la imagen tomada por la cámara de la herramienta.	
17	Colocar la diadema en la cabeza del usuario.	La diadema se ajusta satisfactoriamente al tamaño y forma de la cabeza del usuario.	

18	Deslizar la cámara hacia el ojo derecho.	El lente de la cámara enfoca el ojo derecho del usuario.	
19	Ajustar la cámara con un ángulo de inclinación que permita visualizar la pupila del usuario aunque mire hacia abajo.	La cámara capta la pupila del usuario cuando éste mira hacia cualquier dirección.	
20	Dar clic en el botón de “Grabar video”	La cámara graba durante 5 segundos. El video se encuentra en la carpeta predeterminada.	
21	Dar clic en el botón “Siguiente”	La herramienta realiza el análisis y resalta la pupila encontrada en cada frame.	Se localizó la pupila en el 79% de los casos.

Realizar pruebas del Prototipo IV a una adolescente en ojo derecho.

22	Ejecutar la herramienta.	Se despliega una ventana que muestra el menú principal.	
23	Seleccionar la cámara de la herramienta.	En el marco captura se muestra la imagen tomada por la cámara de la herramienta.	
24	Colocar la diadema en la cabeza del usuario.	La diadema se ajusta satisfactoriamente al tamaño y forma de la cabeza del usuario.	
25	Deslizar la cámara hacia el ojo derecho.	El lente de la cámara enfoca el ojo derecho del usuario.	
26	Ajustar la cámara con un ángulo de inclinación que permita visualizar la pupila del usuario aunque mire hacia abajo.	La cámara capta la pupila del usuario cuando éste mira hacia cualquier dirección.	
27	Dar clic en el botón de “Grabar video”	La cámara graba durante 5 segundos. El video se encuentra en la carpeta predeterminada.	
28	Dar clic en el botón “Siguiente”	La herramienta realiza el análisis y resalta la pupila encontrada en cada frame.	Se localizó la pupila en el 75% de los casos.

Realizar pruebas del Prototipo IV a un niño en ojo izquierdo.

29	Ejecutar la herramienta.	Se despliega una ventana que muestra el menú principal.	
30	Seleccionar la cámara de la herramienta.	En el marco captura se muestra la imagen tomada por la cámara de la herramienta.	

31	Colocar la diadema en la cabeza del usuario.	La diadema se ajusta satisfactoriamente al tamaño y forma de la cabeza del usuario.	
32	Deslizar la cámara hacia el ojo derecho.	El lente de la cámara enfoca el ojo derecho del usuario.	
33	Ajustar la cámara con un ángulo de inclinación que permita visualizar la pupila del usuario aunque mire hacia abajo.	La cámara capta la pupila del usuario cuando éste mira hacia cualquier dirección.	
34	Dar clic en el botón de “Grabar video”	La cámara graba durante 5 segundos. El video se encuentra en la carpeta predeterminada.	
35	Dar clic en el botón “Siguiente”	La herramienta realiza el análisis y resalta la pupila encontrada en cada frame.	Se localizó la pupila en el 92% de los casos.

7.4.3 Resultados

El Prototipo IV demostró tener un buen desempeño en todos los casos, logrando el seguimiento del movimiento ocular con un porcentaje de detección de pupila alto. Sin embargo la detección de la pupila se ve disminuida en personas con una alta frecuencia de parpadeo.

Los algoritmos y la metodología implementados para evitar la interferencia de cejas y pestañas resultaron eficientes, ya que no causan problemas significativos en la detección de la pupila.

C A PÍTULO 8
P R O T O T I P O V
“ C L A S I F I C A C I Ó N ”

8.1 Análisis

8.1.1 Descripción

Este prototipo tiene como objetivo clasificar los datos (movimientos oculares) obtenidos del prototipo anterior y clasificarlos entre uno de los 3 canales sensoriales. En este prototipo también se contempla la visualización de los resultados y mostrar recomendaciones de aprendizaje a la persona que se ha aplicado la prueba.

8.1.2 Casos de Uso

En la **Figura 66** resaltan los casos de uso que intervienen en este prototipo:

- **Realizar Análisis:** Este prototipo se encarga de realizar la clasificación de los movimientos oculares.
- **Visualizar Resultados:** Muestra los resultados y su clasificación.

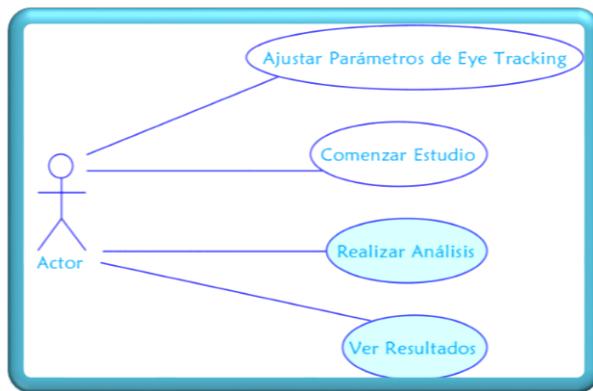


Figura 66. Caso de Uso para prototipo V.

8.1.3 Requerimientos

En la **Tabla 37** se pueden ver los requerimientos de este prototipo.

Tabla 37. Requerimientos correspondientes al Prototipo V.

REQUERIMIENTOS BÁSICOS	
RB1	Una aplicación que indique al usuario su canal sensorial predominante.
RB5	Una aplicación que sirva de guía para conocer métodos óptimos de aprendizaje.
REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	
RF7	La herramienta mostrará los cálculos realizados en gráficas.
RF8	Los resultados deberán mostrar los porcentajes de los canales sensoriales analizados.
RF9	La herramienta tendrá una sección de recomendaciones precargadas que serán mostradas según los resultados obtenidos del análisis.

8.1.4 Especificación

8.1.4.1 Clasificación

Los grupos o clases en las cuales se va a clasificar son visual, auditivo o kinestésico. Como se observó en la

Figura 3 del Marco Teórico la posición de la pupila representa el acceso o la clase a la que pertenecen, es decir, en un plano cartesiano la clase visual se agrupa en la parte superior, la clase auditiva en la parte central y la kinestésica en la inferior como se aprecia en la **Figura 67**. Por lo cual un algoritmo de agrupamiento o de aprendizaje no supervisado resulta adecuado para este caso, ya que como se mencionó en el Marco Teórico los patrones son asociados por ellos mismos dentro de grupos con propiedades en común. La clasificación considera dos rasgos o atributos, la coordenada “X” y la coordenada “Y” de la pupila.

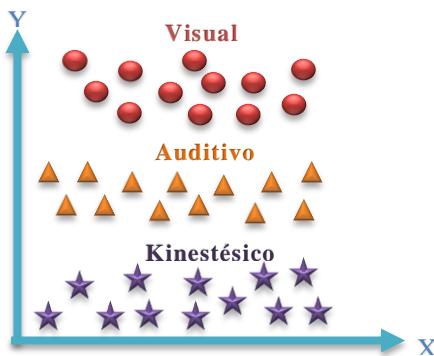


Figura 67. Representación del agrupamiento de las clases.

El algoritmo de Isodata o k-Medias es uno de los algoritmos de agrupamiento más populares y conocidos. Puede ser visto como un caso especial del esquema algorítmico de agrupamiento sólido generalizado cuando puntos representativos son usados y la distancia Euclidiana es adoptada para medir la disimilitud entre vectores x_i y agrupamientos representativos β_j .

El algoritmo sigue los siguientes pasos:

- 1 Sacar la suma de cada rasgo por clase.
- 2 Sacar el promedio o centroide, el cual será el punto representante de la clase.
- 3 Se repiten los pasos del 1 al 2 por cada una de las clases.
- 4 Se calcula la distancia de los centroides con respecto al nuevo punto.
- 5 Se clasifica como el que tenga la distancia menor.

El algoritmo K-Medias nos permite clasificar las pupilas dependiendo del lugar que éstas ocupen dentro del plano cartesiano, es decir, se clasifica de acuerdo a la clase del centroide más cercano.

8.1.4.2 Gráficas

Requerimos de una interfaz fácil y cómoda para el usuario, donde se visualicen gráficas y tablas de forma organizada.

C++ no da la facilidad de mostrar gráficas y QT en su versión libre tampoco tiene soporte para ello. Existen complementos bajo licencia GNU GPL como QTCustomPlot, mas su performance no es el deseado. La solución es integrar una tecnología diseñada y especializada para presentar información e interactuar con el usuario, como la que ofrece HTML y javascript usados principalmente en páginas web.

Necesitamos auxiliarnos de un framework para la visualización ordenada de los datos. Algunas de las APIs que ayudan a desplegar gráficas en páginas web son tres: ExtJS, YUI y Dojo.

Elegimos ExtJS debido a su basta documentación, sus animaciones y la facilidad para modificar el estilo, además que su curva de aprendizaje es ideal para el tiempo de este proyecto.

8.2 Diseño

8.2.1 Diagrama de Clases

En la **Figura 68** podemos observar el diagrama de clases que corresponde a este prototipo.

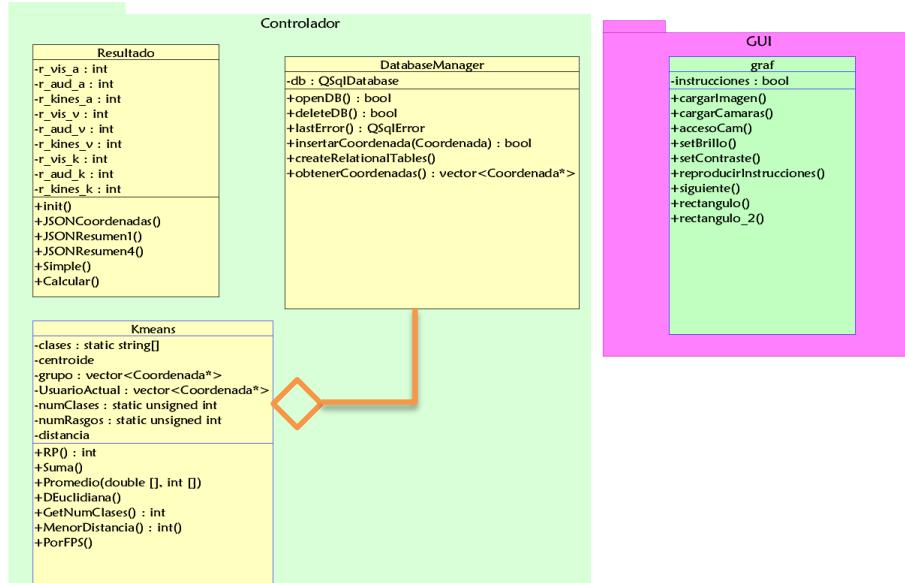


Figura 68. Diagrama de clases correspondiente al prototipo V.

Clase “KMeans”

En la **Tabla 38** y **Tabla 39** se observan los atributos y métodos de la clase KMeans correspondientemente.

Tabla 38. Atributos de la clase KMeans.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
<i>clases</i>	Arreglo estático que almacena los 3 canales sensoriales.
<i>centroide</i>	Arreglo que almacena el promedio de cada rasgo por clase.
<i>grupo</i>	Vector que contiene las instancias de Coordenada que analizará.
<i>UsuarioActual</i>	Vector que almacena las instancias de Coordenada que se van a clasificar.
<i>numClases</i>	Almacena el número de las clases entre las cuales se va a clasificar.
<i>numRasgos</i>	Almacena el número de rasgos que se analizan para la clasificación.
<i>distancia</i>	Arreglo que contiene las distancias entre centroide y usuarioActual, es decir, se obtienen las distancias entre los centroides (visual, auditivo, kinestésico) y la coordenada actual del usuario a clasificar.

Tabla 39. Métodos de la clase KMeans.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
<i>KMeans</i>	Constructor de la Clase.
<i>Proceso</i>	Invoca los métodos necesarios para la clasificación.
<i>Suma</i>	Realiza la suma de las instancias por clase y por rasgo.
<i>Promedio</i>	Obtiene los centroides de cada clase, es decir, del fps que se está analizando se saca un centroide visual, uno visual y otro auditivo.
<i>DEuclidiana</i>	Calcula la distancia entre los centroides y la coordenada actual del usuario.
<i>GetNumClases</i>	Obtiene el número de clases entre las cuales se va a clasificar.
<i>MenorDistancia</i>	Devuelve la clase a la que pertenece la distancia menor almacenada en el atributo “distancia”.

Clase “DatabaseManager”

En la **Tabla 40** y **Tabla 41** se observan los atributos y métodos de la clase DatabaseManager correspondientemente.

Tabla 40. Atributos de la clase DatabaseManager.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
<i>db</i>	Este atributo de tipo QSqlDatabase que ofrece QT, nos facilita la manera en que se accede y maneja una base de datos.

Tabla 41. Métodos de la clase DatabaseManager.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
<i>openDB</i>	Abre la base de datos o crea el archivo si no existe
<i>deleteDB</i>	Elimina la base de datos.
<i>lastError</i>	Regresa el último error que ocurrió.
<i>insertarCoordenada</i>	Inserta una coordenada a la base de datos.
<i>void createRelationalTables</i>	Contiene el esquema de la base de datos y lo crea.
<i>obtenerCoordenadas</i>	Regresa las coordenadas que se obtuvieron por la pregunta “n”.

Clase “Estadistica”

En la **Tabla 42** y **Tabla 43** se observan los atributos y métodos de la clase Estadística correspondientemente.

Tabla 42. Atributos de la clase Estadistica.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
<i>pregunta</i>	Almacena el entero correspondiente a la pregunta analizada.
<i>visual</i>	Almacena la cantidad de instancias que fueron clasificadas como visuales por cada pregunta.
<i>auditivo</i>	Almacena la cantidad de instancias que fueron clasificadas como auditivas por cada pregunta.
<i>kinestésico</i>	Almacena la cantidad de instancias que fueron clasificadas como kinestésicas por cada pregunta.

Tabla 43. Métodos de la clase Estadistica.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
<i>Estadistica</i>	Constructor de la Clase.
<i>GetPregunta</i>	Obtiene el número de la pregunta.
<i>SetPregunta</i>	Modifica el número de la pregunta.
<i>GetVisual</i>	Obtiene la cantidad de instancias clasificadas como visuales por pregunta.
<i>SetVisual</i>	Modifica la cantidad de instancias clasificadas como visuales por pregunta.
<i>GetAuditivo</i>	Obtiene la cantidad de instancias clasificadas como auditivas por pregunta.
<i>SetAuditivo</i>	Modifica la cantidad de instancias clasificadas como auditivas por pregunta.
<i>GetKinestesico</i>	Obtiene la cantidad de instancias clasificadas como kinestésicas por pregunta.
<i>SetKinestesico</i>	Modifica la cantidad de instancias clasificadas como kinestésicas por pregunta.

Clase “Resultado”

En la **Tabla 44** y **Tabla 45** se observan los atributos y métodos de la clase Resultado, los cuales son estáticos ya que su ejecución será única.

Tabla 44. Atributos de la clase Resultado.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
<i>r_vis_a</i>	Este entero guarda la cuenta de coordenadas que resultaron visuales cuando se tuvo un estímulo auditivo.
<i>r_aud_a</i>	Este entero guarda la cuenta de coordenadas que resultaron auditivas cuando se tuvo un estímulo auditivo.
<i>r_kines_a</i>	Este entero guarda la cuenta de coordenadas que resultaron kinestésicas cuando se tuvo un estímulo auditivo.
<i>r_vis_v</i>	Este entero guarda la cuenta de coordenadas que resultaron visuales cuando se tuvo un estímulo visual.
<i>r_aud_v</i>	Este entero guarda la cuenta de coordenadas que resultaron auditivas cuando se tuvo un estímulo visual.
<i>r_kines_v</i>	Este entero guarda la cuenta de coordenadas que resultaron kinestésicas cuando se tuvo un estímulo visual.
<i>r_vis_k</i>	Este entero guarda la cuenta de coordenadas que resultaron visuales cuando se tuvo un estímulo kinestésico.
<i>r_aud_k</i>	Este entero guarda la cuenta de coordenadas que resultaron auditivas cuando se tuvo un estímulo kinestésico.
<i>r_kines_k</i>	Este entero guarda la cuenta de coordenadas que resultaron kinestésicas cuando se tuvo un estímulo kinestésico.

Tabla 45. Métodos de la clase Resultado.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
init	Inicializa la base de Datos.
JSONCoordenadas	Crea un archivo en formato JSON con todas las coordenadas obtenidas.
JSONResumen1	Crea el Json con los datos necesarios para visualizar la gráfica y la tabla con los porcentajes de Coordenadas.
JSONResumen4	Crea el Json con los datos necesarios para visualizar la gráfica y la tabla con los porcentajes de Coordenadas divido según el canal.
Simple	Crea un archivo de texto plano con el resultado de canal predominante.
Calcular	Este método enlista la secuencia de ejecución de los métodos: JSONCoordenadas, JSONResumen1, JSONResumen4, Simple

8.3 Implementación

Para comenzar la clasificación se realiza el siguiente procedimiento:

1. El prototipo anterior entrega un vector Coordenada el cual contiene la información del usuario actual.
2. Se obtiene de la base de datos el conjunto de aprendizaje ordenando por FPS ascendente de la pregunta correspondiente.
3. Se realiza una comparación entre ambos conjuntos, considerando para el análisis únicamente los FPS en los cuales se haya detectado pupila del usuario actual como se exemplifica en la **Tabla 46**.

Tabla 46. Ejemplo del punto 3 de clasificación.

FPS del Usuario Actual	FPS del Conjunto Fundamental
1	1
2	2
Para el análisis no se considera el FPS 3, debido a que no existen coordenadas para ese FPS del usuario actual.	
	3
	1
	2
	3
	1
	2
	3

4. Se agrupa la información de todos los FPS correspondientes del conjunto fundamental en un vector, véase la **Tabla 47**.

Tabla 47. Ejemplo de agrupación de FPS.

Grupo 1	Grupo 2
1	2
1	2
1	2

De acuerdo con el ejemplo se forman 2 grupos de FPS, cabe mencionar que cada que un grupo se forma se procede a su análisis para después continuar con la formación del siguiente grupo.

5. De cada uno de estos grupos se obtiene un centroide por clase y por coordenada (ordenadas y abscisas). En la **Figura 69** se puede observar un ejemplo de los tres centroides que representan a cada una de las clases mediante una coordenada promedio de todas las instancias de la **Figura 67**.

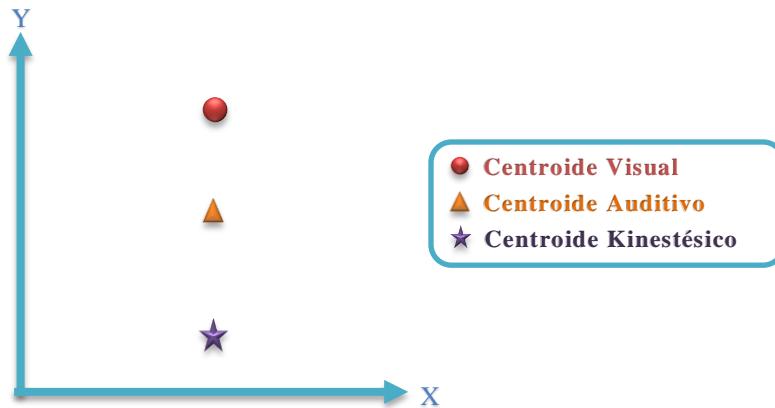


Figura 69. Ejemplificación de centroides obtenidos de las instancias de la **Figura 67**.

6. Con esta información se clasifica la coordenada del frame correspondiente del usuario actual de acuerdo al centroide más cercano.

De acuerdo a lo anterior, en la **Figura 70** la nueva Coordenada sería clasificada como Visual debido a su cercanía con el centroide representativo de esta clase.

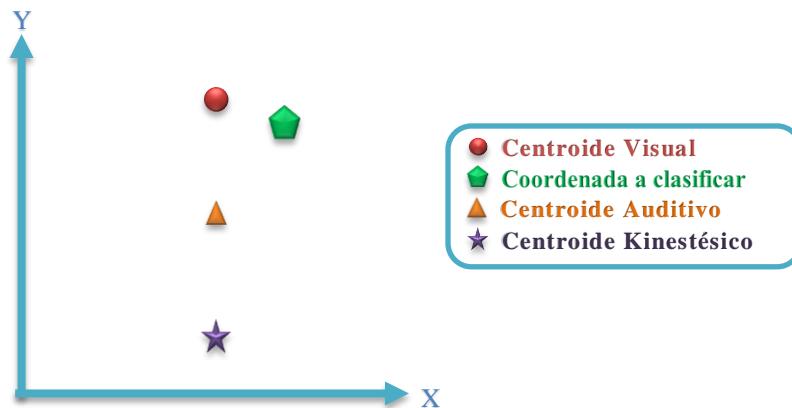


Figura 70. Ejemplificación de una nueva Coordenada a clasificar.

7. Para finalizar, en la tabla “Estadística” se almacena la cantidad de frames clasificados en cada una de las clases por pregunta. En la **Tabla 48** se puede observar un ejemplo, en donde se analizaron dos preguntas, la primera está conformada por 20 frames de los cuales 12 fueron clasificados como visuales, 6 auditivos y 2 kinestésicos. En la segunda pregunta se clasificaron 15 frames visuales, 8 auditivos y 5 kinestésicos, dando un total de 28 instancias clasificadas en esta pregunta.

Tabla 48. Ejemplo del fichero “Estadistica”.

pregunta	visual	auditivo	kinestésico
1	12	6	2
2	15	8	5

Posteriormente en esta etapa se obtienen las coordenadas de la base de datos, se calcula los porcentajes usando las variables estáticas de la clase Resultado y se procede con crear los archivos que contienen esta información y que son leídos por la interfaz. La interfaz contiene una página HTML para darle formato al contenido y con ayuda del framework ExtJS se pueden visualizar las gráficas de pie y grids.

En la **Figura 71** se puede observar la pantalla con las recomendaciones (Ver **Anexo 11.4.2 Recomendaciones**) según el canal sensorial predominante entregado por el Reconocimiento de Patrones.



Figura 71. Pantalla de Recomendaciones.

En la **Figura 72** se muestra la pantalla en la que se pueden visualizar los movimientos que siguió el ojo cuando resolvió una pregunta.

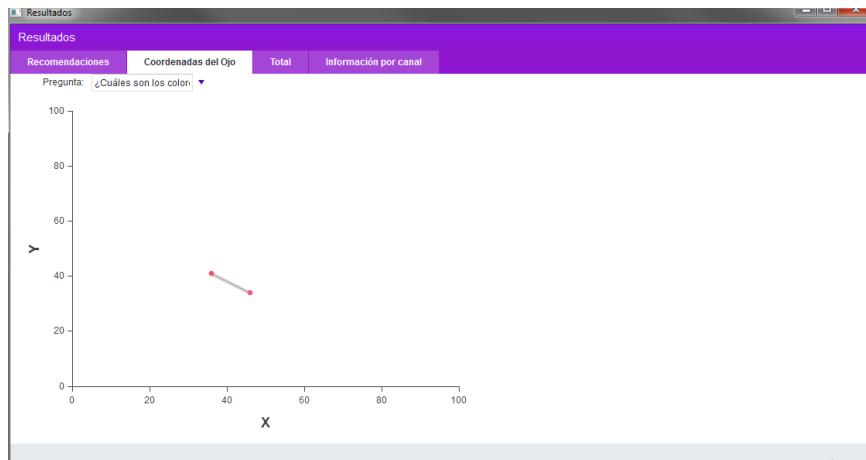


Figura 72. Pantalla de Seguimiento Ocular.

En la **Figura 73** se puede ver la pantalla en la cual, la herramienta muestra los porcentajes obtenidos para cada uno de los canales de aprendizaje.

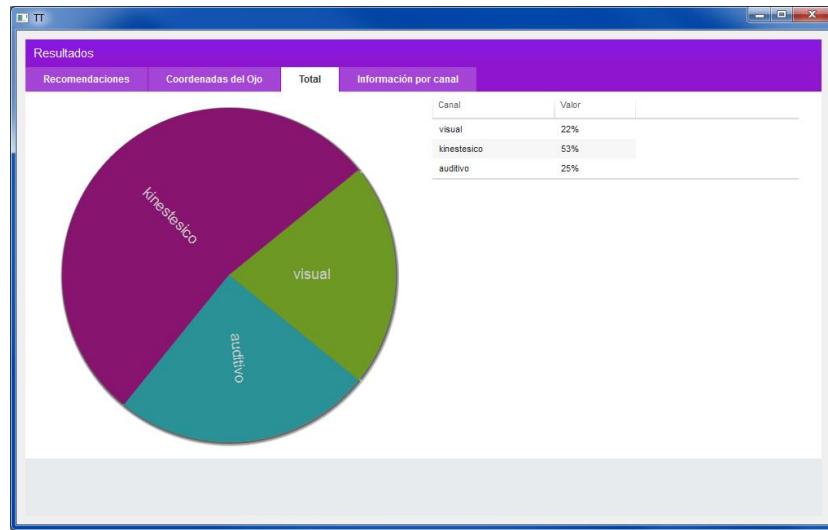


Figura 73. Pantalla de Resumen de Accesos oculares.

Como una característica adicional, en la **Figura 74** se puede observar una gráfica la cual muestra la respuesta del usuario según el canal sensorial estimulado, pudiendo tener un análisis más específico.

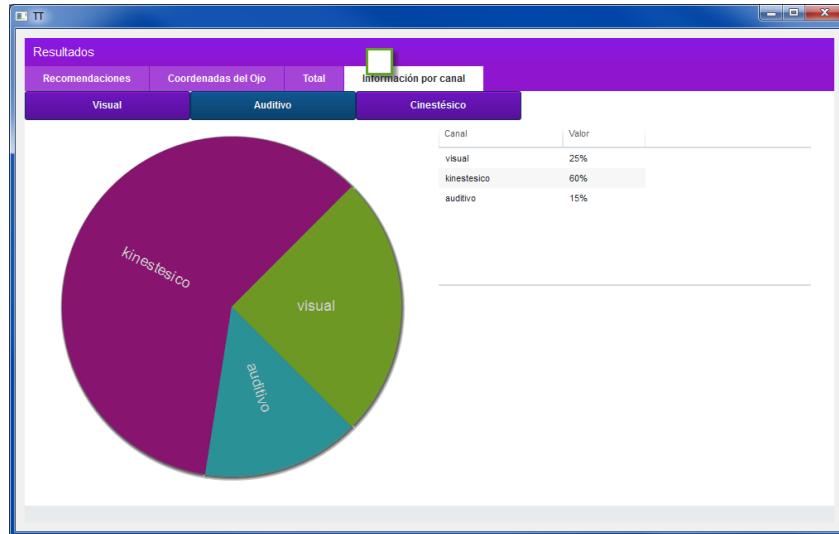


Figura 74. Pantalla de Resumen de Accesos oculares.

8.4 Pruebas

8.4.1 Protocolo de pruebas

El alcance de estas pruebas está enfocado en la validación del Prototipo V.

Código	Título de la prueba
PROTOTIPOV_01	Validación de Algoritmo K-means en la herramienta.
PROTOTIPOV_02	Integración del módulo de resultados al prototipo.

8.4.2 Fichas de Realización de Pruebas

Código de Prueba:	PROTOTIPOV_01	Fecha:	22 /01/2015		
Título de Prueba:	Validación de Algoritmo K-means en el prototipo.				
Verificación de los siguientes requerimientos:					
<ul style="list-style-type: none">✓ RB1: Una aplicación que indique al usuario su canal sensorial predominante.✓ RN3: La clasificación se hará entre los tres canales sensoriales, visual, kinestésico o auditivo.					
Entorno de prueba:	<p>El módulo de reconocimiento de patrones se validará mediante la técnica k-Fold Cross Validation con las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none">• Se tiene una base de datos con 360 Coordenadas.• Se harán 10 particiones.• Cada partición va a tener 36 coordenadas de prueba y 324 de entrenamiento.				
Objetivo del escenario de prueba:	Verificar que el módulo de Reconocimiento de Patrones tenga un porcentaje de asertividad aceptable.				

Id	Acciones	Resultados	Comentarios
1	Crear coordenadas correctamente clasificadas basadas con datos reales.	Tenemos el conjunto fundamental.	
2	Insertar el conjunto fundamental en la tabla Coordenada de la herramienta.	Datos correctamente insertados.	
3	Ejecutar la técnica k-Fold Cross Validation.	El porcentaje total de la prueba devuelve un 91% de asertividad.	El porcentaje de asertividad es aceptable.

Código de Prueba:	PROTOTIPOV_02	Fecha:	22 /01/2015
--------------------------	----------------------	---------------	-------------

Título de Prueba: Integración del módulo de resultados al prototipo.

Verificación de los siguientes requerimientos:

- ✓ RF8: Los resultados deberán mostrar los porcentajes de los canales sensoriales analizados.
- ✓ RF9: La herramienta tendrá una sección de recomendaciones precargadas que serán mostradas según los resultados obtenidos del análisis.
- ✓ RB3: Una aplicación que ofrezca una interfaz intuitiva con el usuario.
- ✓ RB5: Una aplicación que sirva de guía para conocer métodos óptimos de aprendizaje.

Entorno de prueba:	En la base de datos se encuentran las estadísticas entregadas por el módulo de Reconocimiento de Patrones.
Objetivo del escenario de prueba:	Verificar que el módulo de resultados muestre las gráficas y recomendaciones correctamente.

Id	Acciones	Resultados	Comentarios
1	Obtener las estadísticas de la base de datos.	Se obtienen las coordenadas.	
2	La herramienta construye las gráficas y muestra las recomendaciones pertinentes.	El usuario puede visualizar los resultados	Las gráficas corresponden a los datos obtenidos en la base de datos y las recomendaciones visualizadas son las correctas.

8.4.3 Resultados

El algoritmo Isodata obtuvo un alto porcentaje de clasificación asertiva de acuerdo a la técnica K-Fold Cross Validation, así mismo las gráficas que se visualizan corresponden a las estadísticas entregadas por el reconocimiento de patrones y permiten que el usuario interactúe con sus resultados de manera ilustrativa.

C A P I T U L O 9 I N T E G R A C I Ó N

9.1 Análisis

9.1.1 Descripción

Una vez terminado de forma deseada los prototipos establecidos, es necesaria una etapa de integración, en la que se comunican cada uno de estos módulos.

9.1.2 Requerimientos

En la **Tabla 49** se pueden ver los requerimientos que corresponden a este prototipo.

Tabla 49. Requerimientos correspondientes a la integración.

REQUERIMIENTOS BÁSICOS	
RB3	Una aplicación que ofrezca una interfaz intuitiva con el usuario.
REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	
RF1	La herramienta permitirá al usuario seleccionar el nivel de brillo y contraste de la entrada de video.
RF4	La herramienta mostrará una serie de preguntas para realizar el estudio.
RF5	El usuario podrá elegir la pregunta a reproducir mediante un botón.
RF6	En el momento de que se concluyan todas las preguntas, el usuario podrá activar el inicio del análisis de los videos grabados.
REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES	
RNF4	Una vez concluido un grupo de cinco preguntas, la herramienta deberá desplegar el siguiente grupo sustituyendo al anterior automáticamente.
RNF5	La herramienta mostrará una marca cuando la pregunta se haya concluido.
RNF6	La herramienta será desarrollada en C++.
RNF12	La pregunta no podrá ser seleccionada sin que la anterior haya sido completada.

9.2 Diseño

9.2.1 Diagrama de Clases

En ésta sección se puede observar el diagrama de clases de toda la herramienta, el cual permite ver la interacción entre las clases de cada uno de los prototipos.

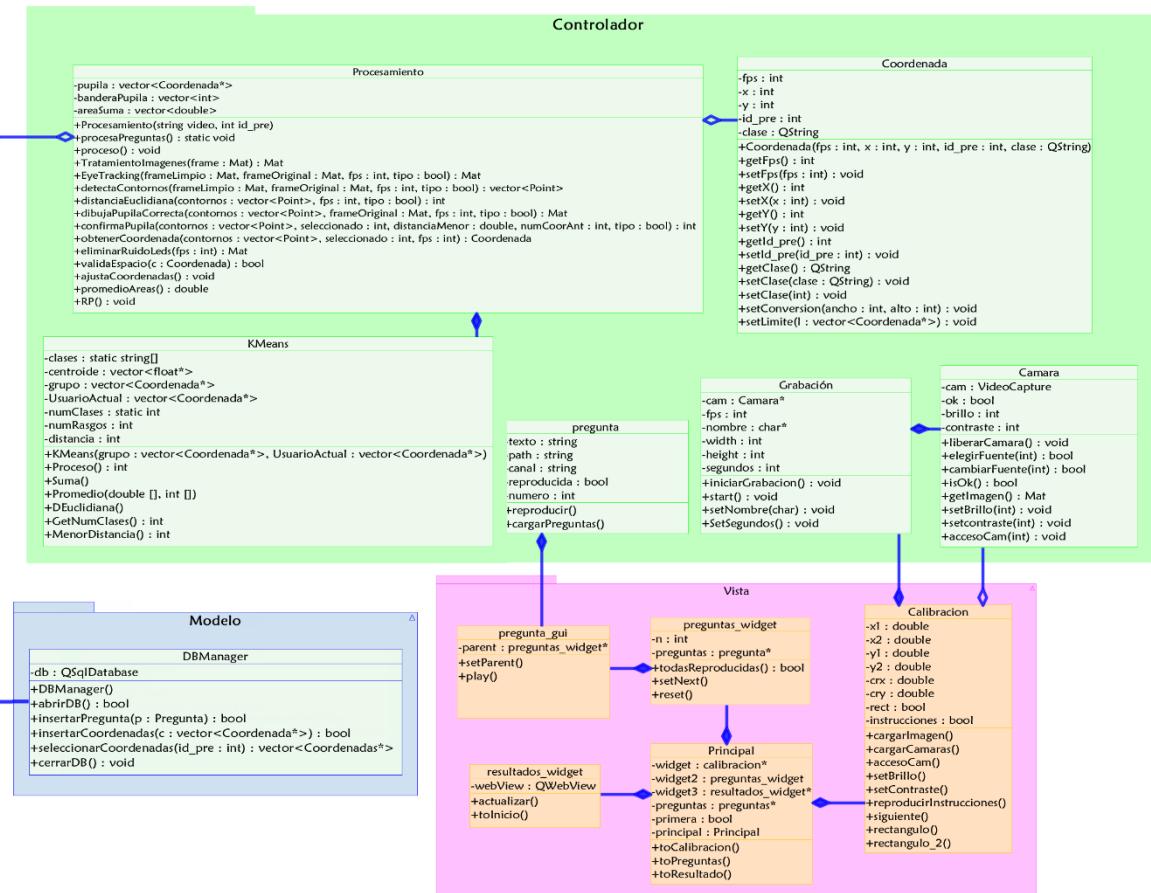


Figura 75. Diagrama de clases completo.

Clase “Pregunta”

En la **Tabla 50** y **Tabla 51** se observan los atributos métodos de la clase **Pregunta**.

Tabla 50. Atributos de la clase Pregunta.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
<i>texto</i>	Este atributo guarda el texto de la pregunta.
<i>path</i>	Aquí está la dirección del archivo de audio de la pregunta.
<i>canal</i>	Se guarda el tipo de pregunta que se hará.
<i>reproducida</i>	Indica si el audio ya se reprodujo.
<i>numero</i>	Indica el número de la pregunta.

Tabla 51. Métodos de la clase Pregunta.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
<i>Reproducir</i>	Reproduce la Pregunta y toma el video que se analizará a futuro.
<i>cargaPreguntas()</i>	En este método se obtienen las preguntas del archivo en formato JSON que contiene las preguntas y sus especificaciones.

Clase “Pregunta_gui”

En la **Tabla 52** y **Tabla 53** se observan los atributos métodos de la clase **Pregunta_gui**.

Tabla 52. Atributos de la clase Pregunta_gui.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
<i>parent</i>	Aquí se indica cual es el widget de preguntas que crea un objeto de esta clase.

Tabla 53. Métodos de la clase Pregunta_gui.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
<i>play</i>	Método que se presenta cuando se le da click al botón reproducir.
<i>setParent</i>	Se indica quien es el parent del widget.

Clase “Pregunta_gui”

En la **Tabla 54** y **Tabla 55** se observan los atributos métodos de la clase **Preguntas_widget**.

Tabla 54. Atributos de la clase Preguntas_widget.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
<i>n</i>	Aquí se indica cual es el widget de preguntas que crea un objeto de esta clase.
<i>preguntas</i>	Aquí se guardan las preguntas que se obtienen del JSON.

Tabla 55. Métodos de la clase Preguntas_ widget.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
<i>todasReproducidas</i>	Regresa true si ya se han reproducido todas las preguntas del bloque.
<i>setNext</i>	Pasa al siguiente bloque de preguntas.
<i>reset</i>	Regresa a mostrar las preguntas desde el principio.

Clase “Calibracion”

En la **Tabla 56** y **Tabla 57** se observan los atributos métodos de la clase **Calibracion**.

Tabla 56. Atributos de la clase Calibracion.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
<i>x1</i>	Posición x del extremo del rectángulo dibujado.
<i>x2</i>	Posición x del otro lado del rectángulo dibujado
<i>y1</i>	Posición y del extremo del rectángulo dibujado.
<i>y2</i>	Posición y del otro lado del rectángulo dibujado
<i>crx</i>	Relación que existe entre el ancho de la imagen mostrada y el ancho de la imagen original.
<i>cry</i>	Relación que existe entre el alto de la imagen mostrada y el alto de la imagen original.
<i>rect</i>	Bandera que indica si ya se dibujó el rectángulo
<i>instrucciones</i>	Hilo de instrucciones.

Tabla 57. Métodos de la clase Calibracion.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
<i>cargarImagen</i>	Dibuja la imagen de la cámara en la pantalla.
<i>cargarCamaras</i>	Carga las cámaras por defecto.
<i>accesoCam</i>	Accede a una cámara cuando se cambia el comboBox.
<i>setBrillo</i>	Cambia el brillo de la imagen.
<i>setContraste</i>	Cambia el contraste de la imagen
<i>reproducirInstrucciones</i>	Reproduce las instrucciones
<i>siguiente</i>	Lleva a la siguiente sección de preguntas.
<i>rectángulo</i>	Guarda la primera coordenada del rectángulo.
<i>rectángulo_2</i>	Marca la segunda coordenada del rectángulo.

Clase “resultados_widget”

En la **Tabla 58** y **Tabla 59** se observan los atributos métodos de la clase **resultados_widget**.

Tabla 58. Atributos de la clase resultados_widget.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
<i>webView</i>	Objeto de QT que permite visualizar HTML y js.

Tabla 59. Métodos de la clase resultados_widget.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
<i>actualizar</i>	Actualiza la vista con la información creada por los archivos.
<i>toInicio</i>	Regresa a la primera pantalla.

Clase “Principal”

En la **Tabla 60** y **Tabla 61** se observan los atributos métodos de la clase **resultados_widget**.

Tabla 60. Atributos de la clase Principal.

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
<i>widget1</i>	Widget de Calibración.
<i>widget2</i>	Widget de Pantalla de preguntas.
<i>widget3</i>	Widget de Pantalla de resultados.
<i>preguntas</i>	Arreglo de las preguntas que se tienen en el JSON.
<i>primera</i>	Bandera de primera ejecución.
<i>principal</i>	Objeto estático que guarda un objeto de esta misma clase.

Tabla 61. Métodos de la clase Principal.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
<i>toCalibracion</i>	Lleva a la primera pantalla: Calibración.
<i>toPreguntas</i>	Lleva a la segunda pantalla: Preguntas.
<i>toResultados</i>	Lleva a la tercera pantalla: Resultados.

9.3 Implementación

La ejecución de la aplicación lleva el siguiente flujo:

1. Se abra la base de datos.
2. Se leen las preguntas del archivo de configuración.
3. Se abre pantalla de Calibración y accede a la cámara, como se muestra en la **Figura 76**.

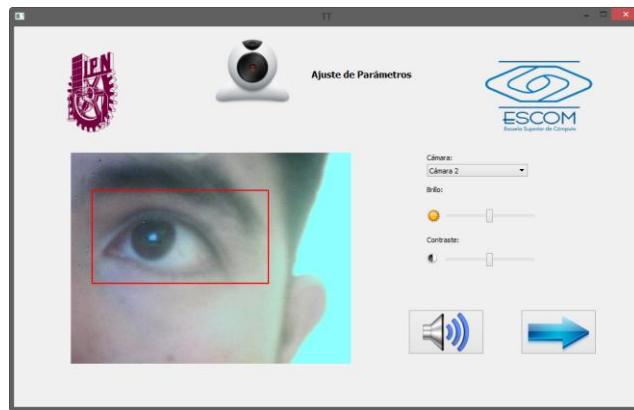


Figura 76. Pantalla de Calibración.

4. Se solicita se seleccione el área donde se encuentra el ojo, **Figura 77**.

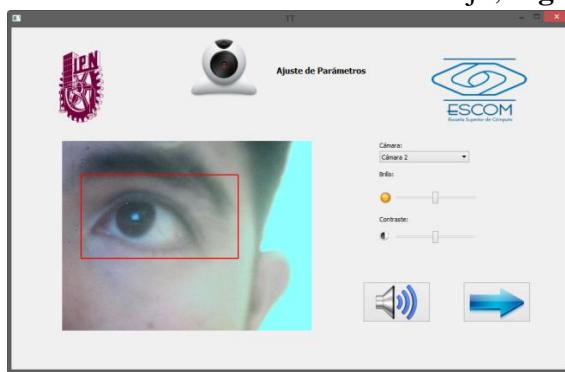


Figura 77. Seleccionando área del ojo.

5. Al dar click al botón siguiente, se muestra la pantalla de preguntas, como indica la **Figura 78**.

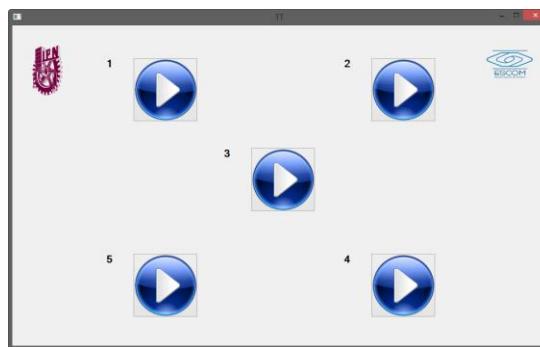


Figura 78. Pantalla de Preguntas.

6. Se reproducen de una en una cada bloque de 5 preguntas hasta llegar a 30. Cada pregunta reproduce un audio, graba y guarda un video en la carpeta de la aplicación. La **Figura 79** muestra una pregunta en reproducción.



Figura 79. Se reproduce la pregunta.

7. Se abren de uno en uno los videos, se convierten a frames, y se sigue el proceso de eyetracking.
8. Según la coordenada se clasifica usando reconocimiento de patrones.
9. Se calcula un total de los datos obtenidos, se sacan porcentajes y se crean archivos de resultados.
10. Se muestra la pantalla interactiva de resultados. Como indica la **Figura 80**.

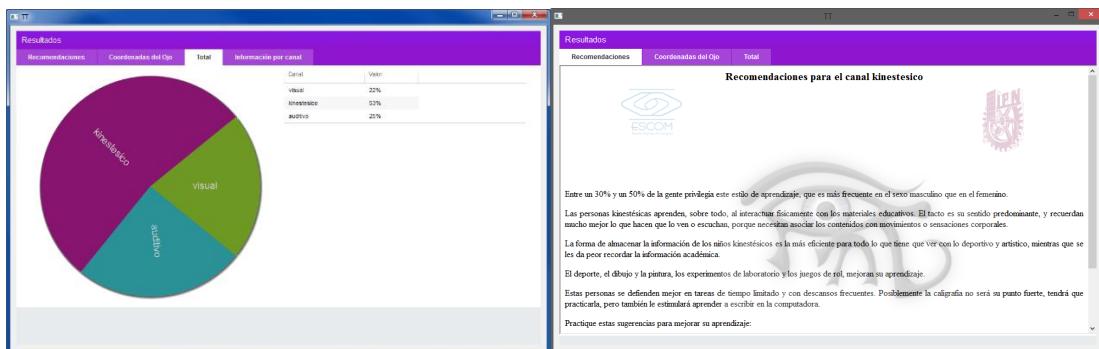


Figura 80. Pantalla de resultados.

9.4 Pruebas

Para probar nuestro proyecto terminado tenemos que analizar a las personas con algún otro instrumento de evaluación para comprobar la validez de los resultados que muestra la herramienta.

Otras formas de conocer el canal sensorial de una persona, como lo mencionamos en el marco teórico, son la aplicación de tests u observación por especialistas, siendo esta primera más viable.

El test más usado para detectar el canal sensorial es el de la doctora Lynn O'Brien, el cual fue publicado en 1990 después de casi veinte años de estudio de la Programación Neurolingüística. (Ver **Anexo 11.4.1**).

Usuario	TEST				Aplicación			
	Porcentaje Visual	Porcentaje Auditivo	Porcentaje Kinestesico	Canal Sensorial	Porcentaje Visual2	Porcentaje Auditivo3	Porcentaje Kinestesico4	Canal Sensorial5
1	30%	37%	33%	Auditivo	32%	35%	33%	Auditivo
2	31%	33%	36%	Kinestesico	26%	30%	40%	Kinestesico
3	31%	34%	35%	Kinestesico	33%	32%	35%	Kinestesico
4	35%	31%	34%	Visual	32%	33%	34%	Kinestesico
5	31%	33%	36%	Kinestesico	33%	31%	35%	Kinestesico
6	35%	32%	33%	Visual	33%	31%	35%	Kinestesico
7	32%	31%	37%	Kinestesico	33%	26%	41%	Kinestesico
8	32%	37%	31%	Auditivo	28%	38%	34%	Auditivo
9	37%	29%	34%	Visual	34%	34%	31%	Visual
10	35%	30%	35%	Visual	33%	32%	36%	Kinestesico
11	37%	31%	32%	Visual	37%	30%	33%	Visual
12	31%	37%	32%	Auditivo	35%	38%	26%	Auditivo
13	34%	29%	38%	Kinestesico	31%	37%	32%	Auditivo
14	33%	33%	33%	Visual	36%	34%	30%	Visual
15	38%	30%	32%	Visual	40%	35%	25%	Visual
16	32%	36%	33%	Auditivo	34%	39%	27%	Auditivo
17	32%	36%	32%	Auditivo	30%	37%	33%	Auditivo
18	33%	28%	39%	Kinestesico	29%	35%	36%	Kinestesico
19	31%	35%	34%	Auditivo	32%	35%	33%	Auditivo
20	30%	33%	37%	Kinestesico	34%	29%	37%	Kinestesico
21	36%	33%	31%	Visual	38%	27%	35%	Visual
22	34%	35%	31%	Auditivo	37%	29%	34%	Visual
23	33%	33%	34%	Kinestesico	34%	31%	35%	Kinestesico
24	40%	32%	29%	Visual	48%	24%	28%	Visual
25	37%	27%	36%	Visual	36%	32%	31%	Visual

Tabla 62. Tabla de Resultados de Pruebas.

Tabla 63. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 7

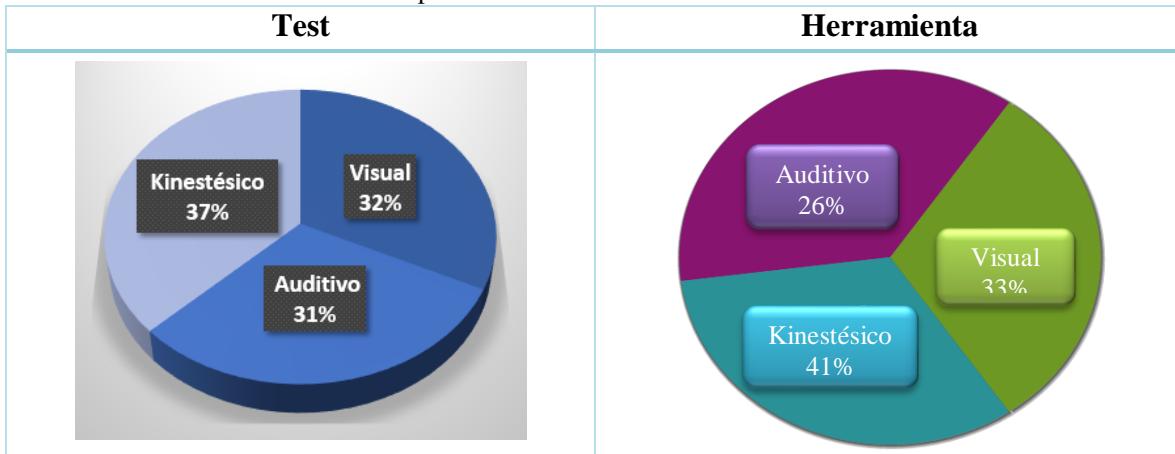


Tabla 64. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 20

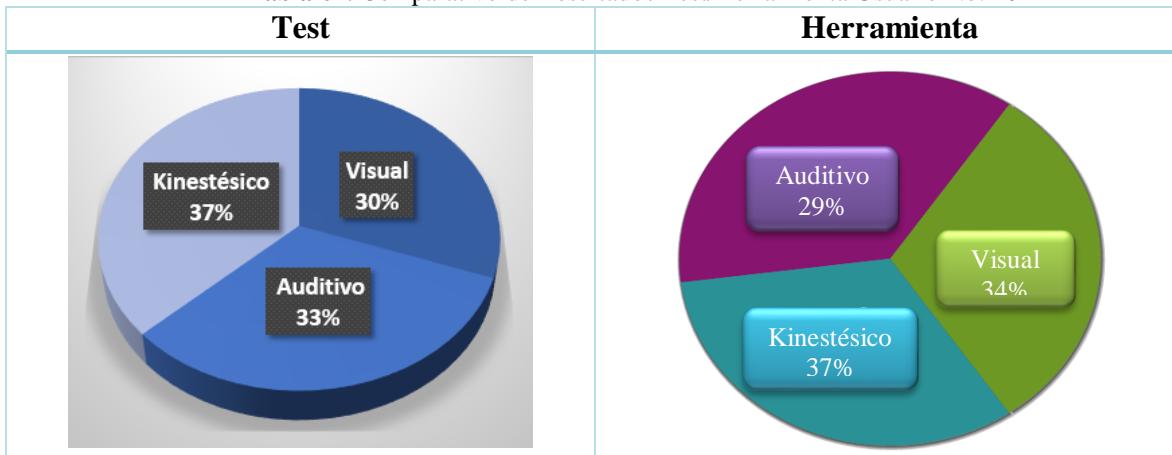


Tabla 65. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 22

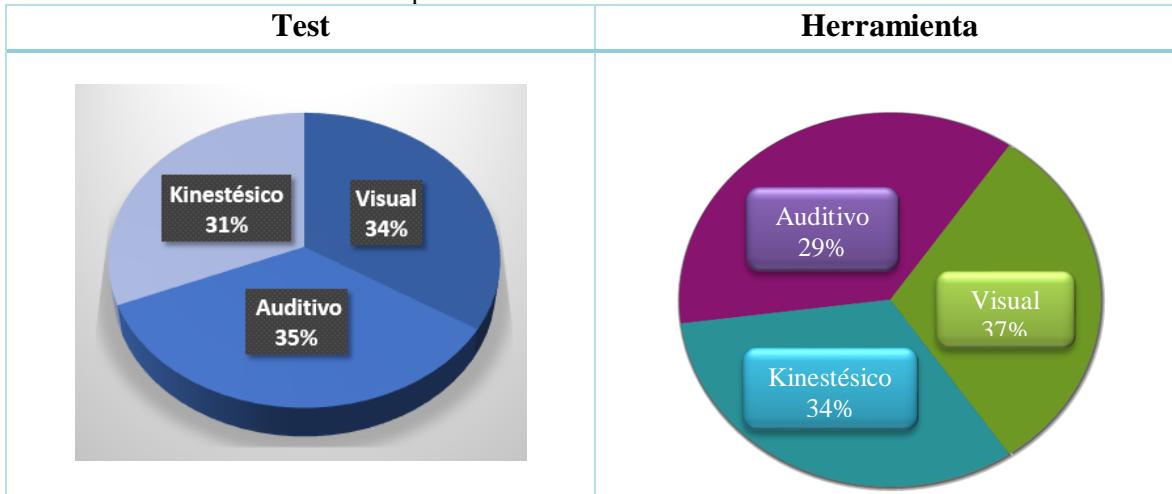
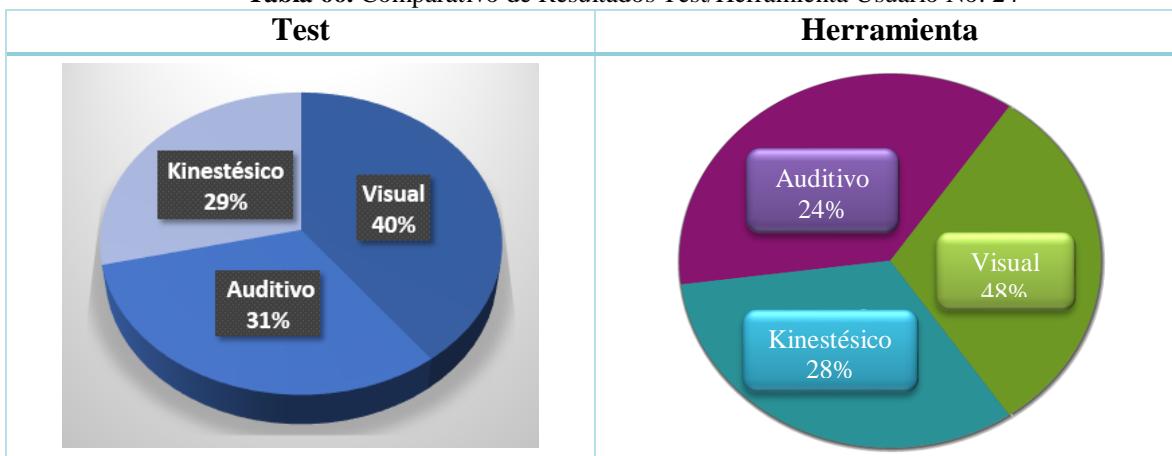


Tabla 66. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 24



9.4.1 Resultados

Comparando los resultados de las gráficas del test con las de la herramienta se encontró que en 20 de las 25 gráficas coincide la clasificación del canal sensorial predominante, lo cual corresponde a un 80% de usuarios clasificados correctamente.

Con la aplicación de ambos cuestionarios se denotaron ventajas al realizarlo con la herramienta ya que en la aplicación de los cuestionarios escritos se pudo observar que algunos usuarios presentaron problemas para responder algunas preguntas mientras que otros no respondieron de manera inmediata con lo cual puede verse afectada la detección del canal sensorial en dicha pregunta, mientras que en la herramienta gracias a la detección ocular es posible registrar la respuesta visual inmediata del usuario. Además con los cuestionarios escritos el tiempo de aplicación es variable mientras que en la herramienta es posible determinar el tiempo de aplicación de la prueba.

C O N C L U S I O N E S

10.1 Conclusión del Trabajo Terminal

Al haber finalizado el presente Trabajo Terminal II se puede concluir que de acuerdo a nuestra investigación, la Programación Neurolingüística es una herramienta eficaz que puede ayudar a las personas tanto de manera intrapersonal como interpersonal, además resulta eficiente cuando se utiliza con un enfoque educativo. En el mercado existen pocas aplicaciones que apoyen al aprendizaje.

En la etapa de entorno de trabajo con las pruebas realizadas observamos que la iluminación es un factor importante, el uso de luz infrarroja contribuye significativamente a iluminar el área de trabajo sin causar daño o molestias al usuario. Las cámaras web requieren de una modificación para captar este tipo de luz ya que el filtro que se encuentra en la lente impide el paso de dicha luz y requiere de mucha precisión para ser extraído. La diadema que elegimos para la herramienta resultó de gran ayuda ya que se adaptó completamente a nuestras necesidades.

En el prototipo II se lograron los objetivos propuestos, capturando videos y extrayendo los frames requeridos.

Con el desarrollo del prototipo III conseguimos adecuar las imágenes obtenidas del prototipo II mediante el uso de filtros y técnicas de tratamiento de imágenes.

En la implementación del Eye Tracking nos encontramos con distintas problemáticas para detectar la pupila como la interferencia de la luz reflejada en ella, las pestañas de los usuarios además de los frames en los que el parpado tapa la pupila. Para el último caso se tuvieron que descartar los frames y para los restantes se redujo significativamente la interferencia logrando un porcentaje de asertividad adecuado.

El algoritmo Isodata obtuvo un alto porcentaje de clasificación asertiva. Las gráficas y recomendaciones brindan una respuesta ilustrativa a los resultados obtenidos por el estudio.

Al término de la herramienta es posible clasificar a los usuarios en uno de los tres canales sensoriales, mostrando gráficamente su forma óptima de aprendizaje y el porcentaje de acceso a cada canal sensorial a fin de que cada estudiante mejore su desempeño basándose en las recomendaciones sugeridas por la herramienta.

10.2 Trabajo a Futuro

En este apartado se tratarán las posibles mejoras a realizar en la herramienta así como la inclusión de nuevos módulos.

Como se mencionó la herramienta necesita que cada usuario especifique el área de trabajo mediante la selección de un rectángulo imaginario que cubra la sección del ojo en la pantalla de la aplicación, sin embargo se podría implementar un algoritmo que detecte automáticamente la sección del ojo para cada usuario.

La herramienta tiene la posibilidad de evolucionar a un sistema mediante la gestión de los usuarios que hayan realizado el estudio, a fin de tener un control sobre los resultados y los accesos oculares que se obtuvieron.

También es posible implementar una sección con filtros para especializar las gráficas, es decir, que cada usuario o el especialista pueda graficar los resultados de cada una de las preguntas de manera individual o agrupar las necesarias, así mismo con los porcentajes de acceso a cada canal sensorial.

Las recomendaciones pueden ampliarse utilizando más criterios además de los tres canales sensoriales, como los accesos reconstructivos y constructivos que de acuerdo a nuestra investigación dan a conocer si el usuario está recordando o está construyendo. Los movimientos de los ojos además de revelar el canal sensorial, pueden delatar estados de ánimo o el grado de comprensión de información.

Existe la posibilidad de implementar un módulo que permita generar reportes en formato PDF con una cantidad determinada de estudiantes, con lo cual se obtendría un resumen completo de la tendencia de un grupo de estudiantes a fin de que el docente realice los ajustes pertinentes en su actividad académica.

Este estudio podría llevarse a cabo en las escuelas permitiendo a los estudiantes conocer su canal sensorial predominante y así mejorar su desempeño académico y personal. Además de permitir a los docentes realizar una metodología especializada para cada tipo de estudiante haciendo óptimo el proceso de enseñanza - aprendizaje.

Fuera del campo de la PNL el proyecto puede ser utilizado para monitorear el movimiento ocular de pacientes con ciertas afecciones clínicas. Así mismo puede implementarse como un detector de mentiras con la posibilidad de añadir módulos que monitorean diferentes señales biológicas. Otra posible aplicación es un mouse ocular, el cual puede ser utilizado como una herramienta comercial o bien para facilitar el manejo tecnológico a personas discapacitadas.

A N E X O

11.1 Prototipo I

11.1.1 Elección del número de LEDs en la placa

En virtud de que no existe información relevante de las metodologías sobre el uso de LEDs para el seguimiento ocular, hemos realizado pruebas en las que iluminamos los ojos con un número diferente de LEDs, a fin de determinar de forma empírica la manera óptima de iluminar el ojo para obtener un mejor resultado en el reconocimiento. La **Figura 81** ejemplifica las pruebas.



Figura 81. Prueba de LEDS Prototipo I.

En la **Figura 81** podemos observar capturas mediante la estructura utilizando:

- ✓ Superior Izquierda: Cero leds.
- ✓ Inferior Izquierda: Un led.
- ✓ Superior Derecha: Dos leds.
- ✓ Inferior Derecha: Tres leds.

De acuerdo a los resultados descritos en el párrafo anterior, decidimos iluminar utilizando seis LEDs infrarrojos, es decir tres por cada ojo.

11.2 Prototipo III

11.2.1 Elección de filtros

En esta sección se pretende elegir el mejor filtro para el tipo de imágenes que se obtienen de la diadema, esperando tener como filtro óptimo a la mediana, debido a las investigaciones previas que se encuentran en el marco teórico y en la especificación de este prototipo.

Para elegir el filtro se ocupó un programa que fue desarrollado como proyecto final de la materia “Image Analisys”, el cual nos permite cargar imágenes, aplicarles un determinado porcentaje de ruidos, y después podemos aplicarle filtros.

En la **Figura 82** se puede apreciar un ejemplo de una imagen tomada con la diadema, se procede a agregarle ruido mixto, siendo el más común en la digitalización como se ha mencionado anteriormente.

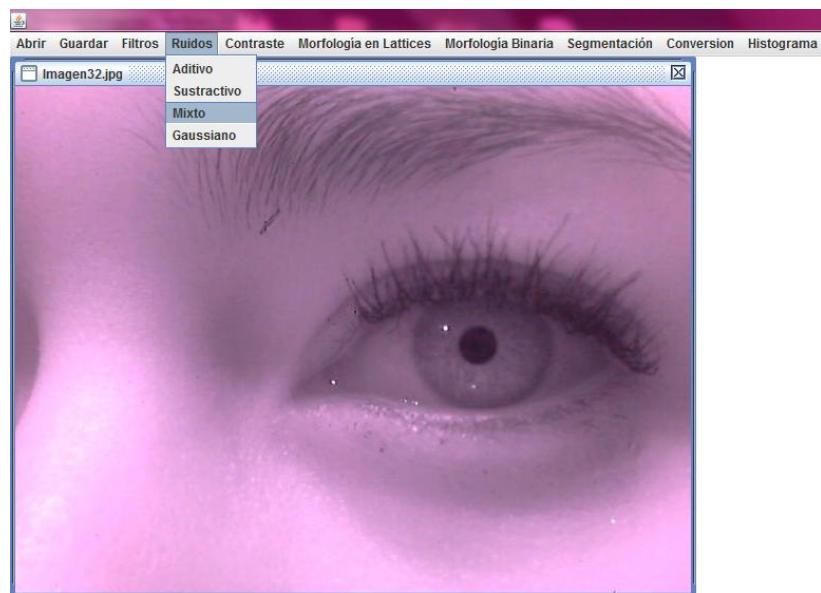


Figura 82. Imagen tomada con la diadema.

Para la prueba se eligió agregarle un 20% de ruido, cómo se ve en la **Figura 83**.

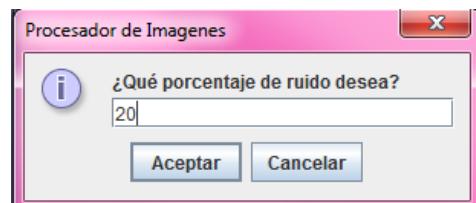


Figura 83. Ventana de Porcentaje de Ruido.

En la **Figura 84** nos encontramos con 7 imágenes, las cuales iremos describiendo:

- a) **Imagen Original:** Imagen que fue tomada con la cámara de la herramienta.
- b) **Imagen Ruidosa:** Es la imagen que se obtiene después de agregarle el 20% de ruido mixto a la imagen original.
- c) **Filtro Máximo:** Esta es la imagen Ruidosa después de haberle aplicado el filtro máximo, como se ve a simple vista a la imagen resultante se le agravó mucho el ruido aditivo, por lo cual no es conveniente utilizar dicho filtro.
- d) **Filtro Mínimo:** Se puede apreciar la salida de la imagen ruidosa después de pasar por el filtro mínimo, lo cual tampoco es eficiente debido a que agrava el ruido sustractivo.
- e) **Filtro Promedio:** En la siguiente Figura se puede apreciar el filtro Promedio, el cual además de cambiar la tonalidad de la imagen, la deja completamente ruidosa lo cual nos hace descartar esta opción.
- f) **Filtro Moda:** En esta imagen se puede apreciar el resultado del filtro moda, el cual entrega mejores resultados que los filtros anteriores, sin embargo son muy deficientes.
- g) **Filtro Mediana:** Por último, tenemos el resultado del filtro Mediana, el cual evidentemente es el óptimo para este tipo de ruido, ya que supera de manera significativa a todos los demás filtros.

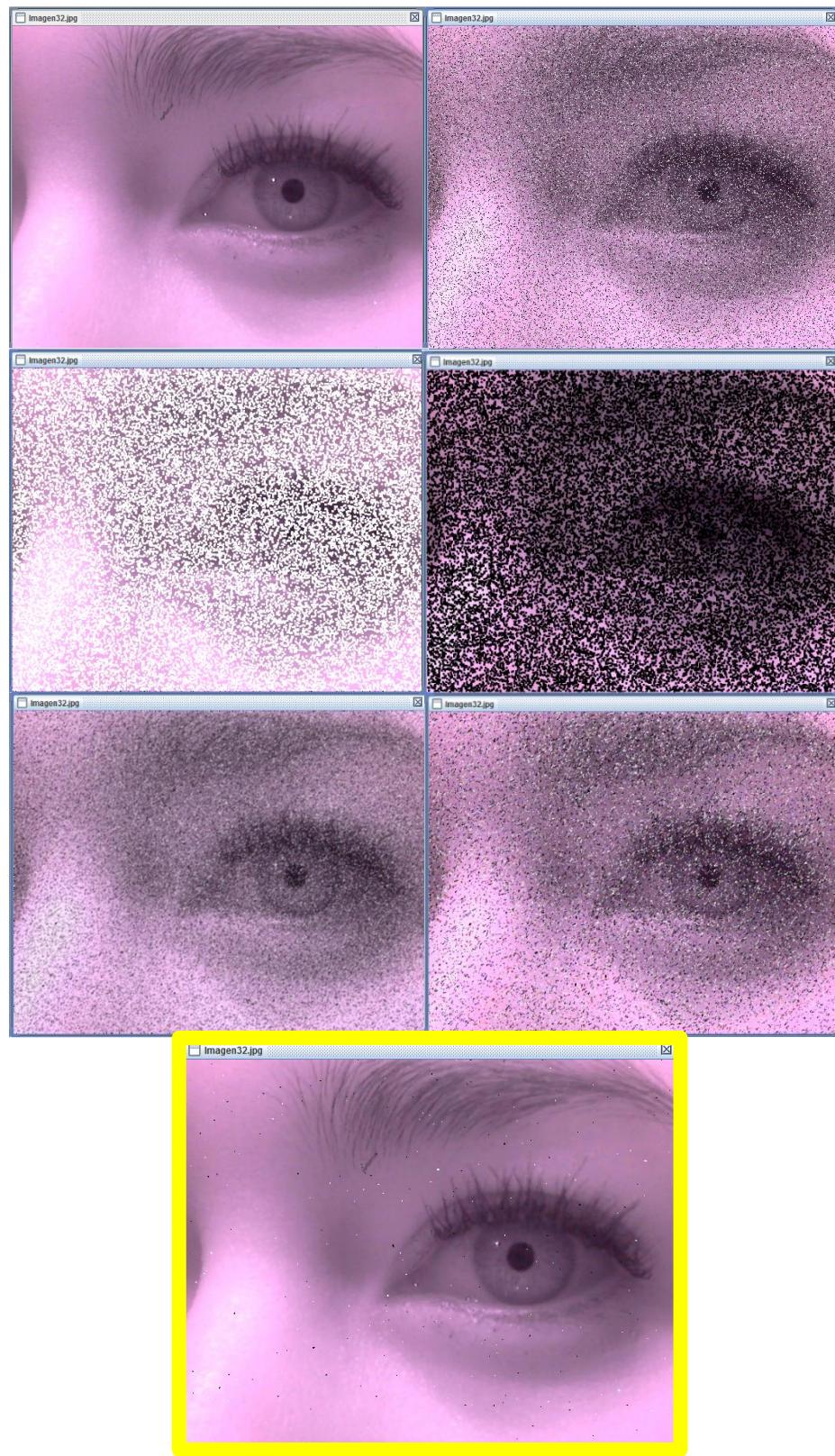


Figura 84. A) Imagen Original. B) Imagen con 20% de ruido Mixto. C) Aplicación del filtro Máximo. D) Aplicación del filtro Mínimo. E) Aplicación del filtro Promedio. F) Aplicación del filtro Moda. G) Aplicación del filtro Mediana.

Como esperábamos, el filtro que dio mejores resultados es la mediana, ya que se puede observar un menor porcentaje de ruido en la imagen resultante. El cambio que representa la imagen filtrada es notablemente la mejor.

Cabe mencionar que si se vuelve a aplicar la mediana a la imagen G) de la **Figura 84** se van a obtener aún mejores resultados, esto se puede apreciar en la **Figura 85**, la cual muestra la gran recuperación que logra este filtro ante los otros, de esta forma, hemos comprobado por tercera vez que el filtro mediana es sin duda, el que se tiene que aplicar en la herramienta.

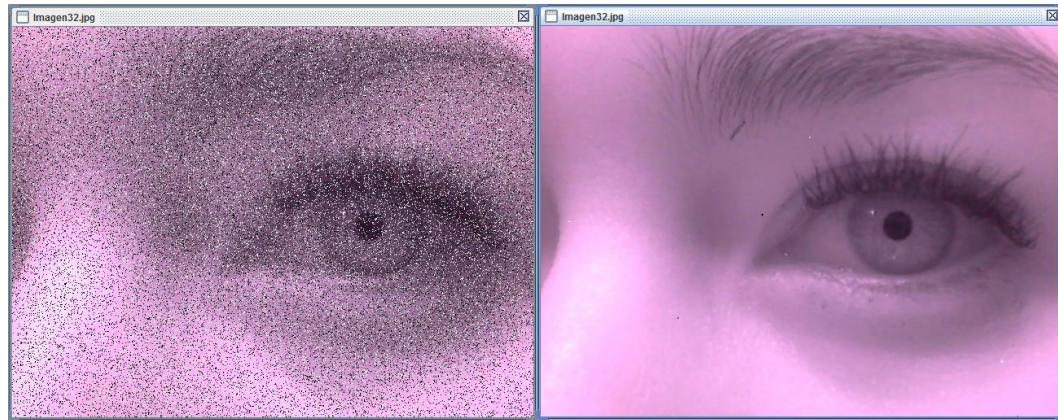


Figura 85. Aplicación del filtro mediana por segunda vez.

11.3 Pruebas

11.3.1 Prototipo II

En la imagen **Figura 86** se observan las dos imágenes obtenidas de la cámara de un cronómetro como se indica en la prueba del protocolo dos del prototipo II. Se observa que la diferencia entre estas dos imágenes fue de 5.4s.

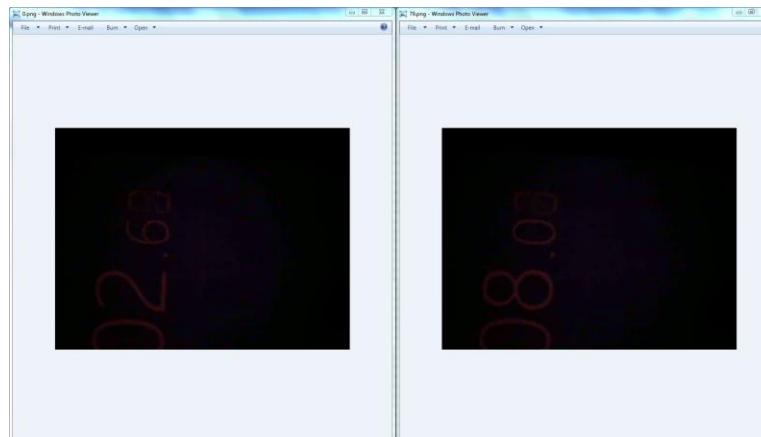


Figura 86. Prueba 1 de protocolo 2.

Repetiendo la prueba tenemos una diferencia entre la primera y la última de 5.1s.

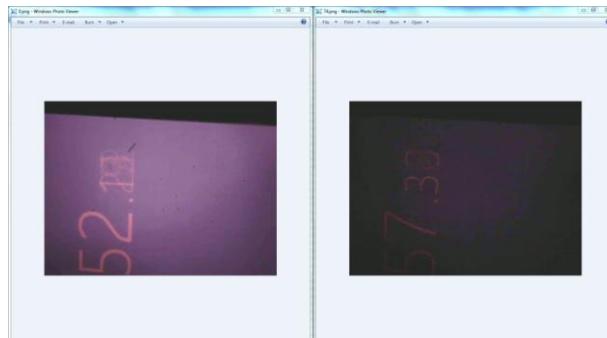


Figura 87. Prueba 2 de protocolo 2.

En esta imagen observamos una diferencia de 6.9s.

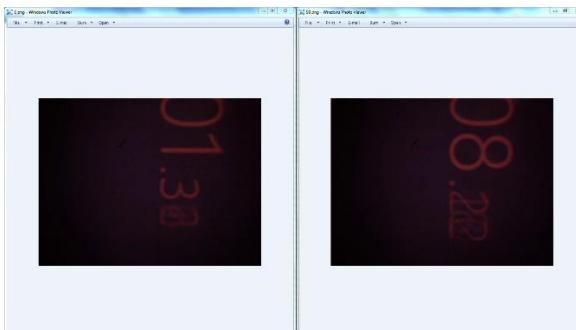


Figura 88. Prueba 3 de protocolo 2.

En la **Figura 89** se muestra la reproducción de un video adquirido por el Prototipo II.



Figura 89. Video capturado.

11.3.2 Integración

Tabla 67. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 1

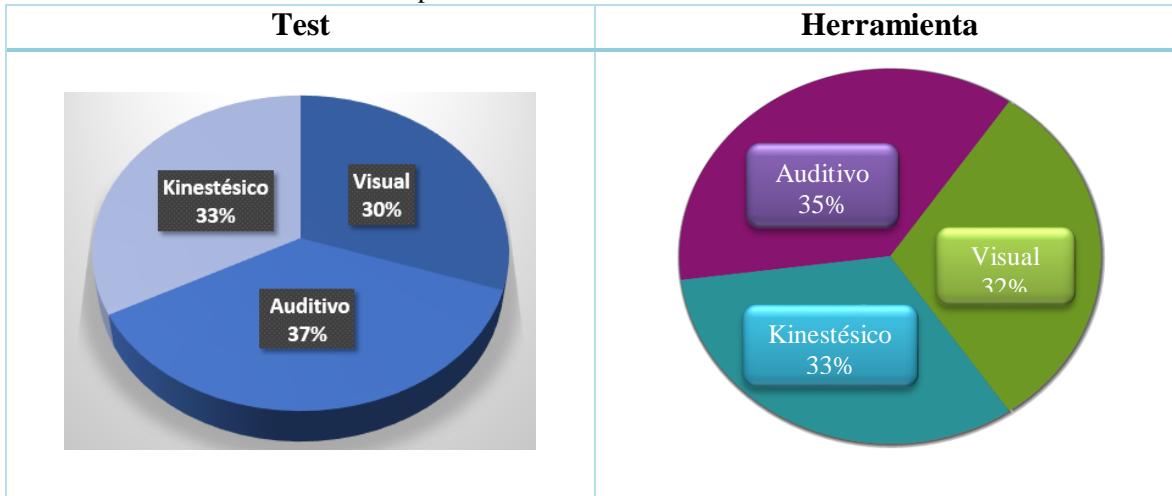


Tabla 68. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 2

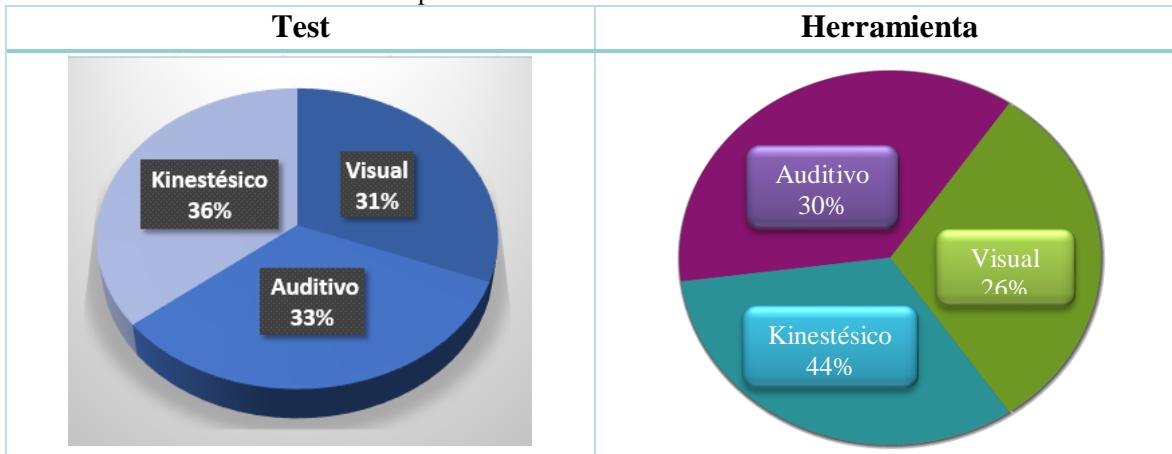


Tabla 69. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 3

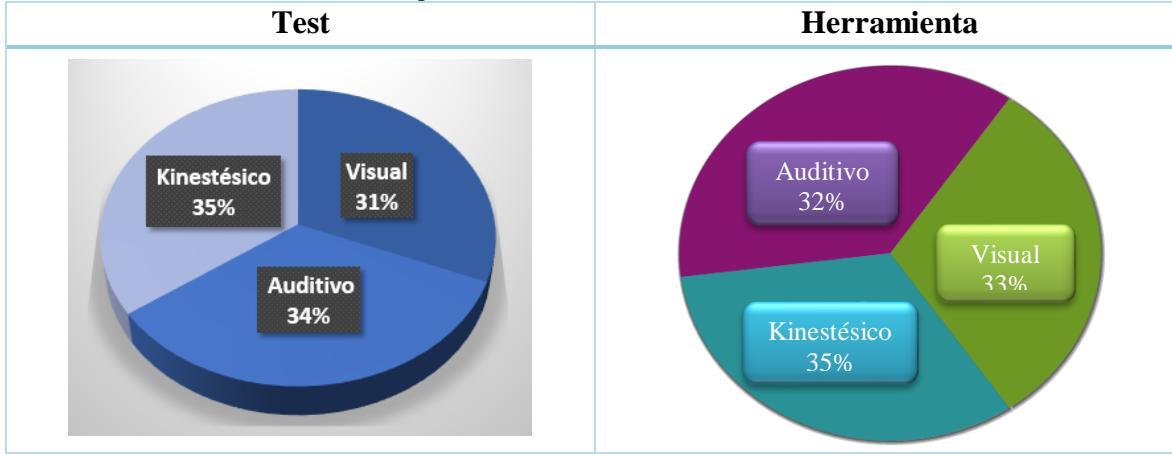


Tabla 70. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 4

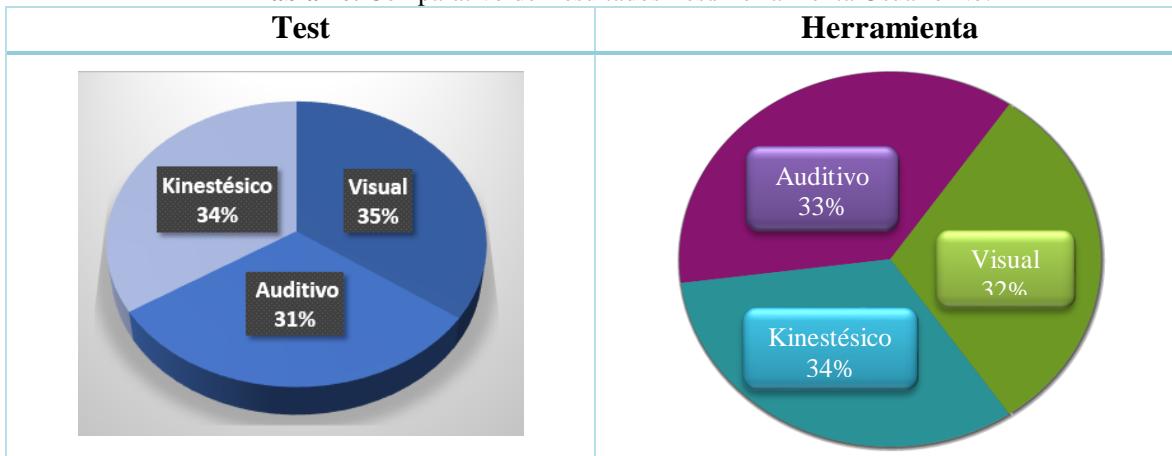


Tabla 71. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 5

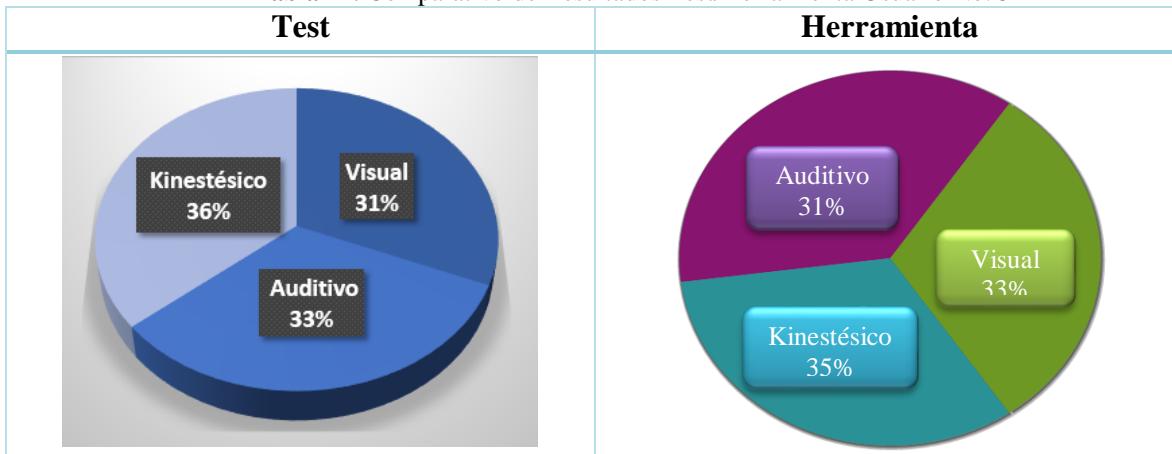


Tabla 72. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 6

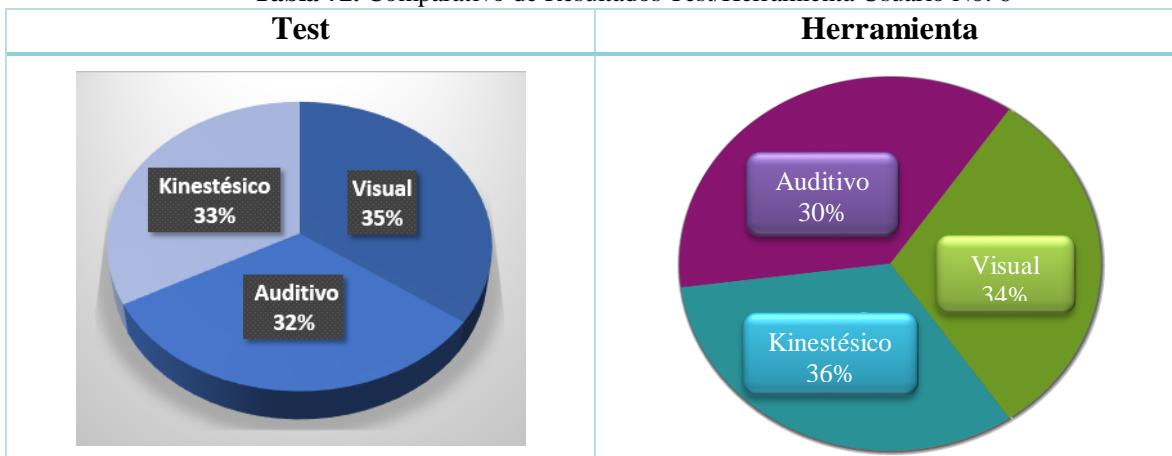


Tabla 73. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 7

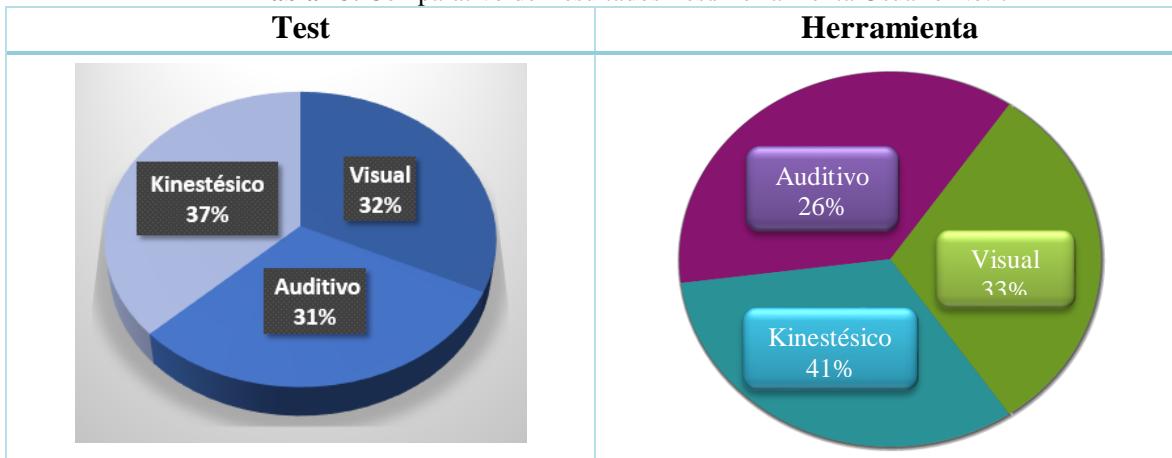


Tabla 74. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 8

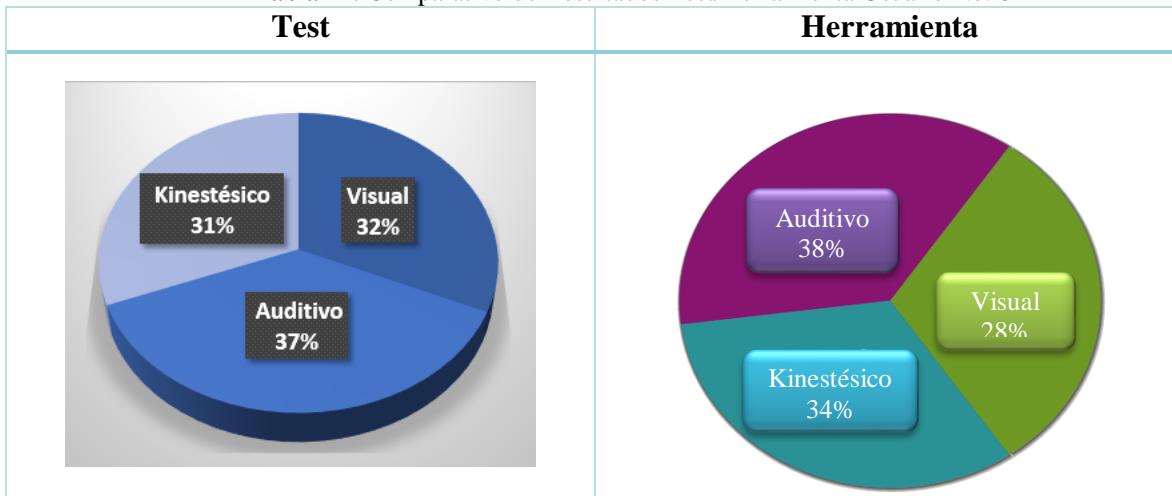


Tabla 75. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 9

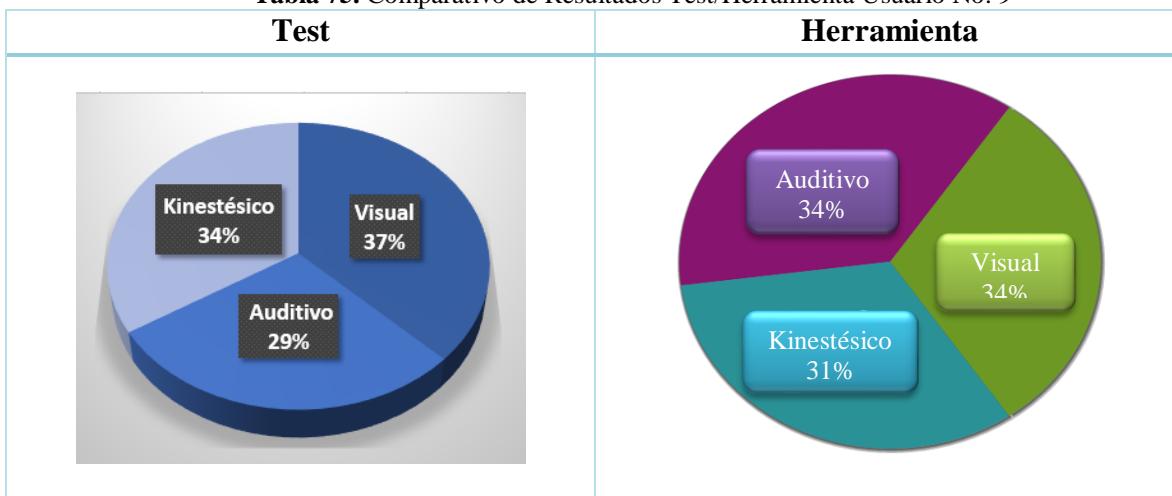


Tabla 76. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 10

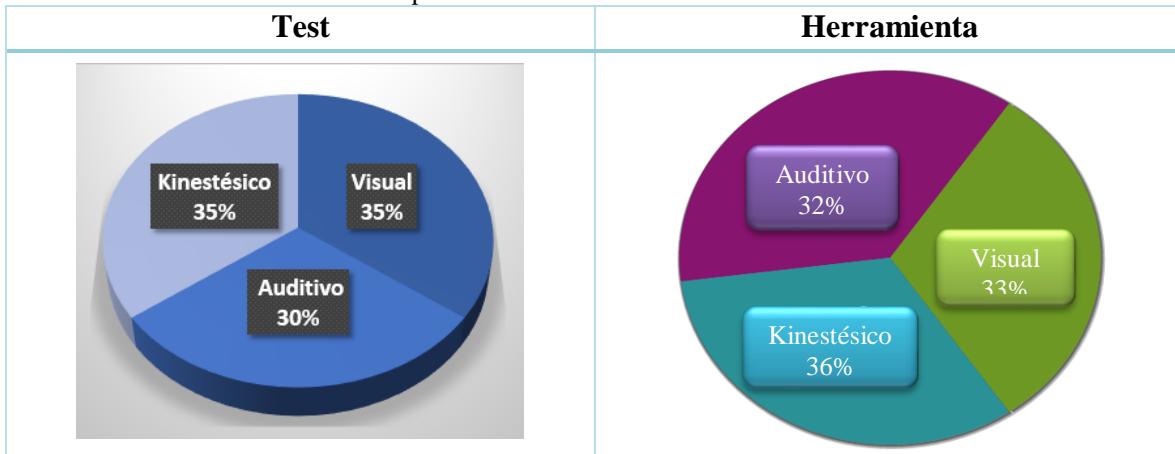


Tabla 77. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 11

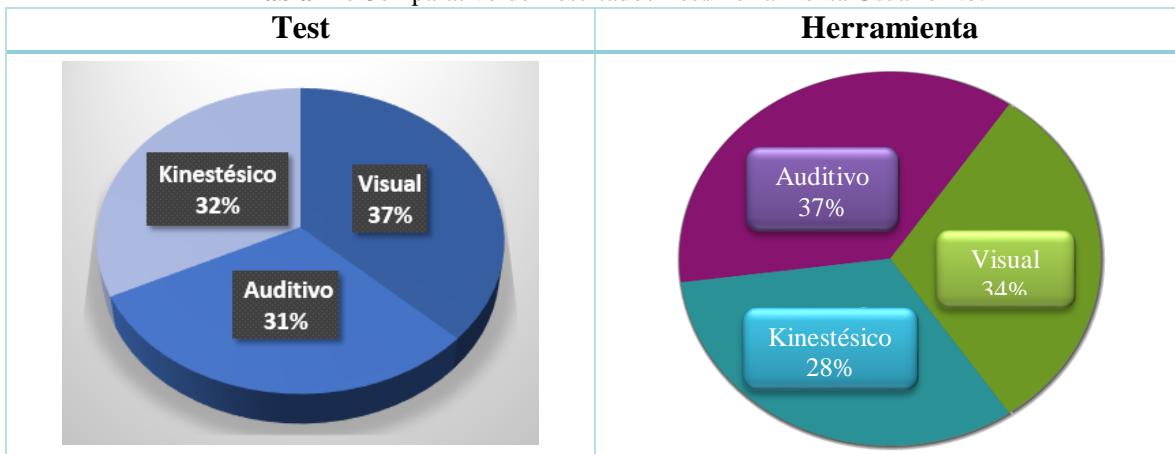


Tabla 78. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 12

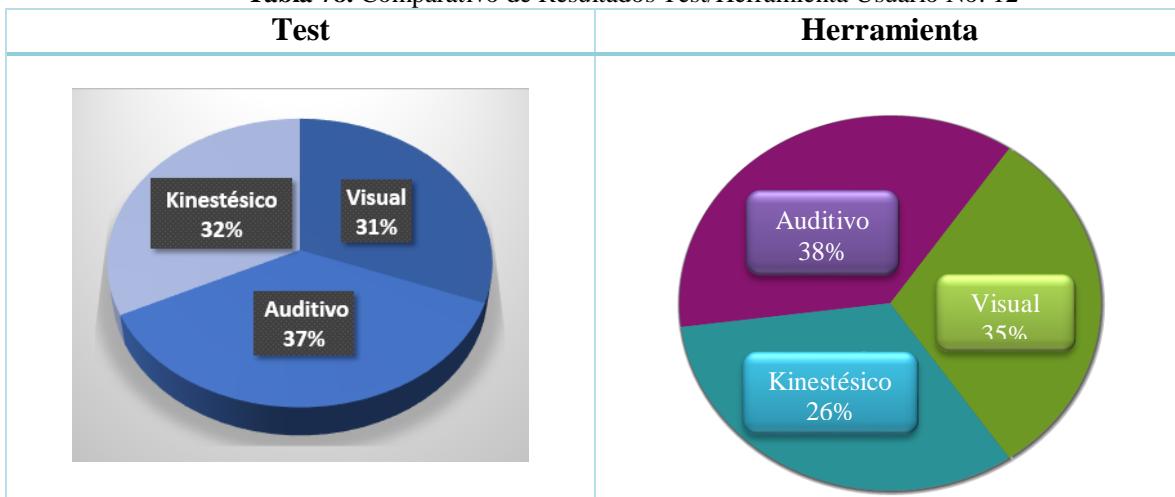


Tabla 79. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 13

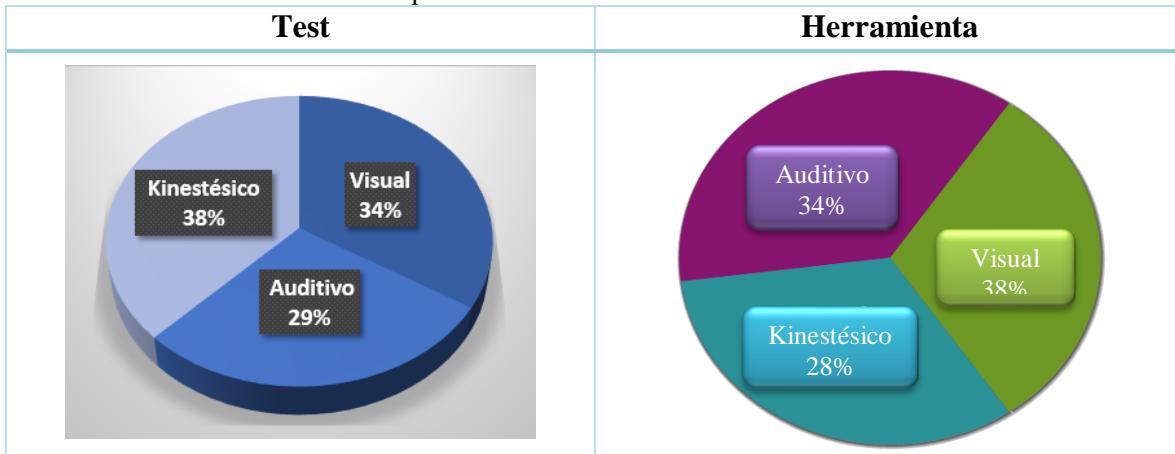


Tabla 80. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 14

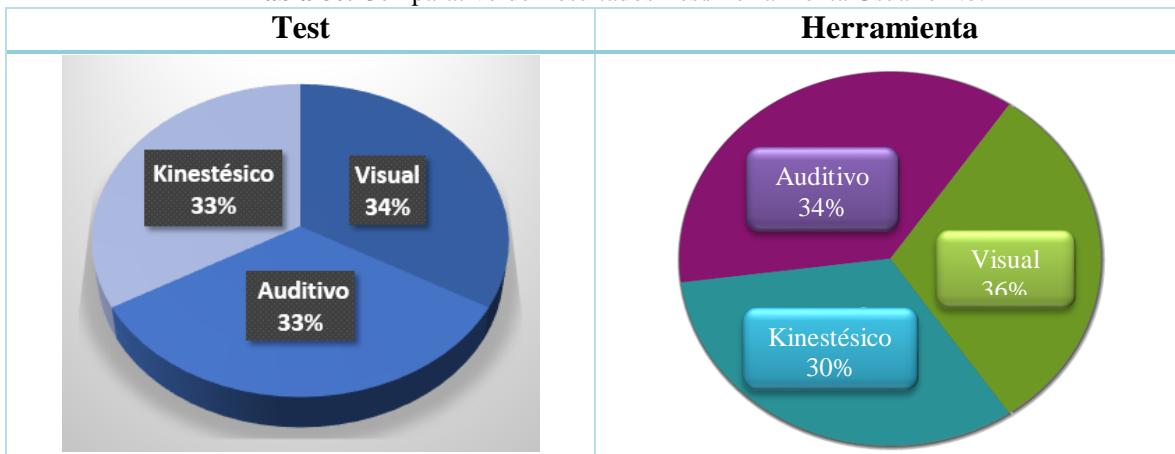


Tabla 81. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 15

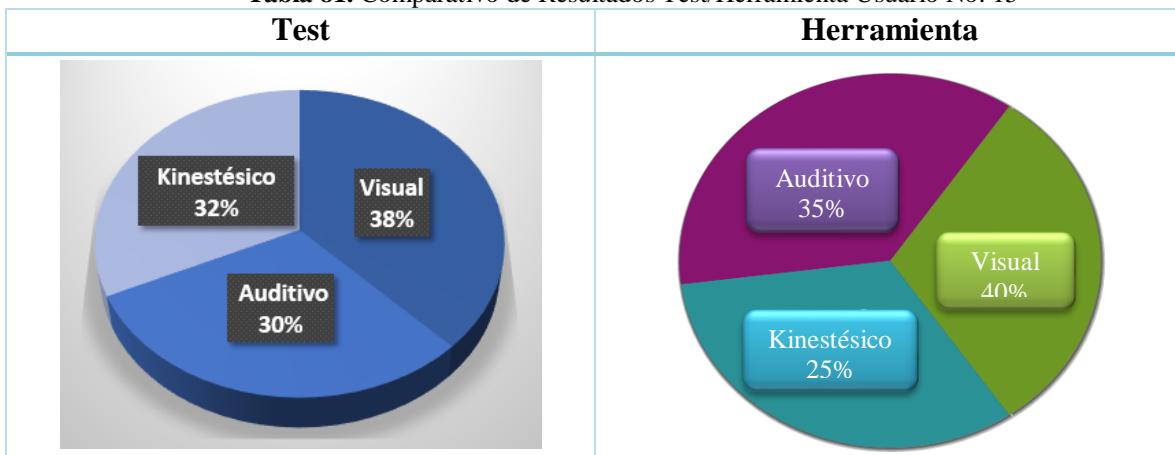


Tabla 82. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 16

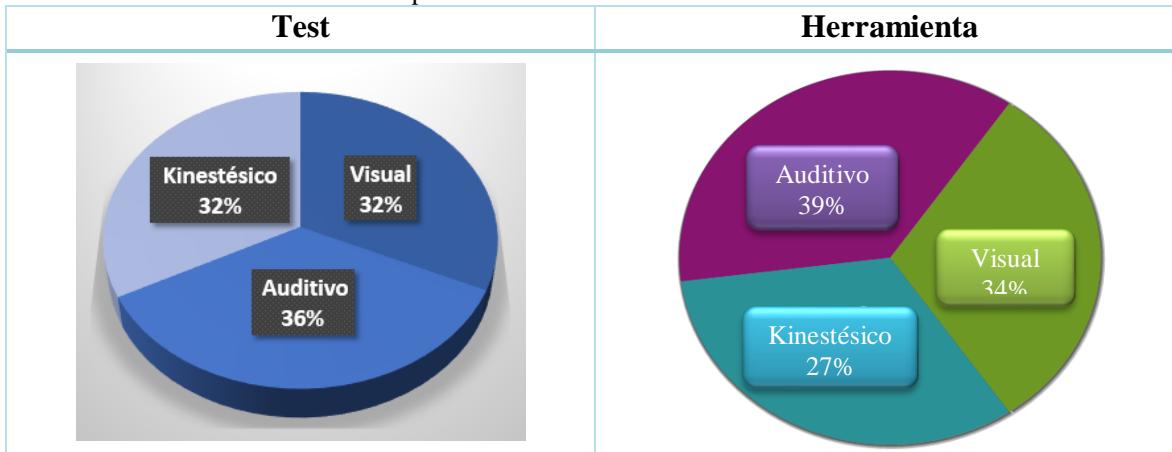


Tabla 83. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 17

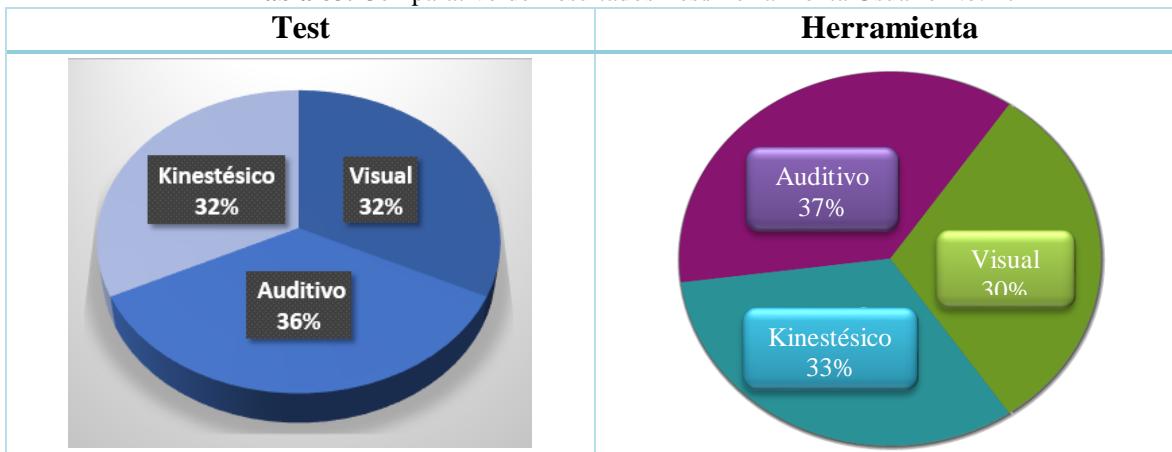


Tabla 84. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 18

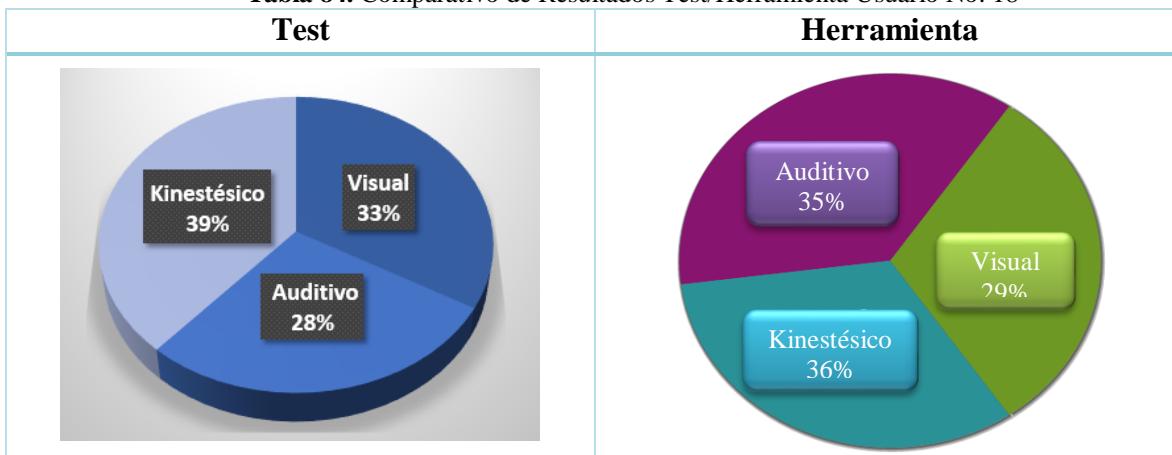


Tabla 85. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 19

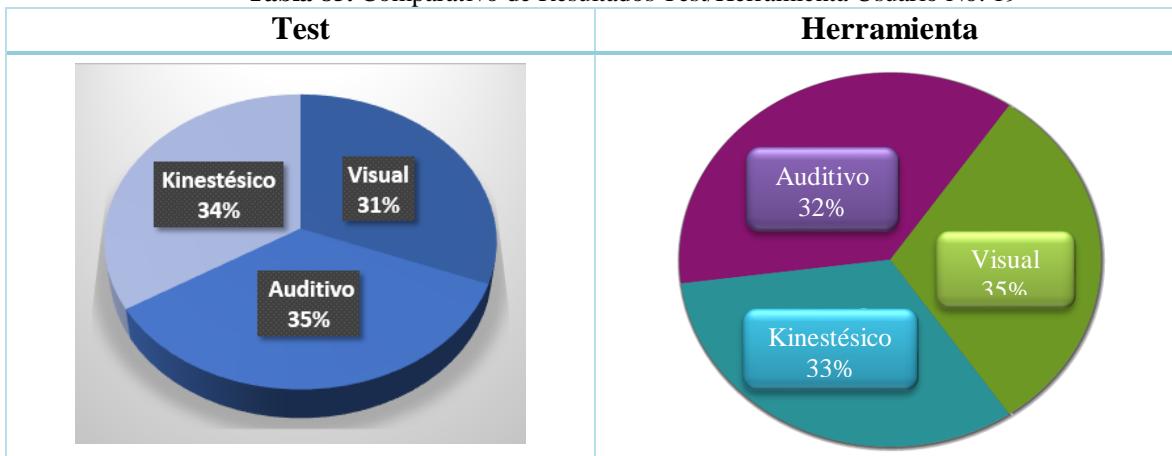


Tabla 86. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 20

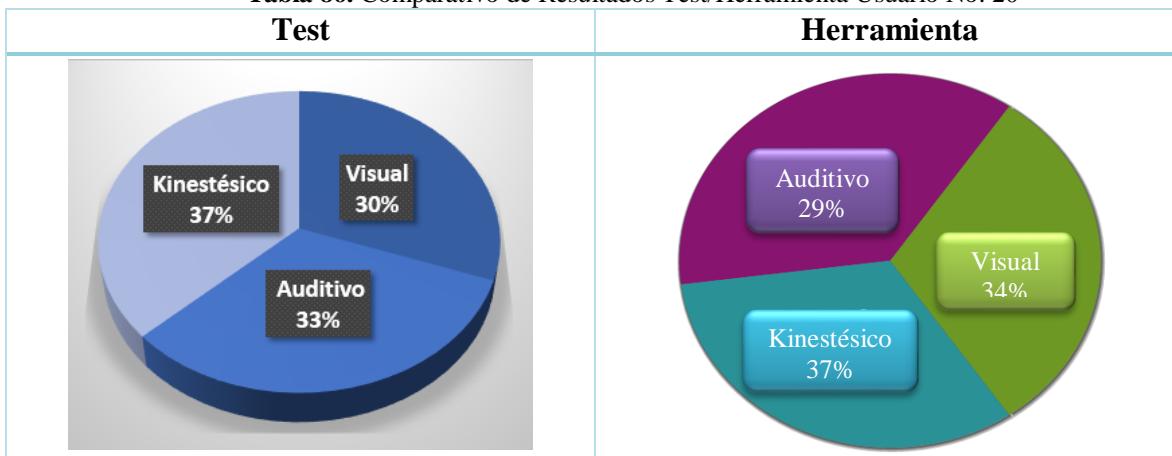


Tabla 87. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 21

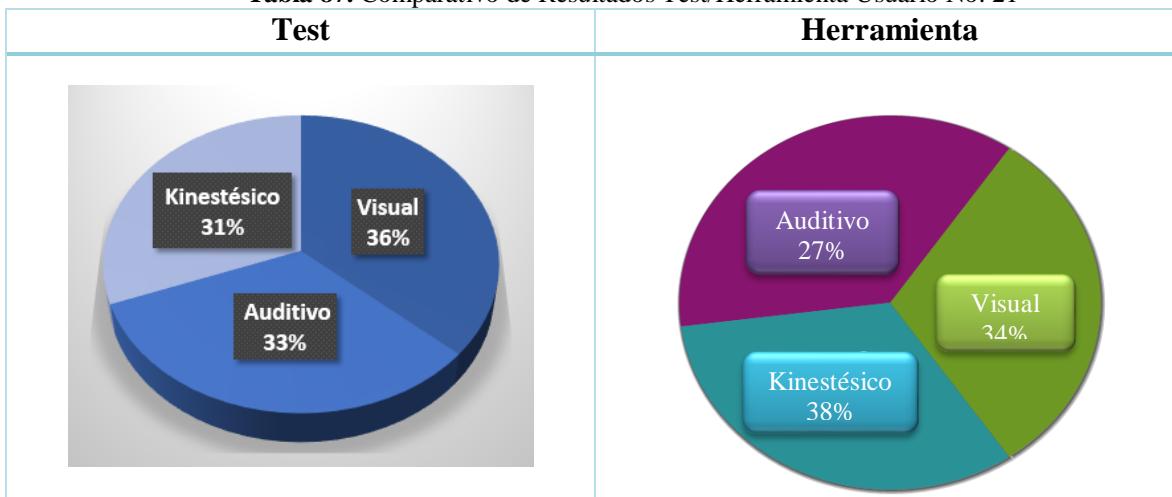


Tabla 88. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 22

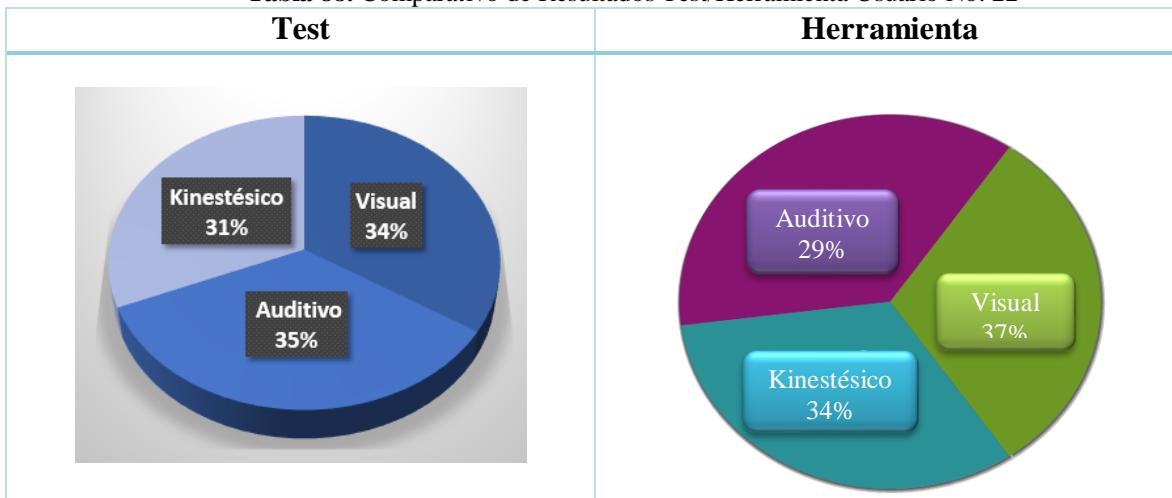


Tabla 89. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 23

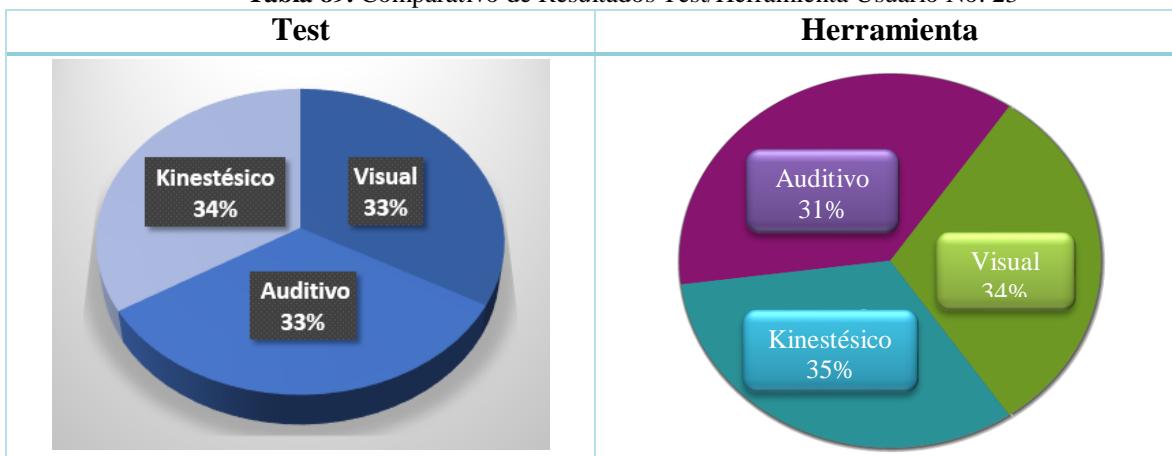


Tabla 90. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 24

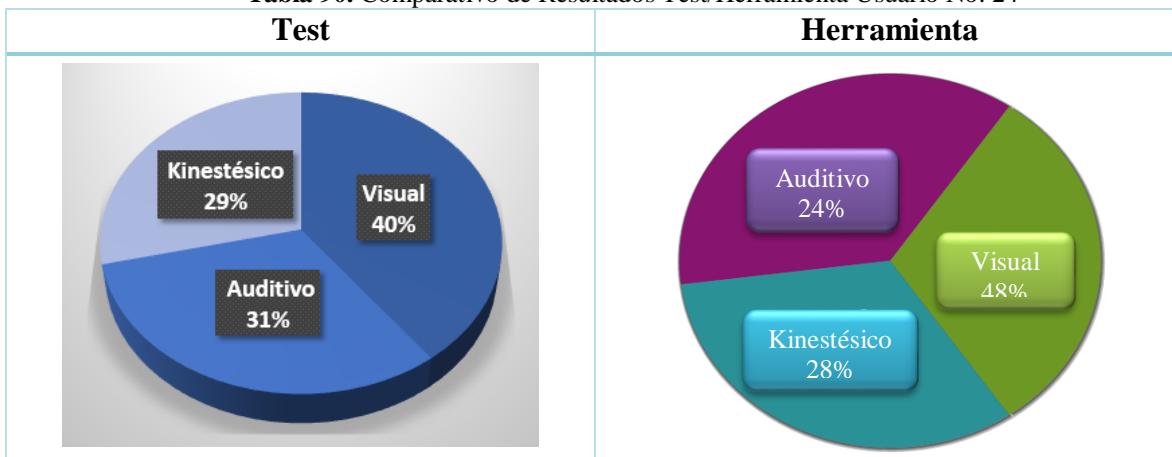
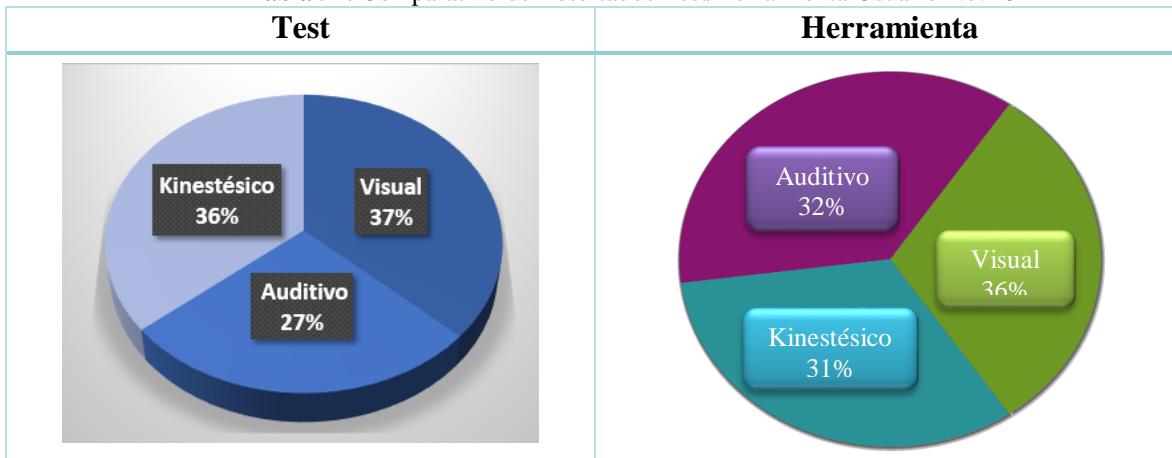


Tabla 91. Comparativo de Resultados Test/Herramienta Usuario No. 25



11.4 Recursos

11.4.1 Test del Canal de Aprendizaje de preferencia - PNL

Lynn O'Brien (1990)

Lea cuidadosamente cada oración y piense de qué manera se aplica a usted. En cada línea escriba el número que mejor describe su reacción a cada oración.

Casi siempre: 5 Frecuentemente: 4 A veces: 3 Rara vez: 2 Casi nunca: 1

1. Puedo recordar algo mejor si lo escribo.
2. Al leer, oigo las palabras en mi cabeza o leo en voz alta.
3. Necesito hablar las cosas para entenderlas mejor.
4. No me gusta leer o escuchar instrucciones, prefiero simplemente comenzar a hacer las cosas.
5. Puedo visualizar imágenes en mi cabeza.
6. Puedo estudiar mejor si escucho música.
7. Necesito recreos frecuentes cuando estudio.
8. Pienso mejor cuando tengo la libertad de moverme, estar sentado detrás de un escritorio no es para mí.
9. Tomo muchas notas de lo que leo y escucho.
10. Me ayuda MIRAR a la persona que está hablando. Me mantiene enfocado.

11. Se me hace difícil entender lo que una persona está diciendo si hay ruidos alrededor.
12. Prefiero que alguien me diga cómo tengo que hacer las cosas que leer las instrucciones.
13. Prefiero escuchar una conferencia o una grabación a leer un libro.
14. Cuando no puedo pensar en una palabra específica, uso mis manos y llamo al objeto “coso”.
15. Puedo seguir fácilmente a una persona que está hablando aunque mi cabeza esté hacia abajo o me encuentre mirando por una ventana.
16. Es más fácil para mí hacer un trabajo en un lugar tranquilo.
17. Me resulta fácil entender mapas, tablas y gráficos.
18. Cuando comienzo un artículo o un libro, prefiero espiar la última página.
19. Recuerdo mejor lo que la gente dice que su aspecto.
20. Recuerdo mejor si estudio en voz alta con alguien.
21. Tomo notas, pero nunca vuelvo a releerlas.
22. Cuando estoy concentrado leyendo o escribiendo, la radio me molesta.
23. Me resulta difícil crear imágenes en mi cabeza.
24. Me resulta útil decir en voz alta las tareas que tengo para hacer.
25. Mi cuaderno y mi escritorio pueden verse un desastre, pero sé exactamente dónde está cada cosa.
26. Cuando estoy en un examen, puedo “ver” la página en el libro de textos y la respuesta.
27. No puedo recordar una broma lo suficiente para contarla luego.
28. Al aprender algo nuevo, prefiero escuchar la información, luego leer y luego hacerlo.
29. Me gusta completar una tarea antes de comenzar otra.
30. Uso mis dedos para contar y muevo los labios cuando leo.
31. No me gusta releer mi trabajo.

32. Cuando estoy tratando de recordar algo nuevo, por ejemplo, un número de teléfono, me ayuda formarme una imagen mental para lograrlo.

33. Para obtener una nota extra, prefiero grabar un informe a escribirlo.

34. Fantaseo en clase.

35. Para obtener una calificación extra, prefiero crear un proyecto a escribir un informe.

36. Cuando tengo una gran idea, debo escribirla inmediatamente, o la olvido con facilidad.

Resultado del Test del Canal de Aprendizaje de preferencia.

Cuidadosamente transfiera los resultados en cada línea.

1._____	2._____	4._____
5._____	3._____	6._____
9._____	12._____	7._____
10._____	13._____	8._____
11._____	15._____	14._____
16._____	19._____	18._____
17._____	20._____	21._____
22._____	23._____	25._____
26._____	24._____	30._____
27._____	28._____	31._____
32._____	29._____	34._____
36._____	33._____	35._____

Total Visual:_____ Total Auditivo:_____ Total Kinestésico:_____

Total Visual:_____

Total Auditivo:_____

Total Kinestésico:_____

Total de las 3 categorías:_____

Convierta cada categoría en un porcentaje:

Visual= puntaje visual =_____ %

Auditivo = puntaje auditivo =_____ %

Kinestésico = puntaje kinestésico =_____ %

11.4.2 Recomendaciones de acuerdo al canal sensorial predominante

Visual

Las personas preferentemente visuales relacionan el aprendizaje con las imágenes. Se calcula que entre el 50% y el 60% de la población pertenece a este grupo.

Tienen facilidad para absorber grandes cantidades de información a la vez y se les dan bien los conceptos abstractos. Para potenciar sus puntos fuertes, utilice lápices de colores, cuadernos y pinturas estimulen su creatividad. A continuación enlistamos algunas recomendaciones que le ayudarán en su aprendizaje:

- Realizar Figuras para aprender vocabulario nuevo.
- Contar una historia partiendo de viñetas, fotos, texto.
- Dibujar comics con texto.
- Leer y visualizar un personaje.
- Utilizar siempre un soporte visual para la información oral.
- Use organizadores gráficos (cuadros, mapas, esquemas, gráficas, etc.).
- Use códigos de color en todo.
- Modele los pasos de todo procedimiento.
- Use películas, videos, discos, fotografías, etc.

Auditivo

Las personas cuyo sentido predominante es el auditivo piensan y recuerdan de manera secuencial y ordenada, por eso prefieren los contenidos orales y los asimilan mejor cuando pueden explicárselos a otra persona o repetirlos en voz alta. Se calcula que entre un 10% y un 20% de la población privilegia el estilo de aprendizaje auditivo, tienen una memoria bien entrenada y no les costará recordar conceptos nuevos.

En el colegio retienen con facilidad las explicaciones del profesor, y pueden memorizar las lecciones repitiéndolas con sus propias palabras.

Se puede potenciar su aprendizaje con material auditivo (cds, dvds etc.), con debates y con lecturas en voz alta. Le resultará más divertido estudiar con un amigo, grabar las lecciones o cantar los temas para aprendérselos.

Se le darán bien la música y los idiomas, aunque pueden costarle más la ortografía y los problemas matemáticos, que se asimilan de manera visual.

Cinestésico

Entre un 30% y un 50% de la gente privilegia este estilo de aprendizaje, que es más frecuente en el sexo masculino que en el femenino.

Las personas kinestésicas aprenden, sobre todo, al interactuar físicamente con los materiales educativos. El tacto es su sentido predominante, y recuerdan mucho mejor lo que hacen que lo ven o escuchan, porque necesitan asociar los contenidos con movimientos o sensaciones corporales.

La forma de almacenar la información de los niños kinestésicos es la más eficiente para todo lo que tiene que ver con lo deportivo y artístico, mientras que se les da peor recordar la información académica.

El deporte, el dibujo y la pintura, los experimentos de laboratorio y los juegos de rol, mejoran su aprendizaje.

Estas personas se defienden mejor en tareas de tiempo limitado y con descansos frecuentes. Posiblemente la caligrafía no será su punto fuerte, tendrá que practicarla, pero también le estimulará aprender a escribir en la computadora.

Practique estas sugerencias para mejorar su aprendizaje:

- Representar sonidos a través de posturas o gestos
- Escribir sobre las sensaciones que sienten ante un objeto.
- Combina el aprendizaje con el movimiento.
- Monte y lamine mapas y córtelos como rompecabezas.
- Use objetos y modelos en tercera dimensión.

11.4.3 Preguntas integradas a la herramienta

En esta sección se encuentran las preguntas que fueron seleccionadas para el estudio que realiza la herramienta. Las preguntas fueron elegidas de distintas bibliografías referentes a la Programación Neurolingüística, las mismas que se encuentran en la Bibliografía de éste documento.

Tipo de Pregunta	Pregunta
Visual	1. ¿Cuáles son los colores de la bandera de Canadá? 2. Visualiza una de tus amigas que lleve el pelo corto. 3. ¿Quién fue la primera persona que viste hoy? 4. En tu "pizzara mental" divide 330 entre 3. 5. Recuerda el rostro de un profesor de tu colegio. 6. Ve el color de la puerta de tu casa o de tu lugar de trabajo. 7. ¿Cómo estabas vestido/a ayer? 8. ¿Cuál de tus amigas se viste mejor? 9. Imagínate con el pelo de color verde. 10. ¿De qué color te gustaría que fuese tu coche?
	11. Escucha el llanto de un bebé.
	12. Canta interiormente una canción que te gustaba en la adolescencia.
	13. ¿Cómo suena el motor de tu coche al ponerlo en marcha?
	14. Oye el sonido que hace tu voz bajo el agua.
	15. ¿Qué sonidos de la naturaleza te agradan más?
	16. ¿Cómo suena tu teléfono?
	17. ¿Cuándo fue la última vez que recibiste una llamada telefónica equivocada?
	18. ¿Cuál fue la última frase que escuchaste antes de presentarte aquí hoy?
	19. Recuerda la última excusa que dijiste.
Auditiva	20. Cuando caminas, ¿Cuál de tus zapatos hace más ruido?
	21. Nota la sensación de caminar descalzo/a sobre la arena caliente de la playa.
	22. Imagina el olor que hace el café recién hecho.
	23. Recuerda qué sentiste con tu primer beso.
	24. Cuando estás deprimido ¿qué te ayuda a sentirte mejor?
	25. Siente tu mano izquierda en agua muy fría.
	26. Recuerda el sabor de tu comida favorita.
	27. ¿Cuál es la parte de tu cuerpo en la que más sientes el enfado?
	28. ¿Qué sientes cuando la brisa acaricia tu cara?
	29. ¿Cómo sabe el limón?
Kinestésica	30. ¿Cuál es uno de tus recuerdos más felices?

R E F E R E N C I A S

- [1] EnableMart. (s.f.). *EnableMart*. Recuperado el 25 de Marzo de 2013, de <http://www.enablemart.com/eyetech-tm3>
- [2] Inclusive Technology. (s.f.). *Inclusive Technology ICT Company*. Recuperado el 20 de Marzo de 2013, de <http://www.inclusive.co.uk/tobii-pceye-p5160>
- [3] Inclusive Technology. (s.f.). *Inclusive Technology ICT Company*. Recuperado el 1 de Mayo de 2013, de <http://www.inclusive.co.uk/sensory-eye-fx-p6182>
- [4] Inclusive Technology. (s.f.). *Inclusive Technology ICT Company*. Recuperado el 1 de Mayo de 2013, de <http://www.inclusive.co.uk/inclusive-eye-gaze-p6501>
- [5] Levitt, T. (21 de Octubre de 2012). *CNN México*. Recuperado el 13 de Marzo de 2013, de <http://mexico.cnn.com/tecnologia/2012/10/21/con-30-dolares-compra-un-gadget-para-mover-tu-computadora-con-los-ojos>
- [6] Hayashi, H. (2002). *Eye Movement Tracking to Support the Second Language Learners' Self-Learning in Comprehension of English Texts*. Japón: School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST).
- [7] Hori, J. (2004). *Development of Communication Supporting Device Controlled by Eye Movements and Voluntary Eye Blink*. Niigata, Japón: Niigata University.
- [8] Jianwei, L. (2010). *The Status of the Development of Eye-movement Moving Device and Its Application in Psychology in China*. Zhejiang, China: Zhejiang Gongshang University Hangzhou.
- [9] Mejoran el aprendizaje con técnicas de programación neurolingüística. (2010). *Gaceta Politécnica*.
- [10] Kashani, M. A. (2011). *Eye detection and tracking in images with using bag of pixels*. Shoushtar, Iran: Islamic Azad University Branch Shoushtar.
- [11] Oyabu, Y. (2012). *Development of the Eye Input Device Using Eye Movement Obtained by Measuring the Center Position of the Pupil*. Japón: Toyama Prefectural University Toyama.
- [12] Li, J. (2012). *Using High-Speed Photography and Image Processing for Fixational Eye Movements (Álvarez) Measurement*. Tokyo, Japón: Tokyo Institute of Technology Yokohama.

[13] L. M., I. (2008). *El valor de la palabra en la construcción del autoestima infantil*. Cuyo, argentina: Universidad Nacional de Cuyo.

[14] Trabajo, I. N. (2008). Radiaciones No ionizantes. En *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO* (pág. Volumen II. Parte VI. Riesgos generales). España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

[15] Michalski, S. (2009). *Luz visible, radiación Ultravioleta e Infrarroja*. Canada: Canadian Conservation Institute.

[16] *EverLight*. (24 de Abril de 2014). Obtenido de http://www.everlight.com/datasheets/IR333_H0_L10_datasheet.pdf

[17] Morimoto, A. A. (2002). Detecting eye position and gaze from a single Recognition. *Pattern Recognition, 2002. Proceedings. 16th International Conference on (Volume:4)*, (págs. 314 - 317). Sao Paulo, Brazil.

[18] Mulvey, F. (2008). *D5.4 Exploration of safety issues in Eyetracking*. Estados Unidos: Communication by Gaze Interaction (COGAIN).

[19] Álvarez, R. J. (s.f.). Manual Práctico de PNL. Desclee de Brouwer.

[20] Pezuela, G. G. (s.f.). Optimicemos la Educación con PNL. trillas.

B I B L I O G R A F Í A

- (1)** Duchowski, Andrew “Eye tracking Methodology” (2007) Editorial Springer.
- (2)** Pajares, Gonzalo “Visión por computador: Imágenes digitales y aplicaciones” (2004) Editorial AlfaOmega.
- (3)** OECD, “Handbook for Internationally Comparative Education Statistics: Concepts, Standards, Definitions and Clasifications”.
- (4)** Serrat Albert. “PNL para Docentes, Mejora tu conocimientos y tus relaciones”. Editorial GRAO.
- (5)** Alder Harry. “PNL para la empresa: Cómo alcanzar la excelencia en el trabajo”. Editorial EDAF.
- (6)** Carrión López Salvador A. “Curso de Practitioner en Programación Neuro-Lingüística”. Editorial Despertar.
- (7)** Bertolotto Vallés Gustavo. “Programación Neurolingüistica Desarrollo Personal”.
- (8)** Sambrano Jazmín. “PNL Para Todos, El Modelo de la Excelencia”.