

**SOFTWARE PARA LA CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO  
DE LA SEÑAL ELECTROOCULOGRÁFICA, USADO EN LA  
DETERMINACIÓN DE ASOCIACIÓN ENTRE ALTERACIÓN DE  
MOVIMIENTOS OCULARES SACÁDICOS Y ESQUIZOFRENIA**

**MÓNICA JANETH BLANCO DÍAZ  
NELSON ENRIQUE LEÓN MARTÍNEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA  
BUCARAMANGA  
2006**

**SOFTWARE PARA LA CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO  
DE LA SEÑAL ELECTROOCULOGRÁFICA, USADO EN LA  
DETERMINACIÓN DE ASOCIACIÓN ENTRE ALTERACIÓN DE  
MOVIMIENTOS OCULARES SACÁDICOS Y ESQUIZOFRENIA**

**MÓNICA JANETH BLANCO DÍAZ  
NELSON ENRIQUE LEÓN MARTÍNEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero de Sistemas**

**Director  
ALFONSO MENDOZA CASTELLANOS  
Bsc., DEA. Automática, Informática y Mecánica Aplicada a la Robótica**

**Codirector  
ALEXANDER PINZÓN AMADO  
Médico Psiquiatra**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA  
BUCARAMANGA  
2006**

Primero que todo a Dios, nuestro Señor, nuestro Padre celestial, que siempre me ha dado las fuerzas y la esperanza para continuar, aún cuando todo parece tan difícil e inalcanzable y por regalarme la presencia de personas que me han apoyado y querido.

A mi Mamá Agripina por su amor, su cuidado y su constante dedicación

A mis hermanas Luz, Mariela y Mavy por su amistad, su paciencia y su apoyo

A mi Padre Luís Enrique, y a mis demás hermanos y hermanas por su constante presencia y cariño.

A Enrique, por la amistad, la paciencia y la generosidad que me ha brindado

A la UIS y a mis compañeros del GIB por todo lo que he aprendido.

**MÓNICA JANETH BLANCO DÍAZ**

La dedicatoria del logro más importante de mi vida, solo puede estar dirigida a quienes lo hicieron posible:

A mis padres, Luís y Custodia, por el esfuerzo diario, en la búsqueda de un mejor futuro par mí.

A mi hermana Liliana, porque siempre está en mi memoria y en mi corazón.

A mis familiares, pues desde donde se encuentren, me tienen presente en sus pensamientos y oraciones.

A Mónica Janeth, por su amistad verdadera y su apoyo incondicional.

A quienes me acogieron como parte de su familia durante mi estadía en la universidad

Y a Dios, por permitir que cada uno de ellos fuera el reflejo de su presencia diaria en mi vida.

**NELSON ENRIQUE LEON MARTINEZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestro más sincero sentimiento de gratitud a las siguientes personas y entidades, que de manera especial hicieron parte activa de la investigación:

A la Universidad Industrial de Santander, por el aporte al crecimiento académico con sentido social que nos fue inculcado durante nuestra permanencia en la institución.

Al profesor Alfonso Mendoza Castellanos, director del proyecto, por su apoyo total e irrestricto en la realización de esta investigación. Su experiencia y su trayectoria fueron fundamentales para que el proyecto saliera adelante.

Al Dr. Alexander Pinzón Amado, médico Psiquiatra, codirector del proyecto, quien se desempeñó en el transcurso de la investigación como un compañero de trabajo más. Nos brindó su experiencia, profesionalismo, tiempo, apoyo y amistad. Es a quien le debemos, en gran parte, que el proyecto haya llegado a buen término.

A la doctora Margarita Ayala, Decana de la Facultad de Optometría de la Universidad Santo Tomas, por apoyar la realización del estudio.

A las doctoras Lizbeth Acuña y Martha Silva, directoras del Grupo Interdisciplinario de Investigaciones Epidemiológicas en el Sistema Visual (GIESVI), de la USTA, por su colaboración en la selección de los participantes aptos para el estudio.

A los integrantes del Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica de la Universidad Industrial de Santander, por su amistad y por el apoyo que nos brindaron en cada una de las etapas del proyecto.

A la enfermera jefe Janeth Rangel, por su colaboración en el contacto de pacientes con el diagnóstico de esquizofrenia y por la amistad y compañía que nos brindó durante este proceso.

A los médicos docentes del Departamento de Salud Mental de la Universidad Industrial de Santander, por sus comentarios y voces de apoyo durante la ejecución del proyecto.

A la señora Sonia Sánchez, secretaria del Departamento de Salud Mental de la universidad Industrial de Santander, por su colaboración total y permanente.

Al personal médico y administrativo del Hospital Psiquiátrico San Camilo de Bucaramanga por creer en el proyecto y permitirnos desarrollar parte del mismo en las instalaciones de este centro médico.

Al personal de las Clínica de Optometría de la Universidad Santo Tomás, por la realización de las valoraciones optométricas de los pacientes.

Pero de manera especial queremos darles las gracias a todos lo pacientes con diagnóstico de esquizofrenia, a sus familias y a todas aquellas personas que hicieron parte del grupo control, por el interés y participación en el estudio. Gracias por su tiempo y su paciencia.

## RESUMEN

**TÍTULO:** SOFTWARE PARA LA CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA SEÑAL ELECTROOCULOGRÁFICA, USADO EN LA DETERMINACIÓN DE ASOCIACIÓN ENTRE ALTERACIÓN DE MOVIMIENTOS OCULARES SACÁDICOS Y ESQUIZOFRENIA\*

**AUTORES:**

MÓNICA JANETH BLANCO DÍAZ, NELSON ENRIQUE LEÓN MARTÍNEZ\*\*

**PALABRAS CLAVES:** ELECTROOCULOGRAFÍA, SEÑAL ELECTROOCULOGRÁFICA, MOVIMIENTO SACÁDICO, ESQUIZOFRENIA, MOVIMIENTO ANTISACÁDICO, TRANSFORMADA DE WAVELET, ALGORITMO DE PARKS-MCCLELLAN, CARACTERIZACIÓN, FILTRADO.

El presente trabajo estuvo constituido de dos partes. La primera parte fue el diseño e implementación de una herramienta software para el filtrado, la caracterización y el análisis estadístico de señales electrooculográficas. La segunda parte corresponde a la aplicación de la herramienta software en un estudio de Casos y Controles en pacientes esquizofrénicos, en el cual se exploró la posible asociación entre la alteración de los movimientos oculares sacádicos y la esquizofrenia.

Fueron incluidos en el estudio 50 pacientes con diagnóstico clínico de esquizofrenia y 50 controles sanos. Fueron tomados tres tipos diferentes de medidas para todos los participantes: una entrevista psiquiátrica estructurada, una detallada evaluación optométrica y un electrooculograma.

Para el filtrado de las señales, se implementaron algoritmos que hacían uso de la transformada de Wavelet y el diseño de filtros paso bajo a través del algoritmo de Parks-McClellan.

La caracterización de la señal electrooculográfica permitió la detección de las regiones en las cuales se registraban movimientos sacádicos. Para cada una de las regiones o sacadas que fueron identificadas se hallaron valores para los parámetros: Amplitud, Duración, Gain, Latencia y Velocidad Pico. Con estos valores se realizó un análisis estadístico de variación utilizando el método paramétrico ANOVA de una vía o el método no paramétrico de Kruskal-Wallis cuando los datos no tenían una distribución normal.

---

\* Trabajo de Investigación

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática. Alfonso Mendoza Castellanos BS, DEA.

El análisis estadístico del estudio mostró que no habían diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos, en términos de Amplitud, Duración, Gain y Velocidad Pico. Se hallaron diferencias entre los grupos para el parámetro Latencia, en los valores correspondientes a amplitudes visuales mayores de 45 grados. En el movimiento antisacádico con amplitudes visuales de 10 y 20 grados se encontraron diferencias significativas en este mismo parámetro.

## ABSTRACT

**TITLE:** SOFTWARE FOR THE CHARACTERIZATION AND STATISTICAL ANALYSIS OF ELECTROOCULOGRAPHIC SIGNAL, USED IN THE DETERMINATION OF ASSOCIATION BETWEEN ALTERATION OF OCULAR SACCADIC MOVEMENTS AND SCHIZOPHRENIA.\*

**AUTHORS:**

MÓNICA JANETH BLANCO DÍAZ, NELSON ENRIQUE LEÓN MARTÍNEZ\*\*

**KEY WORDS:** ELECTROOCULOGRAPHY, ELECTROOCULOGRAPHIC SIGNAL, SACCADIC MOVEMENT, SCHIZOPHRENIA, ANTISACCADIC MOVEMENT, WAVELET TRANSFORM, PARKS-MCCLELLAN ALGORITHM, CHARACTERIZATION, FILTRATE.

The present study was constituted of two parts. The first part was the design and implementation of a software tool for the filtration, characterization and statistical analysis of electrooculographic signals. The second part corresponds to the software tool application in a case-control study in schizophrenic patients, in which the possible association between the alteration of saccadic ocular movements and the schizophrenia was explored.

50 patients with clinical diagnosis of schizophrenia and 50 healthy controls were included in the study. Three different kinds of measurements were taken to all the participants: a structured psychiatric interview, a detail optometric evaluation and an electrooculogram.

The Wavelet transform algorithm and the Parks-McClellan algorithm for the low pass filters design were implemented for the signal filtration.

The electrooculographic signal characterization permitted the detection of the regions in which saccadic movements were registered. For each one of the regions or saccades identified some parameters values were found: Amplitude, Duration, Gain, Latency and Speed. With these values a statistical analysis was made using the one-way ANOVA parametric method or the Kruskal-Wallis non-parametric method when the data were non-normal distributed.

---

\* Investigation work

\*\* Physical-Mechanical Engineering Faculty. Systems and Informatic Engineering School. Alfonso Mendoza Castellanos BS, DEA.

The statistical analysis of the study showed that there were not statistically significant differences between both groups in terms of the Amplitude, Duration, Gain and Speed parameters. Statically significant differences were found for the Latency parameter, in the values corresponding to greater visual amplitude of 45 degrees. In the antisaccadic movement with visual amplitude of 10 and 20 degrees were significant differences in this same latency parameter.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	21
1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO .....	23
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	23
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	23
1.4 ANTECEDENTES.....	25
1.5 ALCANCES .....	25
2. EL OJO HUMANO .....	27
2.1 GLOBO OCULAR .....	27
2.2 EL PROCESO DE VISIÓN .....	31
2.3 MÚSCULOS EXTRAOCULARES .....	32
2.4 MOVIMIENTOS OCULARES DE REACCIÓN .....	35
2.4.1 Movimientos Involuntarios .....	36
2.4.2 Movimientos Voluntarios .....	36
2.5 PARÁMETROS DEL MOVIMIENTO SACÁDICO.....	37
2.6 ENFERMEDADES QUE AFECTAN EL MOVIMIENTO DEL OJO .....	40
2.7 CAMPO VISUAL .....	42
3. ELECTROOCULOGRAFÍA.....	43
3.1 ELECTROFISIOLOGÍA DEL OJO.....	43
3.2 ELECTROOCULOGRAMA .....	44
3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ELECTROOCULOGRAFÍA.....	46
3.3.1 Ventajas.....	46
3.3.2 Desventajas.....	46
3.4 APLICACIONES DE LA ELECTROOCULOGRAFÍA.....	46
4. TRATAMIENTO DE LA SEÑAL ELECTROOCULOGRÁFICA.....	49
4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES ELECTROOCULOGRÁFICAS.....	49
4.2 FILTRADO DE LAS SEÑALES ELECTROOCULOGRÁFICAS .....	52
4.2.1 Transformada de Wavelet .....	52
4.2.1.1 Transformada de Wavelet discreta .....	53
4.2.1.2 Filtrado de señales electrooculográficas usando Wavelet .....	56
4.2.2 Diseño de filtros pasa bajo por el algoritmo Parks-McClellan.....	56
4.2.2.1 Algoritmo de Parks-McClellan.....	58
4.2.3 Utilización del Algoritmo de Parks-McClellan en el Filtrado de Señales electrooculográficas.....	59
4.2.4 Comparación de los Resultados de los Métodos de Filtrado.....	59
4.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS SEÑALES ELECTROOCULOGRÁFICAS.....	61

5. LA ESQUIZOFRENIA .....	67
5.1 SÍNTOMAS POSITIVOS .....	67
5.2 SÍNTOMAS NEGATIVOS .....	68
5.3 CAUSAS DE LA ENFERMEDAD .....	68
5.3.1 Factores Bioquímicos .....	68
5.3.2 Factores genéticos hereditarios.....	70
5.4 TIPOS DE ESQUIZOFRENIA .....	71
5.5 DIAGNÓSTICO DE LA ENFERMEDAD .....	73
5.6 TRATAMIENTOS PARA LA ENFERMEDAD .....	74
5.7 EVOLUCIÓN DE LA ENFERMEDAD .....	76
5.8 ESQUIZOFRENIA Y MOVIMIENTOS OCULARES.....	76
6. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE EOGEST.....	79
6.1 PROCESO UNIFICADO DE DESARROLLO Y UML .....	79
6.1.1 Fase de Inicio .....	82
6.1.2 Fase de Elaboración.....	82
6.1.3 Fase de Construcción:.....	82
6.1.4 Fase de Transición .....	83
6.2 MODELO ESTÁTICO O DE DATOS .....	83
6.3 MODELO DINÁMICO O DE COMPORTAMIENTO: .....	84
6.4 DIAGRAMA DE CASOS DE USO .....	84
6.5 DIAGRAMA DE ACTIVIDADES: .....	86
6.6 HERRAMIENTA SOFTWARE EOGEST .....	87
6.7 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN:.....	98
6.8 MANEJADOR DE LA BASE DE DATOS .....	98
6.9 COMPONENTES EXTERNOS AL DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE .....	99
6.10 ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS:.....	99
6.11 INTERFAZ DE USUARIO .....	106
6.11.1 Interfaz de Presentación del Software .....	106
6.11.2 Interfaz de Registro del Administrador .....	106
6.11.3 Interfaz de Modo de uso, o de tipo de Acceso al Software.....	107
6.11.4 Interfaz de Registro de un Nuevo Estudio .....	108
6.11.5 Interfaz de Edición del Estudio .....	109
6.11.6 Interfaz de Registro de Personas .....	109
6.11.7 Interfaz de Modificación de Datos de las Personas.....	110
6.11.8 Interfaz de Agregar Señales Electrooculográficas.....	111
6.11.9 Interfaz de Visualización y Eliminación de Señales de la Base de Datos.....	112
6.11.10 Interfaz de caracterización de la Señal Electrooculográfica.....	113
6.11.11 Interfaz de Filtrado de la Señal Electrooculográfica.....	115

6.11.12	Interfaz de Consulta de los Valores calculados de los Parámetros	116
6.11.13	Interfaz de Estadísticas Generales .....	117
6.11.14	Interfaz de Comparación por Parámetros .....	118
6.11.15	Interfaz para el análisis de la Normalidad .....	119
6.11.16	Interfaz para el Análisis de Variación.....	120
6.11.17	Interfaz de Definición de Recorridos del Electroestimulador.....	122
6.11.18	Interfaz de Registro de Datos de los Parámetros .....	123
6.11.19	Interfaz de Administrador.....	123
6.11.20	Interfaz de Administración de Estudios.....	124
6.11.21	La interfaz de Ayuda al usuario y el Acerca de EOGEST .....	125
6.11.22	Barra del Menú Principal de EOGEST:.....	126
6.12	DIAGRAMA DE ACTIVIDADES EOGEST .....	129
7.	APLICACIÓN DE EOGEST EN UN ESTUDIO DE CASOS Y CONTROLES .....	130
7.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	130
7.1.1	Hipótesis de investigación .....	130
7.1.2	Justificación .....	130
7.2	METODOLOGÍA.....	132
7.2.1	Diseño del Estudio.....	132
7.2.2	Población de Estudio.....	133
7.2.3	Tamaño de la Muestra.....	133
7.2.4	Selección de Participantes .....	134
7.2.5	Evaluación Inicial.....	135
7.2.6	Toma de Señales Electrooculográfica .....	136
7.3	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA.....	140
7.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	140
7.5	VALIDACIÓN DEL ESTUDIO.....	141
7.6	RESULTADOS .....	141
	CONCLUSIONES .....	145
	RECOMENDACIONES.....	149
	BIBLIOGRAFIA.....	150
	ANEXOS.....	156

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.Globo Ocular. ....	28
Figura 2.Proceso De Visión .....	32
Figura 3.Músculos Extraoculares.....	33
Figura 4.Ejes De Movimiento Del Ojo.....	33
Figura 5.Movimientos Combinados Y Particulares Del Ojo .....	35
Figura 6.Parámetros Del Movimiento Sacádico.....	38
Figura 7.Amplitud Vs. Velocidad Pico.....	39
Figura 8.Estrabismos.....	41
Figura 9.Campo Visual. ....	42
Figura 10.Composición Celular De La Retina.....	44
Figura 11.Distribución De Electrodo Para La Toma Del Eog.....	45
Figura 12.Algunos Ejemplos De Electrooculogramas.....	50
Figura 13.Espectro De Fourier De La Señal 12.A.....	51
Figura 14.Diagrama De La Distribución Acumulada Del Espectro De Fourier De La Señal 12.A .....	51
Figura 15.Descomposición De Coeficientes De Aproximación Y Detalle .....	54
Figura 16.Diezmo De Los Coeficientes Resultantes De La Descomposición. 54	
Figura 17.Descomposición Multinivel En La Transformada Discreta De Wavelet .....	55
Figura 18.Proceso De Descomposición Y Reconstrucción En La Transformada De Wavelet Discreta.....	55
Figura 19.Amplitud De La Respuesta Típica De Un Filtro Fir Pasa Bajo .....	57
Figura 20.Comparación Entre Filtros Wavelet Y Equirizado.....	60
Figura 21.Resultado De La Convolución Entre La Señal Original Y Los Filtros Pbd Y Pad .....	62
Figura 22.Coeficientes De Aproximación Umbralizados .....	64
Figura 23.Sacadas Y Coeficientes De Detalle Umbralizados .....	64
Figura 24.Sacadas Y Velocidades Pico.....	66
Figura 25.Regiones De Neuronas Dopaminérgicas.....	69

Figura 26.Relación Serotonina-Dopamina .....	70
Figura 27.Ciclo De Vida Del Puds .....	80
Figura 28.Diagrama De Casos De Uso N° 1.....	96
Figura 29.Diagrama De Casos De Uso N° 2.....	97
Figura 30.Diagrama De Casos De Uso N° 3.....	97
Figura 31.Estructura De La Base De Datos.....	105
Figura 32.Eogest .....	106
Figura 33.Registro Administrador .....	107
Figura 34.Modo De Uso.....	107
Figura 35.Nuevo Estudio .....	108
Figura 36.Editar Estudio .....	109
Figura 37.Registro Personas .....	109
Figura 38.Editar Personas .....	110
Figura 39.Agregar Señales.....	111
Figura 40.Editar Señales .....	112
Figura 41.Caracterización.....	113
Figura 42.Resultados.....	114
Figura 43.Filtrado.....	115
Figura 44.Valores De Los Parámetros.....	116
Figura 45.Estadísticas Generales.....	117
Figura 46.Comparación Por Parámetros .....	118
Figura 47.Gráficas De Normalidad .....	119
Figura 48.Análisis De Variación.....	120
Figura 49.Múltiple Comparación De Medias .....	122
Figura 50.Electroestimulador .....	122
Figura 51.Parámetros .....	123
Figura 52.Administrador .....	124
Figura 53.Administración De Estudios.....	124
Figura 54.Ayuda Eogest .....	125
Figura 55.Acerca De Eogest.....	126

Figura 56.Menú Principal .....	126
Figura 57.Menú Principal-Estudios .....	127
Figura 58.Menú Principal-Base De Datos.....	127
Figura 59.Menú Principal-Filtrado.....	127
Figura 60.Menú Principal-Characterización.....	127
Figura 61.Menú Principal-Reportes .....	128
Figura 62.Menú Principal-Ayuda.....	128
Figura 63.Menú Principal-Administración .....	128
Figura 64.Actividades Generales Eogest.....	129
Figura 65.Electroestimulador .....	136
Figura 66.Biopac Mp30.....	137
Figura 67.Colocación De ElectrodoS Para La Toma De Señales Electrooculográficas .....	138
Figura 68.Ubicación De La Persona Frente Al Electroestimulador .....	138
Figura 69. Recorridos Del Electroestimulador .....	139

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Movimientos oculares y músculos que intervienen.....	33
Tabla 2. Enfermedades del Ojo.....	39
Tabla 3. Promedio de riesgo que tienen los familiares de una persona con esquizofrenia de contraer la enfermedad, recopilado de estudios con gemelares y familiares realizados en Europa entre 1920 y 1987.....	70
Tabla 4. Tipos de Esquizofrenia.....	71
Tabla 5. Resultados Recorrido R1V4 Evaluador 1 .....	141
Tabla 6. Resultados Recorrido R1V4 Evaluador 2 .....	141
Tabla 7. Resultados Recorrido R3V4S Evaluador 1 .....	141
Tabla 8. Resultados Recorrido R3V4S Evaluador 2 .....	141
Tabla 9. Resultados Recorrido R3V4SI Evaluador 1 .....	142
Tabla 10. Resultados Recorrido R3V4SI Evaluador 2 .....	142
Tabla 11. Resultados Recorrido R4V4S Evaluador 1 .....	142
Tabla 12. Resultados Recorrido R4V4S Evaluador 2 .....	142
Tabla 13. Resultados Recorrido ANT10 Evaluador 1.....	143
Tabla 14. Resultados Recorrido ANT10 Evaluador 2 .....	143
Tabla 15. Resultados Recorrido ANT20 Evaluador 1 .....	143
Tabla 16. Resultados Recorrido ANT20 Evaluador 1 .....	143

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A. ASPECTOS ÉTICOS.....	156
ANEXO B. CONSENTIMIENTO INFORMADO (Casos).....	158
ANEXO C. CONSENTIMIENTO INFORMADO (Controles).....	159
ANEXO D. Diagrama General EOGEST.....	160

## INTRODUCCIÓN

La construcción de proyectos de investigación en los que se integren diferentes ramas del saber debe ser el medio de generación y ampliación de conocimiento verdaderamente útil a la sociedad. Partiendo de esta idea, y tratando de mantener el lugar de privilegio que tiene la Universidad Industrial de Santander en el impulso de proyectos de investigación y desarrollo, basados en la utilización de una técnica conocida como Electrooculografía, que registra la diferencia de potencial eléctrico generado en el ojo humano, se desarrolló un proyecto que, haciendo uso de herramientas informáticas, médicas, matemáticas y estadísticas, avalara o no la utilización de esta técnica muy poco conocida en Colombia, a manera de herramienta de apoyo en el diagnóstico de posible presencia de esquizofrenia.

El proyecto que se presenta a continuación está constituido por dos partes básicas. La primera de ellas es el desarrollo de una herramienta software diseñada para el análisis de señales electrooculográficas, mediante la cual se puede hacer un filtrado y caracterización de estas, además de un análisis estadístico de los valores de los parámetros calculados para dichas señales. La segunda parte la constituye la aplicación de la herramienta como soporte a un estudio de casos (pacientes con diagnóstico de esquizofrenia) y controles (personas sin diagnóstico de esquizofrenia), para describir si existen diferencias estadísticas entre los valores de los parámetros de las señales electrooculográficas pertenecientes a los integrantes de cada grupo mencionado.

Para el desarrollo de la herramienta software fue necesario realizar una búsqueda sistemática sobre las características de las señales electrooculográficas que permitió seleccionar y ajustar los mejores algoritmos y técnicas para el filtrado y caracterización de las señales.

En cuanto al estudio de casos y controles hay que decir que todos los procedimientos que se le aplicaron a las personas participantes, fueron avalados por las entidades interesadas en el desarrollo del proyecto: Universidad Industrial de Santander, Hospital Psiquiátrico San Camilo y Universidad Santo Tomas.

Se espera que el desarrollo de este proyecto implique una ampliación del conocimiento existente hasta el momento en el área de la Electrooculografía, y que los algoritmos implementados en la herramienta software para el

tratamiento de señales electrooculográficas, puedan ser el punto de partida para su optimización y adaptación a otros tipos de señales.

Por último, se desea que este proyecto sirva de referencia para mostrar que es posible la integración de diferentes formas del saber, por más distantes que sea su campo particular de acción, en la creación de soluciones más completas y efectivas a los problemas que aquejan al hombre.

# **1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO**

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Identificar y caracterizar los parámetros de la señal electrooculográfica que permitan hacer un estudio de la posible asociación en la alteración de los movimientos oculares sacádicos y la esquizofrenia en pacientes del área metropolitana de Bucaramanga.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar y/o diseñar e implementar algoritmos matemáticos adecuados que permitan el filtrado y la posterior caracterización de los parámetros de las señales electrooculográficas obtenidas de personas sanas y esquizofrénicas.
- Aplicar un método estadístico, que permita analizar los parámetros característicos de las señales electrooculográficas.
- Utilizar los resultados estadísticos obtenidos como soporte de comparación con otros estudios similares hechos en otros lugares.
- Determinar si existe relación entre la presencia de esquizofrenia y alteraciones de los movimientos oculares sacádicos, de acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis estadístico.
- Construir una aplicación que permita la implementación de los algoritmos matemáticos escogidos para el tratamiento de la señal electrooculográfica, al igual que las funciones que facilitan el análisis estadístico de los parámetros característicos de la señal, siguiendo los pasos del proceso unificado de desarrollo de software.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad el área de la electrooculografía es una rama de la bioingeniería sobre la cual no se tienen significativos avances en el país, pues es escasa la información encontrada sobre el tema, en referencias nacionales. La Universidad Industrial de Santander se está posicionando

como una de las entidades pioneras en el desarrollo de estudios y trabajos en este campo.

Con el objetivo de seguir avanzando en la búsqueda de nuevas aplicaciones de la electrooculografía como herramienta tecnológica y científica de apoyo al proceso de diagnóstico de enfermedades neuro-oftalmológicas, se pretende explorar una posible asociación entre la alteración de los movimientos oculares sacádicos y la esquizofrenia, a través de un estudio de casos y controles, en personas del área metropolitana de Bucaramanga.

A partir de la aplicación de conceptos de ingeniería de sistemas en cuanto al diseño y aplicación de algoritmos, la utilización de conceptos estadísticos y del tratamiento automático de la información, se pueden crear herramientas que sirvan como soporte para ampliar el rango de aplicaciones de la ingeniería de sistemas a las ramas de la bioingeniería

Por otra parte, la esquizofrenia es una de las enfermedades más frecuentes en todo el mundo<sup>1</sup>, con una prevalencia aproximada del 1% en la población mundial, y cuyos costos económicos, sociales, familiares y de salud pública son muy altos:

- Costos de tratamiento de la enfermedad.
- Costos por discapacidad de la persona.
- Según la OMS, es una de las principales enfermedades que produce pérdida de años potenciales de vida perdidos por discapacidad.
- Elevada tasa de mortalidad (casos de suicidio como resultado de la enfermedad).

Actualmente no existe una prueba o examen paraclínico que permita apoyar el diagnóstico de esta enfermedad. Diversos estudios epidemiológicos han sugerido una asociación entre alteración de los movimientos oculares y la esquizofrenia. Algunos de estos estudios señalan que estas alteraciones pueden ser utilizadas como marcadores biológicos que ayudarían a clasificar personas en riesgo de desarrollar la enfermedad, lo que permitiría establecer intervenciones tempranas con el fin de disminuir su impacto.

Sea que se encuentre o no una relación entre las dos situaciones descritas, como resultado del trabajo de investigación, se proporcionará un punto de referencia para futuros estudios del mismo tipo que se hagan en Colombia o en otros países, además de un nuevo aporte al desarrollo de la electrooculografía.

---

<sup>1</sup> Esquizofrenia Abre las Puertas. Epidemiología. En:  
<http://www.esquizofreniabrelaspuestas.com/esquizofrenia/epidemiologia.htm>

## 1.4 ANTECEDENTES

A mediados del siglo XIX se descubrió la existencia de potenciales electrofisiológicos generados en el ojo, y desde esa época se han realizado experimentos con el objetivo de obtener un registro gráfico de estos, que en la actualidad se han desarrollado hasta la obtención por medios apoyados en el uso del computador.

La utilización de los registros electrofisiológicos está orientada al diagnóstico de enfermedades del sistema ocular y recientemente en la asociación entre alteraciones del sistema oculo-motor con la presencia de enfermedades mentales.

El presente es el segundo trabajo orientado a la investigación en electrooculografía desarrollado en el Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB) de la Universidad Industrial de Santander. En el primer trabajo denominado **“ALGORITMO COMPUTACIONAL QUE PERMITA CARACTERIZAR Y ANALIZAR LOS PARÁMETROS DE LA SEÑAL ELECTROOCULOGRÁFICA DEL MOVIMIENTO SACÁDICO EN PERSONAS SANAS DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA”**<sup>2</sup> se realizó un estudio con el fin de caracterizar y de estandarizar valores de algunos parámetros de la señal electrooculográfica, para un ángulo de desplazamiento visual de 20°. Además se presentó una exploración básica de los parámetros de la señal electrooculográfica en pacientes hospitalizados en el Hospital Psiquiátrico San Camilo de Bucaramanga, para el cual no se definió un protocolo clínico a seguir.

En cuanto a la asociación entre alteración de movimientos oculares y la presencia de esquizofrenia, dentro de la literatura se presentan artículos en los que se muestran resultados de estudios similares al que se plantea como aplicación en este proyecto. Los resultados de los estudios en mención, presentan algunas diferencias en las señales electrooculográficas de pacientes con diagnóstico de esquizofrenia frente a las señales de personas que no poseen la enfermedad.

## 1.5 ALCANCES

Dentro de los alcances del proyecto se encuentra la profundización en la búsqueda, adaptación e implementación de algoritmos matemáticos, que

---

<sup>2</sup> SAAVEDRA, A y VILLAR, J. Algoritmo computacional que permita caracterizar y analizar los parámetros de la señal electrooculográfica del movimiento sacádico en personas sanas del área metropolitana de Bucaramanga. Bucaramanga 2004. 101 p.

faciliten las tareas de filtrado y caracterización de señales electrooculográficas.

Otro de los alcances del proyecto es el diseño e implementación de una herramienta software que permita el almacenamiento, visualización, filtrado, caracterización y análisis estadístico de señales electrooculográficas, cuyos resultados puedan ser utilizados en estudios de diferente propósito, ya sea de carácter investigativo o de diagnóstico.

La eficiencia y la eficacia de la herramienta software están comprobadas por su utilización en el estudio de casos y controles, con una muestra representativa de aproximadamente 50 casos y 50 controles, que permita establecer una posible asociación entre alteración de movimientos oculares sacádicos y esquizofrenia, presentando valores de parámetros de la señal electrooculográfica para cada grupo incluido en el estudio.

La redacción de por lo menos un artículo publicable en revistas especializadas, es otro de los alcances que se deben lograr como resultado de la realización de este proyecto.

El impacto social que se alcanza con la realización de proyectos de esta magnitud también es importante, pues aparte de presentar resultados que se pueden aplicar como soporte al diagnóstico de enfermedades, la realización de los procedimientos médicos a los que se sometieron los participantes del estudio también representan un beneficio inmediato, ya que se les puede brindar los resultados de unas valoraciones, en este caso, psiquiátrica y optométricas, sin costo alguno.

## **2. EL OJO HUMANO**

El sistema visual humano está compuesto por el ojo (globo ocular), los músculos que permiten que este realice movimientos, las vías ópticas, y el cerebro, elementos que debido a su complejidad se deben estudiar por separado.

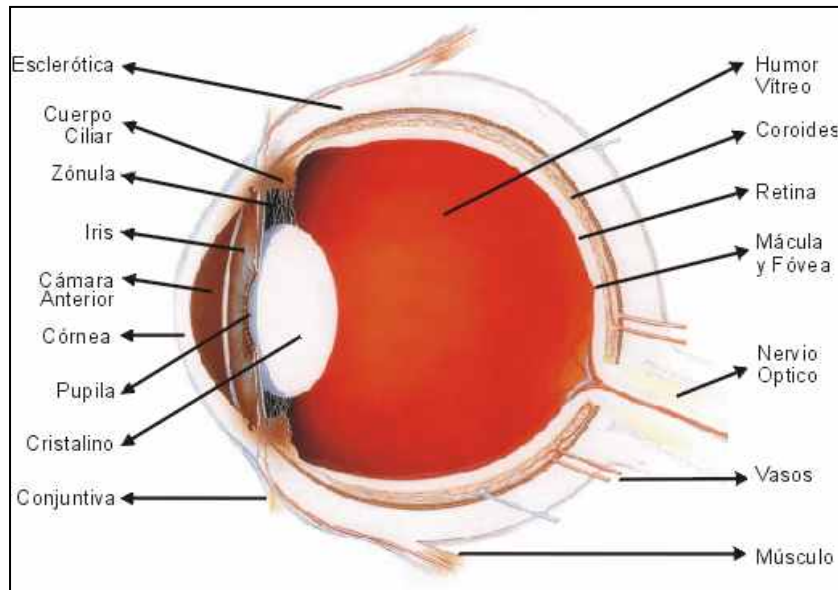
En el presente escrito se hará un resumen de las partes del globo ocular y la función de cada una de estas, así como la descripción del funcionamiento de los músculos extraoculares que permiten el movimiento del ojo. Además, se presentarán los tipos de movimientos oculares que realizan las personas de acuerdo a los estímulos que perciben del medio exterior y algunas enfermedades que afectan la reacción y el movimiento de los ojos. Para finalizar se explicara un poco acerca del campo visual que poseemos los seres humanos.

### **2.1 GLOBO OCULAR**

El ojo forma parte del sistema nervioso central, ya que es una extensión del encéfalo. El órgano que realmente efectúa la visión como tal, es el cerebro, el globo ocular tiene las funciones de percibir o receptor las vibraciones electromagnéticas de la luz (ondas lumínicas) que percibimos del exterior y luego traducir estas en un determinado tipo de impulso nervioso que se transmite al cerebro por medio del nervio óptico.

El globo ocular es un órgano esferoidal, de unos 7,5 g de peso. Su diámetro antero-posterior, transversal y vertical en el adulto normal es de unos 25 milímetros, se encuentra protegido por la órbita ósea del cráneo y está rodeado de tejido adiposo conectivo. Solo se muestra hacia el medio externo una sexta parte del ojo y el resto se encuentra dentro de la órbita. El párpado, que se encuentra sobre la superficie expuesta del globo, le proporciona protección adicional. El borde del párpado tiene pestañas y contienen pequeñas glándulas que producen una sustancia aceitosa. En la esquina exterior de la órbita se encuentra la glándula lagrimal, esta secreta lágrimas, las cuales se deslizan sobre la superficie expuesta del ojo y se encargan de limpiar las impurezas, además de mantener húmedas las células de la conjuntiva y la cara interna de los párpados con un líquido que no produce irritación.

**Figura 1. Globo Ocular.**



El globo ocular está compuesto por tres capas y tres cámaras o cavidades.

Las capas:

- Esclerocórnea
- Úvea
- Retina

Las cámaras:

- Cámara Anterior
- Cámara Posterior
- Cámara Vítreo.

La primera capa, la esclerocórnea o esclerótica es la capa más exterior, que consiste en un tejido blanco, duro y fibroso que se encuentra en la parte posterior y central del ojo, y se compone de la esclera y la córnea. La esclerótica tiene terminaciones nerviosas y carece de vasos sanguíneos. Tiene una función protectora, cubre unos cinco sextos de la superficie ocular y se prolonga en la parte anterior con la córnea.

- La Esclera es una membrana fibrosa, gruesa e inelástica que forma la parte blanca opaca del ojo, y tiene una función de protección. En su zona exterior está recubierta por una mucosa transparente llamada conjuntiva, cuya irritación da lugar a las conocidas y frecuentes

conjuntivitis. En la esclera se insertan los músculos extraoculares y de su parte posterior sale el nervio óptico.

- La córnea, parte transparente de la capa externa, constituye una sexta parte de esta, además de ser la continuación de la esclera. Tiene un diámetro de 11 a 12 milímetros y aproximadamente un grosor de unas 500 micras en su parte central y 670 micrones en la periferia. Su función es proteger la parte anterior del globo ocular y permitir el ingreso de los rayos luminosos. La curvatura de la córnea varía de una persona a otra y ha medida que estas envejecen, dicha curvatura se hace más plana.

La úvea o capa media está compuesta de tres partes diferenciadas:

- La coroides es una capa vascular ya que contiene muchos vasos sanguíneos. Está situada en la parte posterior revistiendo las tres quintas partes posteriores del globo ocular. Tiene una función tanto nutritiva como de pantalla pigmentaria (contiene un pigmento pardo oscuro) para evitar que la luz entre en zonas indebidas.
- El cuerpo ciliar, el cual a su vez está formado por los procesos ciliares y el músculo ciliar. Los procesos ciliares son los encargados de la secreción de un líquido llamado humor acuoso, que rellena la cámara anterior, y el músculo ciliar es el encargado de variar la curvatura del cristalino para poder enfocar a distintas distancias. El cristalino se encuentra detrás del iris, es un lente con forma de esfera aplanada biconvexo, avascular, transparente e incoloro que está constituido por un gran número de fibras transparentes dispuestas en capas, su función es lograr un enfoque o acomodación precisa de los rayos luminosos sobre la retina. El cristalino conserva su posición mediante los ligamentos o zónula de Zinn.

El iris, corresponde a la zona pigmentada del ojo, es una estructura circular que se sitúa en la parte anterior del globo ocular y está unido al cuerpo ciliar. Su función es regular la cantidad de luz que entra en el interior del ojo, para lo cual varía su tamaño según la intensidad de la luz, esto se realiza gracias a que las fibras musculares del iris se encargan de controlar la constricción y dilatación de la Pupila, que es el agujero en su centro.

La tercera capa del globo ocular es la retina, la cual es la zona sensible a la luz y está ubicada en la parte posterior del ojo. En ella se forman las imágenes de los objetos externos que percibimos para poder verlos con nitidez, y transmite los impulsos visuales a través del nervio óptico al cerebro. La retina es una membrana lisa y semitransparente que contiene rodopsina

la cual le da un color púrpura. Dentro de la retina existen nueve capas en las cuales se encuentran diferentes tipos de células:

- Ganglionares
- Bipolares
- Horizontales de Asociación
- Amacrinas
- Interplexiformes
- Fotorreceptores: Conos y Bastones
- Células de Müller

La capa de conos y bastones está constituida por dos tipos de células fotorreceptoras, precisamente, los conos y los bastones, las cuales son especializadas, sensibles a los rayos luminosos y son las responsables de traducir las imágenes (rayos luminosos percibidos) en impulsos nerviosos (impulsos eléctricos) que se envían al cerebro. Los conos, en un número aproximado de siete millones, son los que se encargan de la visión diurna e interpretan los detalles finos de contraste, color y forma. La mayor parte de los conos se encuentran en una pequeña hendidura llamada fóvea, la cual se constituye como el punto donde la visión es más precisa y está ubicada sobre una mancha de color amarillo denominada mácula, esta mancha a su vez está ubicada sobre la retina. Los bastones, en un número aproximado de 100 millones, se localizan alrededor de la fóvea, en las partes más periféricas de la retina y se activan únicamente con la luz tenue. Los bastones, a diferencia de los conos, no son capaces de distinguir el detalle fino o el color, solo tienen distinción de tonalidades de gris. Entonces en la noche cuando funcionan los bastones, es difícil distinguir los colores y ver límites precisos.

Por último, en la zona posterior de la retina se encuentra una parte ciega llamada papila, en la cual se conecta el nervio óptico. Este se encarga a través de las múltiples fibras que lo conforman, de enviar hacia el cerebro los impulsos eléctricos provenientes de los conos y los bastones. El nervio óptico tiene su origen en la capa de células ganglionares de la retina. Los axones de estas células, al reunirse y dirigirse hacia atrás, son los que conforman el nervio óptico.

Con respecto a las tres cámaras que conforman del globo ocular, la primera de ellas es la cámara anterior, la cual está comprendida entre la córnea y el iris. La cámara anterior está rellena de un líquido transparente llamado humor acuoso que, como ya se dijo, es producido por los procesos ciliares y es desaguado por el ángulo que forman el iris y la córnea. Problemas en este desagüe producen un aumento de la presión intraocular y dan lugar a la enfermedad llamada glaucoma.

La segunda es la cámara posterior, también rellena de humor acuoso, y está situada entre el iris y el cristalino, y en ella se sitúan los procesos ciliares.

La cámara vítrea es la tercera cámara del ojo, se encuentra en la región situada entre el cristalino y la retina. Está rellena de una sustancia llamada humor vítreo, la cual es gelatinosa, transparente y avascular, con la cual el globo ocular mantiene su forma, ya que esta sustancia es la encargada de mantener la presión intraocular, de tal forma que el globo no se hunda cuando es sometido a presiones externas.

## **2.2 EL PROCESO DE VISIÓN**

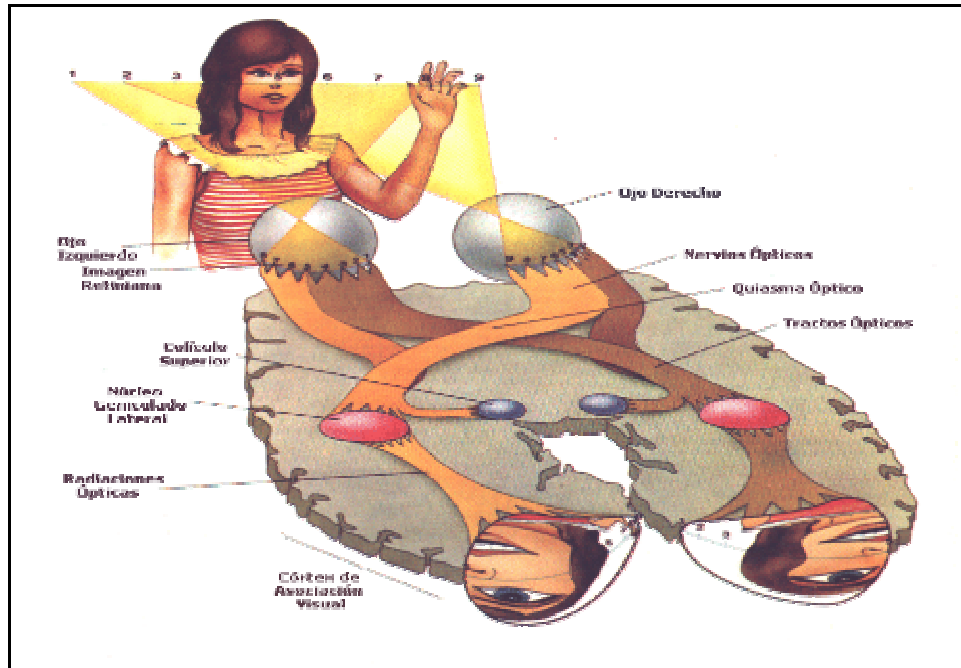
En general el proceso completo de la visión (Figura 2) se puede resumir así:

El rayo de luz llega al ojo y encuentra la córnea, después pasa por el humor acuoso, en ese momento el rayo de luz original se ha convertido en un cono luminoso con el vértice dirigido hacia el interior del globo ocular.

Posteriormente la luz pasa por el iris atravesando su pupila y llega al cristalino. Luego de cruzar el cristalino, la luz se desplaza a través del humor vítreo, y finalmente llega hasta la retina, en la cual se dibuja la imagen proyectada por el cristalino (imagen invertida).

Una vez en la retina, las células fotorreceptoras (conos y bastones) realizan el proceso de transformación de la luz en impulsos nerviosos o eléctricos, los cuales son conducidos a través del nervio óptico a la vía óptica (quiasma y tractos ópticos), y de esta llegan finalmente al centro visual del cerebro o corteza cerebral, dentro de la cual, por medio de otras estructuras cerebrales contenidas en su interior, los impulsos son interpretados y la imagen toma su forma real (se reinvierte la imagen que llega de la retina), y así percibimos la información que recibimos del medio exterior.

**Figura 2. Proceso de Visión**



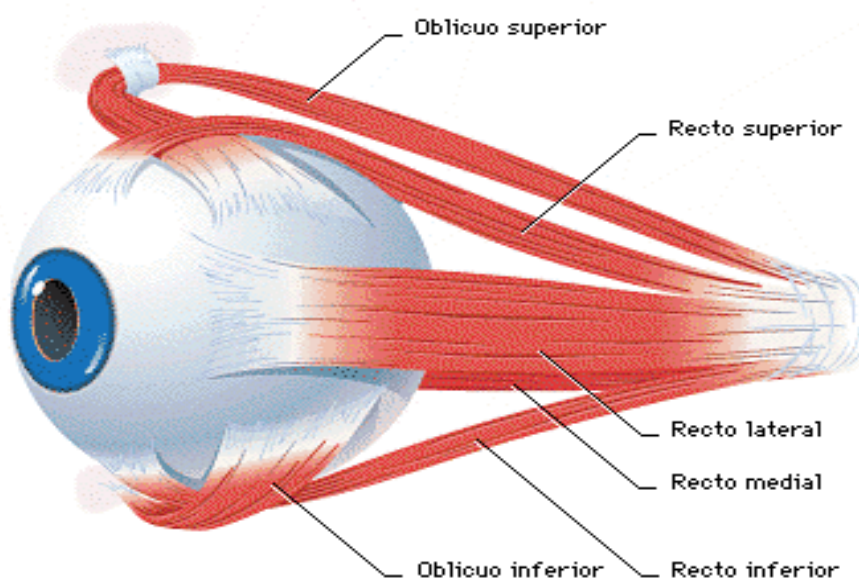
### 2.3 MÚSCULOS EXTRAOCULARES

El sistema Óculo-Motor está conformado por seis músculos extraoculares los cuales realizan los movimientos horizontales, verticales y de torsión del globo ocular.

Los músculos de los dos ojos funcionan de forma simultánea, por lo que desempeñan la importante función de converger el enfoque de ambos ojos en un punto específico, para que las imágenes de ambos coincidan; cuando esta convergencia no se lleva a cabo o es irregular, se produce el fenómeno de doble visión.

Estos músculos son esqueléticos, voluntarios y se insertan, por una parte en la capa exterior (Esclerocórnea) del globo ocular y, por otra, en los huesos de la órbita. Los cuatro rectos están alineados con sus puntos de origen, mientras que los dos oblicuos se insertan en la superficie ocular formando un ángulo. El encéfalo es quien se encarga de transmitir mensajes a los músculos (6 del ojo derecho y 6 del izquierdo) para que estos coordinen sus movimientos, de forma que se muevan a la vez y en la misma dirección, de acuerdo a como se requieran mover ambos ojos en un determinado instante.

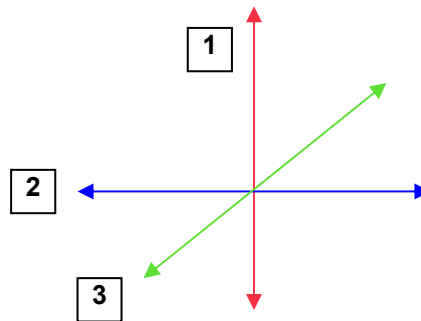
**Figura 3. Músculos Extraoculares**



La contracción de estos músculos hace que el globo ocular se pueda mover en relación a tres ejes:

**Figura 4. Ejes de Movimiento del ojo.**

1. Eje Vertical
2. Eje Horizontal
3. Eje Antero-posterior



En el eje vertical el ojo presenta movimientos de elevación y movimientos de depresión o descendentes. En el eje horizontal presenta movimientos aductivos o de desviación nasal (hacia la nariz) y movimientos abductivos o de desviación temporal (hacia el hueso temporal). En el eje antero-posterior se presentan los movimientos de torsión del ojo, estos pueden ser de intorsión o de extorsión. Un movimiento de intorsión se presenta cuando el ojo es orientado hacia arriba y en dirección a la nariz, o cuando es orientado hacia abajo y en dirección contraria a la nariz. Un movimiento de extorsión se presenta cuando el ojo es orientado hacia abajo y en dirección a la nariz,

o cuando es orientado hacia arriba y en dirección contraria a la nariz. En general los movimientos de torsión son una combinación de los movimientos que se presentan en el eje horizontal y el eje vertical.

A continuación se describe la función principal y función secundaria de cada uno los músculos extraoculares en forma individual:

- El músculo recto superior tiene como función principal empujar y mover el globo ocular hacia arriba y como función secundaria la intorsión y aducción del mismo.
- El músculo recto inferior tiene por función principal empujar y mover el globo ocular hacia abajo y como función secundaria su extorsión y abducción.
- El músculo recto lateral o lateral externo está ubicado “en la región cercana al hueso temporal del cráneo”, es un músculo abductor, debido a que su principal y única función es empujar y mover globo ocular hacia fuera, es decir en dirección contraria a la nariz.
- El músculo recto medial o lateral interno está ubicado “en la región cercana a la nariz”, es un músculo aductor, debido a que su principal y única función es empujar y mover el globo ocular hacia adentro, es decir en dirección a la nariz.
- El músculo oblicuo superior tiene como principal función hacer que el globo ocular rote hacia abajo y hacia fuera, es decir que se encarga de la intorsión del ojo y tiene como función secundaria la depresión (descenso) y abducción del mismo.
- El músculo oblicuo inferior pasa por debajo del ojo y su función es hacer que el globo ocular rote hacia arriba y hacia fuera, es decir que se encarga de la extorsión del ojo, y su función secundaria es la elevación y aducción del mismo.

Para llevar a cabo el movimiento de ambos ojos en cualquiera de los tres ejes se requiere la combinación del trabajo realizado por un par coordinado de estos músculos:

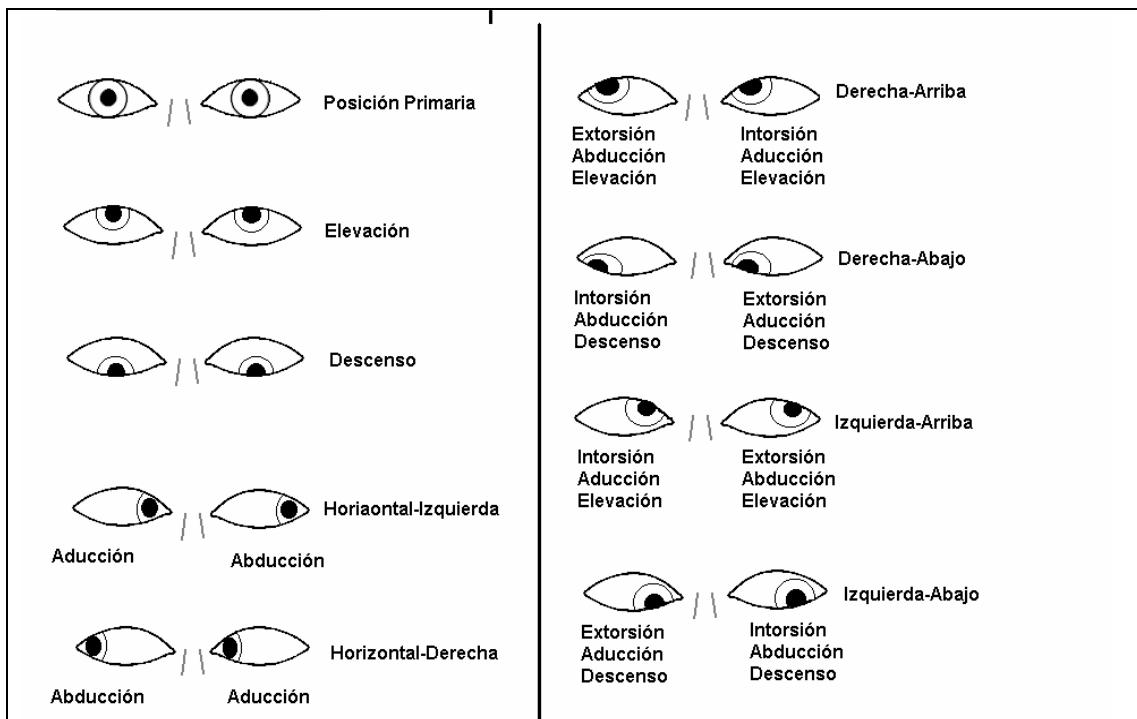
**Tabla 1. Movimientos oculares y músculos que intervienen**

<b>MOVIMIENTO</b>	<b>MÚSCULOS COMBINADOS</b>
Movimiento Vertical hacia arriba	Recto Superior - Oblicuo Inferior (de ambos ojos)
Movimiento Vertical hacia abajo	Recto Inferior - Oblicuo Superior (de ambos ojos)
Movimiento Horizontal a la derecha	Recto Lateral - Recto Medial (ojo derecho) (ojo izquierdo)

Movimiento Horizontal a la izquierda	Recto Lateral - Recto Medial (ojo izquierdo) (ojo derecho)
Movimiento hacia la derecha y arriba	Recto Superior - Oblicuo Inferior (ojo derecho) (ojo izquierdo)
Movimiento hacia la derecha y abajo	Recto Inferior - Oblicuo Superior (ojo derecho) (ojo izquierdo)
Movimiento hacia la izquierda y arriba	Recto Superior - Oblicuo Inferior (ojo izquierdo) (ojo derecho)
Movimiento hacia la izquierda y abajo	Recto Inferior - Oblicuo Superior (ojo izquierdo) (ojo derecho)

En la siguiente grafica se muestran las figuras de los movimientos explicados anteriormente, teniendo en cuenta el movimiento que realizan ambos ojos en conjunto y los movimientos que realiza cada ojo por separado para poder llevar a cabo el movimiento principal:

**Figura 5. Movimientos combinados y particulares del ojo**



## 2.4 MOVIMIENTOS OCULARES DE REACCIÓN

Las personas realizan varias clases de movimiento ocular según la forma particular en que ellas reaccionan ante los sucesos o estímulos que se presentan en el medio o entorno que los rodea, estos movimientos son:

- Movimientos Voluntarios: Las personas son conscientes de su realización.
- Movimientos Involuntarios: Las personas no son conscientes de que se están realizando.

#### **2.4.1 Movimientos Involuntarios**

- Movimientos compensatorios: Son movimientos reflejos que involucran la participación coordinada de ambos ojos y son un mecanismo de fijación del campo visual ante movimientos de la cabeza o del tronco.
  - Movimientos vestíbulo-oculares: mantienen fija la imagen sobre la retina aún cuando la cabeza este en movimiento.
  - Movimientos opto-cinéticos: complementan el efecto de los anteriores manteniendo fija la imagen en la retina y son contrarios a los movimientos de la cabeza.
- Micro-movimientos de fijación: Cuando el ojo se fija en un punto específico se producen micro-movimientos de naturaleza involuntaria, los cuales tienen una amplitud inferior a  $1^\circ$ , y cuya tarea es situar la imagen lo más exactamente posible sobre la fóvea.
  - Los drifts: son movimientos lentos, con un desplazamiento que alcanza los  $0.1^\circ$  / segundo.
  - Los flicks: son rapidísimos movimientos micro-sacádicos. Su amplitud alcanza  $1^\circ$  de ángulo visual, y cada repetición de este micro-movimiento se produce en intervalos de unos 20 a 30 milisegundos, aproximadamente.
  - Los tremors: son pequeñísimos movimientos de temblor o vibración del ojo, los cuales se presentan durante sus momentos de fijación, con frecuencias de entre 30Hz-150hz.
  - Los nistagmus: Son movimientos rítmicos donde los ojos pueden oscilar en forma horizontal, vertical, rotatoria o mixta y los movimientos son más rápidos en una dirección que en la opuesta. Este tipo de movimiento se presenta cuando la persona mira fijamente un objeto que se desplaza.

#### **2.4.2 Movimientos Voluntarios**

- Movimientos oculares sacádicos: Son movimientos reflejos rápidos que se presentan desde el nacimiento de la persona. Tienen por función permitir desplazar la mirada de un punto de fijación a otro dentro del

campo visual, de acuerdo a la ubicación de los objetos que se desean enfocar y situar su imagen sobre la fovea de la retina. Durante su ejecución se presenta un fenómeno denominado Supresión Sacádica, el cual consiste en que mientras se produce el movimiento hay una interrupción en el flujo de información visual que se transmite al cerebro, quedando así un minúsculo instante en que se presenta un punto ciego en la visión. Luego se muestran más características de este tipo de movimientos.

- Movimientos lentos de seguimiento: Estos movimientos aparecen entre los 4 o 5 meses después de nacer la persona. Su función es mantener en la fovea la imagen de los objetos que están en movimiento y que se desplazan con lentitud. La velocidad de estos movimientos está entre  $1^\circ/\text{Segundo}$  y  $30^\circ / \text{segundo}$ . En sí, no son movimientos totalmente voluntarios pero se puede llegar a tener control sobre ellos mediante entrenamiento.
- Movimientos giratorios: Con estos movimientos se mantiene la alineación de ambos ojos para enfocar los objetos que se encuentran a diferentes profundidades dentro del campo visual.
  - Movimientos de vergencia: Este tipo de movimiento involucra el movimiento de los ojos en direcciones opuestas. Tiene como tarea fijar la imagen del objeto enfocado sobre ambas retinas, con lo cual se obtiene una única imagen fusionada. Hay dos tipos de movimiento de vergencia: movimientos de convergencia y de divergencia. En el primer tipo el enfoque de ambos ojos se lleva en dirección a la nariz y ocurre cuando el campo visual o el objeto enfocado se acerca hacia la persona; en el segundo tipo, el movimiento de cada ojo diverge hacia el exterior, es decir en dirección contraria a la nariz y se presenta cuando el campo visual o el objeto enfocado se aleja de la persona. Tanto la convergencia como la divergencia llegan a alcanzar una velocidad de hasta  $10^\circ / \text{segundo}$ .

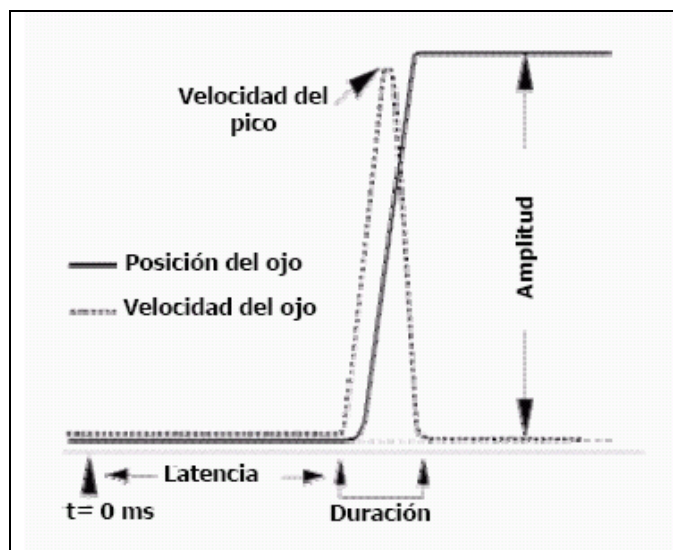
## 2.5 PARÁMETROS DEL MOVIMIENTO SACÁDICO

Como se mencionó antes, los movimientos sacádicos son los encargados de permitir el desplazamiento desde un punto de fijación a otro y están constituidos por lo que se denominan *sacadas*, que son los saltos que se ejecutan para cambiar la posición de la mirada. Aunque son en esencia movimientos voluntarios, también existen movimientos sacádicos involuntarios como los que se realizan durante la fase de sueño REM.

También se mencionó que durante la realización de este tipo de movimientos ocurre lo que se denomina supresión sacádica, es decir que se suspende la captura de información visual hasta que se llegue al punto final de la sacada, como se puede comprobar si se intenta observar el movimiento de nuestros propios ojos frente a un espejo: lo que se puede observar es una imagen estática de nuestros ojos.

Este tipo de movimiento posee ciertos parámetros que son característicos y que se pueden medir:

**Figura 6. Parámetros del Movimiento Sacádico<sup>3</sup>**



- **Amplitud:** Determina el tamaño de la sacada y usualmente se da en grados o minutos de arco. La relación existente entre la amplitud en grados por cada milivoltio en el cambio de potencial entre la cornea y la retina, no es la misma para todas las personas, aunque el rango puede variar entre 5 y 20 $\mu\text{V}/^\circ$ ; algunas personas tienen un cambio de potencial menor que el de otras al hacer el mismo cambio en el desplazamiento de la mirada, sin que eso signifique que haya presencia de alguna anomalía visual en ninguna de las personas. Lo que se puede determinar es que hay una relación lineal entre el desplazamiento de la mirada en grados y la amplitud en milivoltios. Hallar esta relación es importante ya que es la que determina si las sacadas alcanzan la amplitud que se desea o si es más corta o más larga.
- **Gain o Ganancia:** Es la relación existente entre la amplitud que obtiene una sacada y la amplitud deseada. Si esta relación es menor que 1 se

<sup>3</sup> Ibid

dice la sacada es hipométrica, o que es más pequeña de lo que debería ser, mientras que si es mayor que 1 se dice que es hiperométrica, es decir, que es más grande de lo que se desea.

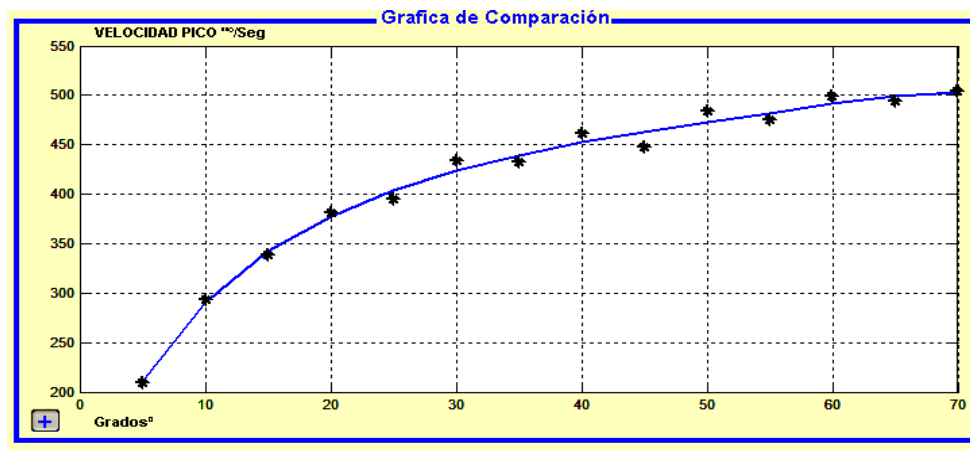
- *Duración*: Es el tiempo que se demora la persona en la realización de la sacada. La duración de una sacada depende de su magnitud y su duración media oscila entre 30 y 120 milisegundos. Lo mismo que sucede con la amplitud en milivoltios, también se puede determinar una relación existente entre la amplitud alcanzada en grados y la duración de la sacada, que esta aproximadamente dada por la siguiente ecuación<sup>4</sup>

$$T=2.2A^{\circ}+21$$

donde T es el tiempo de duración de la sacada en milisegundos y A° es la amplitud en grados.

- *Velocidad pico*: Es la máxima velocidad alcanzada durante la realización de la sacada. La velocidad de estos movimientos se encuentra entre los 20°/segundo y los 700°/segundo, aunque esta última velocidad no es muy común. Se dice que la velocidad pico se alcanza hacia la mitad del recorrido de la sacada<sup>5</sup>, esto no es necesariamente cierto, como se podrá ver en un apartado posterior. La velocidad de una sacada no puede ser controlada voluntariamente por el sujeto que la realiza, pero a menudo es función del nivel de atención que la persona posea. A diferencia de la duración, la velocidad pico no tiene una relación lineal con la amplitud de la sacada, como se muestra en la siguiente gráfica de Amplitud Vs. Velocidad Pico

**Figura 7. Amplitud Vs. Velocidad Pico**



<sup>4</sup> The parameters of eye movement. En <http://www.liv.ac.uk/~pcknox/teaching/Eymovs/params.htm>

<sup>5</sup> Ibid

- *Latencia*: es el tiempo que hay entre la aparición de un estímulo y el inicio de la sacada en respuesta a ese estímulo. Mientras que los demás parámetros se encuentran en rangos relativamente estrechos, la latencia es extremadamente variable y puede ser tan pequeña como 100 milisegundos y tan grande como 350 milisegundos. El tiempo de latencia promedio es de 200 milisegundos. Actualmente la latencia es un parámetro de interés, pues puede ser el indicador de presencia de anomalías cerebrales.

## 2.6 ENFERMEDADES QUE AFECTAN EL MOVIMIENTO DEL OJO

Las enfermedades que afectan al ojo humano se pueden clasificar de acuerdo a las partes o funciones de este que se ven afectadas:

**Tabla 2. Enfermedades del Ojo<sup>6</sup>**

<b>Relacionadas con la Córnea</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Edema corneal</li> <li>• Queratitis</li> <li>• Distrofias corneales</li> <li>• Queratocono</li> </ul>
<b>Relacionadas con la Úvea</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Albinismo</li> <li>• Aniridia</li> <li>• Coriorretinitis</li> <li>• Coloboma</li> </ul>
<b>Relacionadas con el Cristalino</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cataratas</li> <li>• Afaquia quirúrgica</li> <li>• Subluxación del cristalino</li> <li>• Presbicia</li> </ul>
<b>Relacionadas con la Retina</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coriorretinitis</li> <li>• Acromatopsia</li> <li>• Degeneración macular</li> <li>• Desprendimiento de retina</li> <li>• Fibroplasia retrolental</li> <li>• Retinopatía diabética</li> <li>• Retinitis</li> </ul>
<b>Relacionadas con el Interior del Ojo</b>	Glaucoma

<sup>6</sup> Enfermedades del ojo. En: <http://www.pdipas.us.es/a/agujim/2>

<b>Relacionadas con el Nervio Óptico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atrofia óptica</li> <li>• Ceguera cortical</li> <li>• Ambliopía</li> </ul>
<b>Relacionadas con la Movilidad del Ojo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nistagmus</li> <li>• Estrabismo</li> </ul>
<b>Relacionadas con la Refracción Ocular</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hipermetropía</li> <li>• Miopía</li> <li>• Miopía progresiva</li> <li>• Astigmatismo</li> <li>• Anisotropía</li> </ul>

Respecto a las enfermedades que de forma particular alteran la movilidad del ojo, una de ellas es el estrabismo el cual es un trastorno ocular que causa la pérdida del paralelismo entre los ojos, es decir, se afecta la linealidad de uno o de ambos ojos, esto implica que la persona que sufre de esta enfermedad presentará en forma permanente alguna de las siguientes anomalías en su mirada, ya sea en ambos en un solo ojo:

- Ojo(s) dirigido(s) hacia adentro (en dirección a la nariz).
- Ojo(s) dirigido(s) hacia fuera (en dirección contraria a la nariz).
- Ojo(s) dirigido(s) hacia arriba.
- Ojo(s) dirigido(s) hacia abajo.
- Una combinación de varias de las anteriores anomalías

**Figura 8. Estrabismos**



Hay dos tipos de estrabismo, el parálítico y el no parálítico. El primero es la incapacidad que tienen los músculos extraoculares de desplazar el globo ocular en alguno de sus ejes, y puede ser causado por una falla neurológica, una disfunción muscular, un tumor, una infección o una lesión cerebral u ocular. El segundo, se presenta debido a un defecto en cuanto a la posición mutua de los ojos, es decir que la persona no puede mover los ojos en forma simultánea, y solo puede hacer fijación sobre un punto u objeto con uno de sus ojos por separado. El estrabismo no parálítico es de causa hereditaria. Otra enfermedad es el nistagmus, este movimiento involuntario, puede ser un indicador de la presencia de una alteración del movimiento normal del ojo

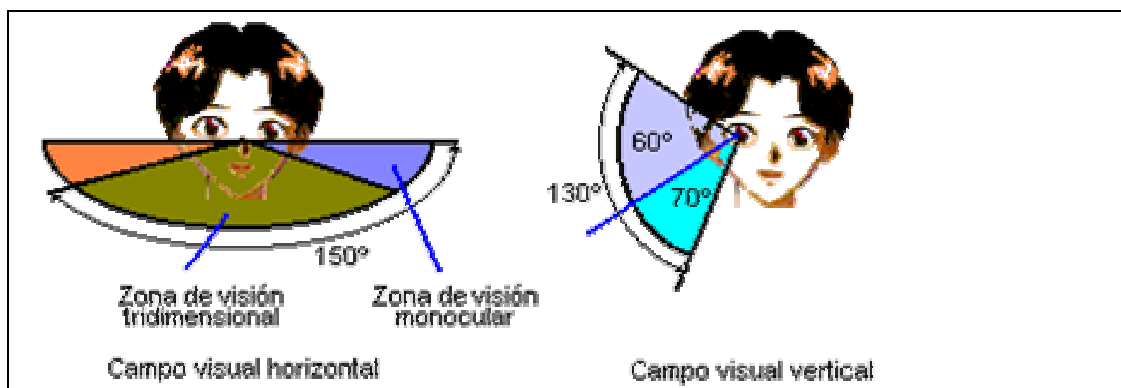
causada, entre otras, por una intoxicación con barbitúricos o por presencia de una enfermedad vascular o neurológica del laberinto vestibular. Por ejemplo, cuando la persona sufre de hemianopsia bilateral se puede observar un tipo de nistagmo denominado de “vaivén” en el cual un ojo se desplaza hacia arriba y otro hacia abajo.

## 2.7 CAMPO VISUAL

Las personas tienen un campo visual para cada ojo. Cada uno de ellos ve aproximadamente  $150^\circ$  sobre el plano horizontal y la superposición de ambos campos visuales abarca los  $180^\circ$ . En el plano vertical sólo se logra abarcar aproximadamente  $130^\circ$ , los cuales se distribuyen en  $60^\circ$  por encima de la línea horizontal y  $70^\circ$  por debajo de la misma. La rotación máxima que pueden alcanzar los ojos de una persona para alcanzar un objetivo es de  $70^\circ$ , luego de los cuales empieza a ser necesario que el movimiento de los ojos sea acompañado por el movimiento de la cabeza y el cuerpo para alcanzar el objetivo final.

El campo visual para cada ojo es de tipo monocular, es decir no se percibe la profundidad. La visión binocular se presenta en la zona en que se superponen los campos visuales individuales de cada ojo. La percepción de la profundidad (vista tridimensional) es concebida cuando el cerebro superpone e interpreta las imágenes que son captadas por cada ojo.

Figura 9. Campo Visual.<sup>7</sup>



<sup>7</sup> Campo visual. En [http://edison.upc.edu/curs/llum/luz\\_vision/p\\_visual.html](http://edison.upc.edu/curs/llum/luz_vision/p_visual.html)

### 3. ELECTROOCULOGRAFÍA

Dentro de los procesos electrofisiológicos que se dan en el cuerpo humano existe uno que se origina en el ojo, más exactamente entre la cornea y la retina. Entre estos dos componentes del ojo existe un potencial eléctrico en reposo, cuyas partes positiva y negativa son constituidas respectivamente por la cornea y la retina. El vector correspondiente al dipolo generado, cambia de dirección a medida que el globo ocular cambia de posición y dicho cambio es medido a través de un método denominado *Electrooculografía* (EOG), cuyo resultado es un registro gráfico llamado Electrooculograma. El origen de este proceso y las características del registro que se genera se verá en el siguiente apartado

#### 3.1 ELECTROFISIOLOGÍA DEL OJO

El proceso de generación de la señal electrooculográfica se da principalmente en la retina, que es el lugar donde se alojan células que son sensitivas a la energía de la luz incidente proveniente del exterior, pero antes de llegar a estas células, los rayos de luz han de pasar a través de las estructuras transparentes que conforman el ojo y la mayor parte de las estructuras celulares de la retina.

Los diferentes tipos de células de la retina están unidas por un ordenado patrón de conexiones sinápticas, lo que permite una organización extraordinariamente ordenada en capas nucleares (capas de cuerpos celulares) y capas plexiformes (capas de conexiones simpáticas)<sup>8</sup>.

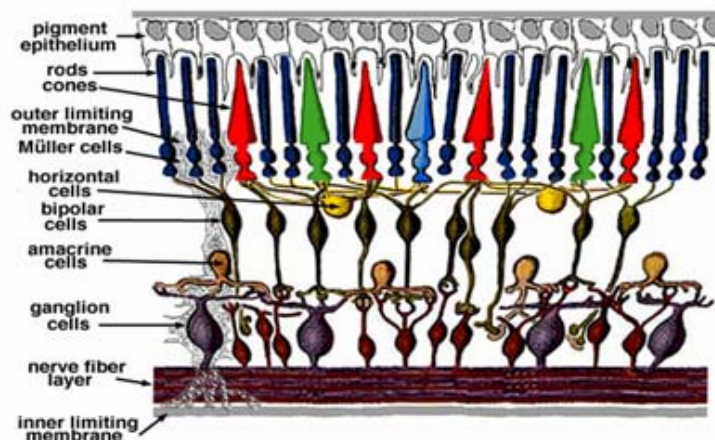
El proceso de generación de la señal electrooculográfica es iniciada en los fotorreceptores de la retina, conos y bastones que son capaces de sintetizar moléculas llamadas *fotopigmentos* sensibles a la energía luminosa, y que son proteínas de membrana capaces de unir un derivado de la vitamina A, el retinal, en su configuración 11-cis. El 11-cis-retinal se convierte en todo-trans-retinal cuando la energía luminosa incide sobre el fotopigmento, desencadenando una cascada de reacciones enzimáticas que acaban generando un cambio en la conductancia iónica de la membrana. A este proceso se le conoce como fototransducción y mediante este, los fotorreceptores son capaces de generar una señal eléctrica o potencial de receptor en respuesta a la luz. Un fotorreceptor es capaz de transducir la

---

<sup>8</sup> DE LA VILLA, P. Fisiología de la retina. En: <http://www.ucm.es/info/fgu/foro/pvilla.pdf>

energía de un simple fotón (cerca de  $4 \cdot 10^{-12}$  erg) en una reducción pulsada de corriente axial de cerca de 1pA permaneciendo cerca de un segundo con una energía equivalente de  $2 \cdot 10^{-7}$  erg. Así, un fotorreceptor sirve como un fotomultiplicador con una ganancia de energía de algunas  $10^5$  veces.<sup>9</sup> El potencial de receptor consiste en una señal hiperpolarizante que será conducida a lo largo de la membrana del fotorreceptor hasta su terminal axónica donde conos y bastones establecen conexiones sinápticas con células horizontales y bipolares. En esta terminal axónica se puede regular la entrada de ion calcio que ocasiona una liberación del neurotransmisor glutamato. La cantidad de glutamato liberado en la oscuridad es mayor que el liberado ante estímulos de gran intensidad y se une a receptores de membrana localizados en las dendritas de las células bipolares y horizontales, donde da comienzo el proceso de codificación de la información visual por las neuronas de la retina<sup>10</sup>.

**Figura 10. Composición celular de la retina<sup>11</sup>**



### 3.2 ELECTROOCULOGRAMA

Como resultado de la actividad eléctrica del ojo se puede obtener un registro gráfico denominado Electrooculograma (EOG), que es la representación de los cambios en la diferencia de potencial existente entre la córnea y la retina. No existe un acuerdo entre diferentes autores del rango dentro del cual se localiza la diferencia de potencial registrado entre la cornea y la retina.

<sup>9</sup> LEVICK WR, DVORAK DR (1986): The retina - From molecules to networks. *Trends Neurosci.* 9: 181-5. Citado en <http://butler.cc.tut.fi/~malmivuo/bem/bembook/28/28.htm>.

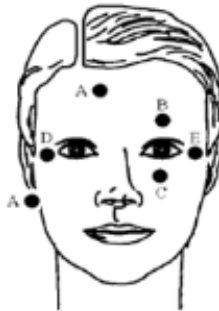
<sup>10</sup> DE LA VILLA, P. Op. cit

<sup>11</sup> Composición celular de la retina. En: <http://webvision.med.utah.edu/imageswv/schem.jpeg>

Algunos autores lo ubican entre 10 y 30 mV<sup>12</sup>, otros entre 50 y 3500 $\mu$ V<sup>13</sup> y otros lo ubican entre 0.4 a 1 mV<sup>14</sup>. Según la experiencia de los autores el rango se puede ubicar entre 10 $\mu$ V y 1.3 mV. El valor mínimo de este rango se da cuando el ojo realiza movimientos rápidos de fijación de la imagen en la retina, que son imperceptibles incluso para la persona que los está realizando, mientras que el valor máximo de este se sucede cuando la persona realiza un desplazamiento de la mirada de aproximadamente 70°.

Para la toma del electrooculograma se utilizan electrodos adheridos a la piel ubicados alrededor de los ojos como se muestra en la figura 11. Para tomar el movimiento vertical de los ojos se utilizan los electrodos B-C mientras que para obtener el electrooculograma de los movimientos horizontales se utilizan los electrodos D-E. El electrodo marcado con la letra A es un electrodo que sirve como referencia y puede ir en la frente o detrás del lóbulo de la oreja.

**Figura 11. Distribución de electrodos para la toma del EOG<sup>15</sup>**



La forma que adopte el electrooculograma depende de los movimientos que realice el ojo y por tanto no tiene una representación única. La señal que muestra un electrooculograma es muy poco determinística e inclusive para una misma persona que realice el mismo recorrido con la mirada una y otra vez, es prácticamente imposible obtener dos electrooculogramas con los mismos valores.

<sup>12</sup> Measurement of Eye Movement Using Electro Oculography. En F:\eog\sacadicos\sacadicos\Stephen Meredith - Measurement of Eye Movement Using Electro Oculography.htm

<sup>13</sup> BAREA R, y otros. System for Assisted Mobility using Eye Movements based on Electrooculography. En [www.depeca.uah.es/personal/barea/electrooculografia/iberdiscap2000.pdf](http://www.depeca.uah.es/personal/barea/electrooculografia/iberdiscap2000.pdf)

<sup>14</sup> The Electric Signals Originating in the Eye. En <http://butler.cc.tut.fi/~malmivuo/bem/bembook/28/2800.htm>

<sup>15</sup> Introducción. En: <http://electronica.eia.edu.co/PROYECTOS/Electrooculografia/principal.htm>

### **3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ELECTROOCULOGRAFÍA**

Como todo procedimiento médico la electrooculografía tiene ventajas y desventajas en su utilización. A continuación se presentan algunas de ellas:

#### **3.3.1 Ventajas**

- Es un procedimiento que no es invasivo y que no genera resultados adversos para los pacientes que se lo practican.
- Es un examen de bajo costo frente a otras técnicas.
- Es de corta duración y muy fácil de ejecutar por parte del paciente.
- No es incómodo de realizar.
- Se puede realizar en diferentes condiciones de iluminación, inclusive en la oscuridad y/o con los ojos cerrados.

#### **3.3.2 Desventajas**

- Los electrooculogramas resultantes rara vez son determinísticos inclusive para la misma persona.
- Las señales son tan débiles que se ven afectadas por múltiples factores que alteran los valores obtenidos. Dentro de estos factores están la ubicación de los electrodos, el contacto piel-electrodo, la presencia cercana de objetos metálicos o electrónicos, movimientos de la cabeza o de la cara, parpadeos, desatención de los sujetos, etc
- Los valores obtenidos se ven alterados por las condiciones de luz en las que fue tomado el electrooculograma. En la oscuridad los valores son menores que en condiciones normales de iluminación.
- Los electrooculogramas pueden estar interferidos por otro tipo de señales biológicas generadas en el cuerpo como electroencefalogramas (EEG) y electromiogramas (EMG).

### **3.4 APLICACIONES DE LA ELECTROOCULOGRAFÍA**

Las aplicaciones de la electrooculografía han venido en aumento tanto en el ámbito tecnológico como en el médico. Es así como en la parte tecnológica se encuentran dispositivos electrónicos que son controlados por los movimientos de los ojos de las personas con discapacidades en su sistema motor (personas cuadripléjicas), como sillas de ruedas o cursores de ratones de computador<sup>1617</sup>.

---

<sup>16</sup> BAREA R y otros, Op cit.

<sup>17</sup> Teobioingeniería. Em <http://www.teobioingenieria.com.ar/interfaces.htm>

En el ámbito médico las aplicaciones de la electrooculografía se dan especialmente en el campo de detección de enfermedades del sistema visual, en el área de la asociación de alteración de las funciones motoras del ojo con la presencia de enfermedades mentales y en el diagnóstico de trastornos del sueño. En el primero de estos campos con la ayuda del electrooculograma se pueden identificar enfermedades de carácter visual como las siguientes <sup>18</sup>:

- Distrofia macular viteliforme de Best: En esta enfermedad, el aumento a la luz del EOG está reducido o es inexistente.
- Distrofia en alas de mariposa
- Portadores de distrofia macular viteliforme de Best
- Portadores de retinosis pigmentaria
- Portadores de coroideremia
- Distrofia reticular de Sjogren
- Distrofia macrorreticular
- Distrofia viteliforme del adulto
- Drusas dominantes (familiares)
- Distrofia macular fundus-flavimaculatus juvenil de Stargardt

En cuanto al uso de la electrooculografía en la práctica neuropsiquiátrica, está enfocada a la detección de alteraciones de los movimientos oculares relacionadas con la presencia de enfermedades como <sup>19</sup> :

- Demencias
- Esquizofrenia
- Diskinesia tardía
- Depresión
- Epilepsia
- Efectos de la medicación neuroléptica

La electrooculografía (EOG), junto con la electroencefalografía (EEG), la electromiografía (EMG), la electrocardiografía (ECG) y otras, hace parte de un conjunto de técnicas utilizadas para caracterizar y registrar las etapas del sueño de una persona. Inclusive, las dos etapas básicas del sueño de una persona adquieren el nombre de acuerdo con la rapidez o lentitud de los movimientos de los ojos registrados en el electrooculograma: REM (Rapid Eye Movement) y NO REM (Non Rapid Eye Movement). Un buen sueño es aquel en el cual se distribuyen cíclicamente todas las etapas del mismo,

---

<sup>18</sup> En <http://enciclopedia.us.es/index.php/Electrooculograf%EDa>

<sup>19</sup> Revista de Psiquiatría Alcmeon Los movimientos oculares en la práctica neuropsiquiátrica. En [www.alcmeon.com.ar/7/28/alc\\_28\\_01\\_01.htm](http://www.alcmeon.com.ar/7/28/alc_28_01_01.htm)

incluyendo una duración y continuidad adecuadas y suficientes para reestablecer la dinámica de la vida diurna al despertar, es decir que se pueden detectar alteraciones del sueño con el análisis de los diferentes registros obtenidos de una persona mientras está dormida, entre ellos el electrooculograma.

## **4. TRATAMIENTO DE LA SEÑAL ELECTROOCULOGRÁFICA**

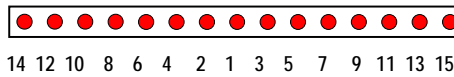
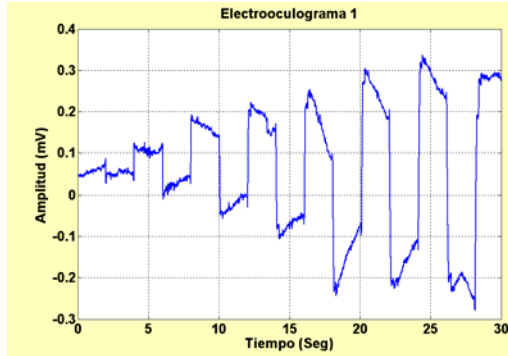
Al igual que sucede con otro tipo de señales, el tratamiento de las señales electrooculográficas consiste de dos procedimientos básicos: filtrado y caracterización. En el primero de ellos se busca dejar la señal original en mejores condiciones para obtener de ella la información que nos interesa, de una manera más fácil. En el segundo proceso se hallan valores de parámetros que la identifican y con los cuales se podrán realizar comparaciones y sacar conclusiones. Pero antes de realizar cualquier procedimiento de los mencionados, se debe conocer las características de las señales con las que se está tratando.

### **4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES ELECTROOCULOGRÁFICAS**

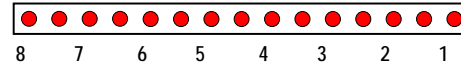
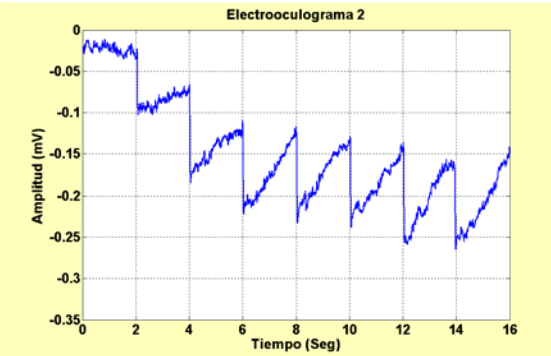
Como se describió anteriormente, a diferencia de otro tipo de señales generadas en el cuerpo humano como las señales electrocardiográficas, las señales electrooculográficas no tiene un forma definida, y su morfología va a estar dada por los movimientos oculares que se realicen al momento de la captura. Es así como pueden existir señales que representen el movimiento realizado por el ojo mientras hace un seguimiento lento u otras que representen movimientos sacádicos, es decir, cambios bruscos en la posición de la mirada, precedidos y seguidos por momentos de fijación. El análisis se centrará sobre este último tipo de señales y en la figura 12 se muestran algunos ejemplos de electrooculogramas que representan movimientos sacádicos horizontales. En la parte inferior de cada electrooculograma se representa una colección de 15 leds y el orden en el que fueron encendidos para generar el estímulo visual que la persona debía seguir y así obtener el electrooculograma correspondiente.

**Figura 12. Algunos Ejemplos de Electrooculogramas**

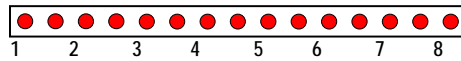
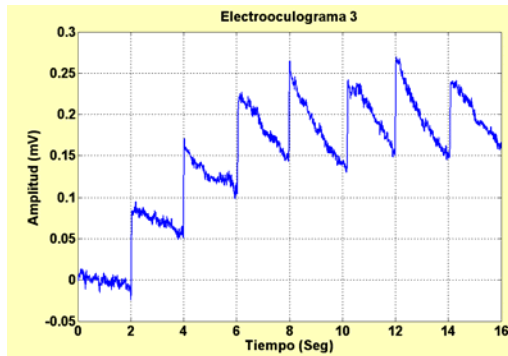
12.a



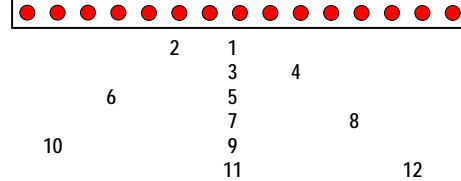
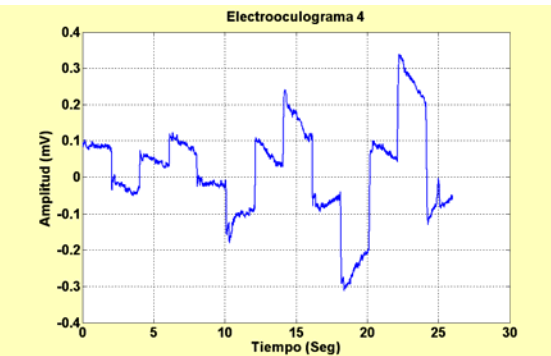
12.b



12.c

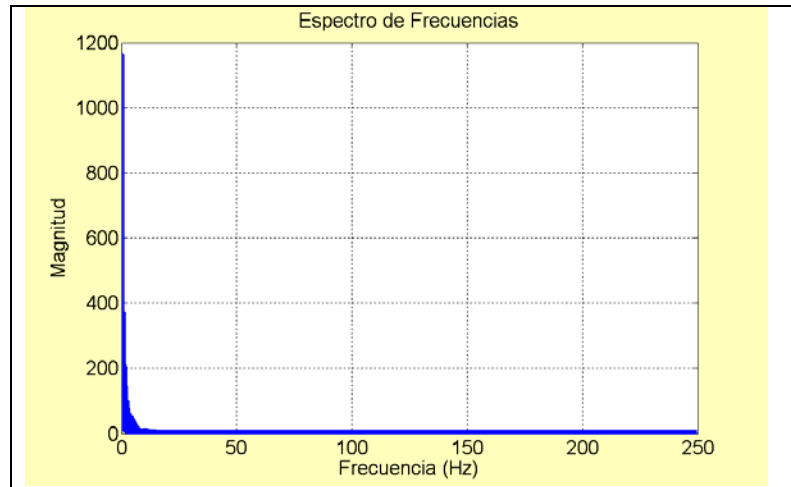


12.d



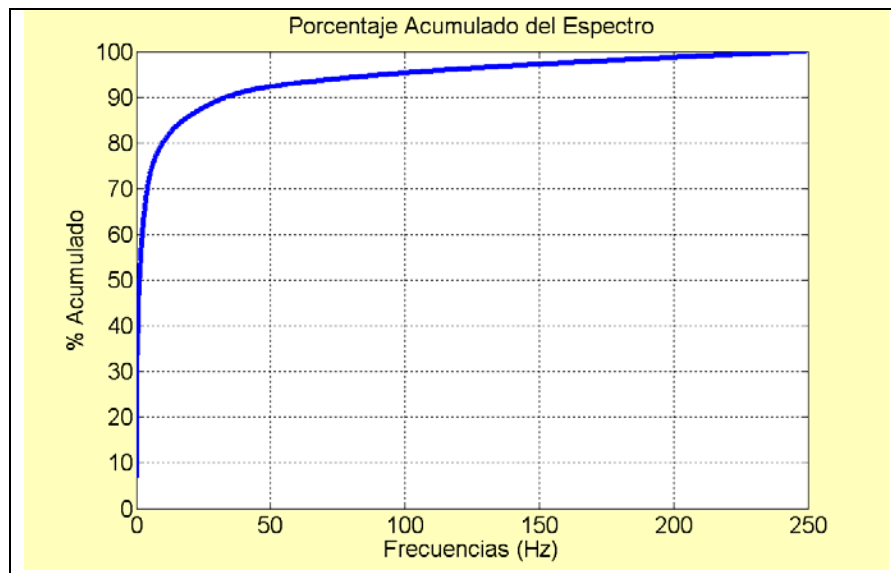
Este tipo de señales electrooculográficas presentan un espectro de frecuencias, donde predominan altas magnitudes en las regiones del espectro correspondientes a las bajas frecuencias, tal y como se muestra en la figura 13 el espectro de Fourier para la señal 12.a; aunque también poseen componentes de altas frecuencias determinadas especialmente por la presencia de las sacadas. Este último aspecto es de vital importancia a la hora de implementar un algoritmo que identifique automáticamente las regiones correspondientes a las sacadas.

**Figura 13. Espectro de Fourier de la señal 12.a**



Si se realiza un análisis del poder espectral de la señal 12a, y en general de cualquiera de las señales de la figura 12, mostrando un diagrama que representa el porcentaje acumulado de las magnitudes del espectro de Fourier, se puede observar que aproximadamente un 90% del espectro está concentrado en un rango muy pequeño de bajas frecuencias, mientras que el restante 10% está distribuido en un amplio rango de frecuencias.

**Figura 14. Diagrama de la Distribución Acumulada del Espectro de Fourier de la Señal 12.a**



La anterior característica de la señal electrooculográfica es importante tenerla en cuenta, ya que es útil a la hora de definir las frecuencias límites en

el diseño de filtros apropiados para mantener un determinado porcentaje del espectro de la señal original cuando se realiza el filtrado.

## **4.2 FILTRADO DE LAS SEÑALES ELECTROOCULOGRÁFICAS**

Para el filtrado de las señales electrooculográficas se implementaron algoritmos que utilizan dos técnicas: la transformada de Wavelet y el diseño y uso de filtros equiriple. Veamos brevemente algunas características de cada una de estas técnicas para luego ver cuál fue el uso que se les dio.

### **4.2.1 Transformada de Wavelet**

Es imposible hablar de la transformada de Wavelet sin hablar de la transformada de Fourier, puesto que es su referente en cuanto a las ventajas y desventajas que tiene la transformada de Wavelet.

La teoría de Fourier dice que toda señal puede ser expresada como una sumatoria, posiblemente infinita, de senos y cosenos, El resultado de esta transformación tiene una resolución en frecuencia, pero no en el tiempo, es decir, nos puede indicar cuales son las frecuencias presentes en la señal, pero no su ubicación en el tiempo.

Una de las soluciones que se le ha dado a este problema es la división de la señal en partes más pequeñas y hacer el análisis de Fourier en cada uno de estos trozos, para obtener de manera aproximada, la ubicación en el tiempo de una frecuencia en particular. Este método, conocido como la transformada de Gabor, es imperfecto, pues la exactitud con la que halle este resultado, estará dada por el tamaño de la ventana, que es el mismo para el análisis de toda la señal.

La transformada de Wavelet lo que busca es crear un ventaneo de tamaño variable, utilizando ventanas de gran tamaño donde solo necesitemos información de bajas frecuencias y ventanas de tamaño más pequeño cuando se desee localizar información de altas frecuencias. El análisis de Wavelet es útil cuando se quieren destacar quiebres y discontinuidades en las señales; esta es la base del algoritmo de identificación de sacadas en una señal electrooculográfica, pues las regiones correspondientes a las sacadas son regiones de altas frecuencias, sumergidas en señales de bajas frecuencias.

Una Wavelet es una onda de corta duración que tiene media cero. El análisis de Wavelet consiste en la descomposición de la señal original en versiones

trasladadas y escaladas de la Wavelet original o *Wavelet madre*. Este proceso es similar al de la transformada de Fourier.

La transformada de Wavelet continua esta definida como la suma sobre todo el tiempo de la señal, multiplicada por versiones escaladas y trasladadas de la función Wavelet madre  $\Psi(t)$ , proporcionando como resultado una gran cantidad de coeficientes C, uno por cada valor de escala y posición de la Wavelet madre.

$$C(\text{escala}, \text{posición}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi(\text{escala}, \text{posición}, t) dt$$

Donde

$$\Psi_{a,b}(t) = a^{\frac{1}{2}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

a= termino de escala y b= termino de desplazamiento

El termino escalada de la función  $\Psi(t)$  hace referencia a qué tan elongada o comprimida se encuentra la función en un momento dado, con respecto a la función madre original, mientras que el termino trasladada se refiere a la posición adoptada por la función  $\Psi(t)$ , respecto a la posición inicial de la Wavelet madre.

#### 4.2.1.1 Transformada de Wavelet discreta

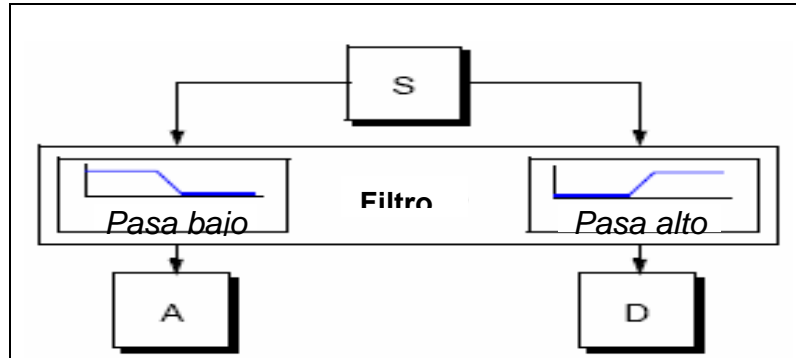
Como se puede observar de la transformada de Wavelet continua, el resultado que se obtiene es una gran cantidad de coeficientes. Como solución al manejo de esta gran cantidad de información, se presenta el uso de la Transformada de Wavelet Discreta, en la cual se eligen solo algunas escalas y posiciones en las que se evalúa la función.

El grupo de escalas y posiciones seleccionadas, a menudo se denominan escala y posiciones diádicas, puesto que están basadas en potencias de dos. Esta selección permite que el algoritmo sea tan eficiente y simple como exacto, aunque esto no indica que no se pueda elegir otro criterio para la elección de las escalas y posiciones.

La forma más eficiente de implementar esta idea, es a través del algoritmo de Mallat, que implementa un esquema clásico conocido como código de subbanda. Este procedimiento consiste en el paso de la señal original a través de dos filtros complementarios, un paso alto y un paso bajo, luego de los cual se obtienen las componentes de alta frecuencia y de baja frecuencia de la señal. Esos componentes a menudo se llaman coeficientes de detalle y

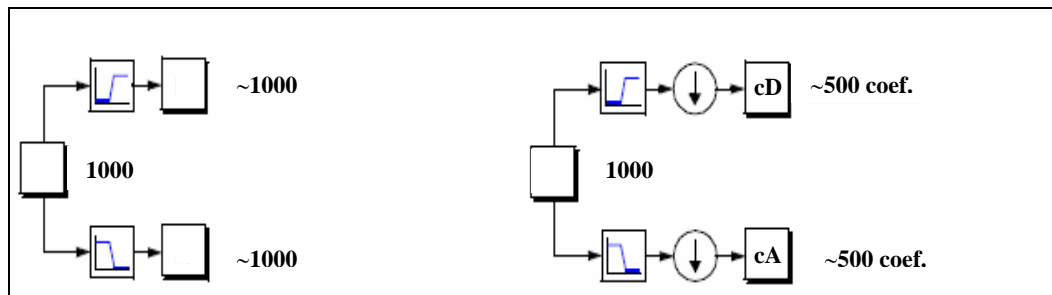
coeficientes de aproximación, respectivamente. Gráficamente se puede ver así:

**Figura 15. Descomposición de Coeficientes de Aproximación y Detalle**



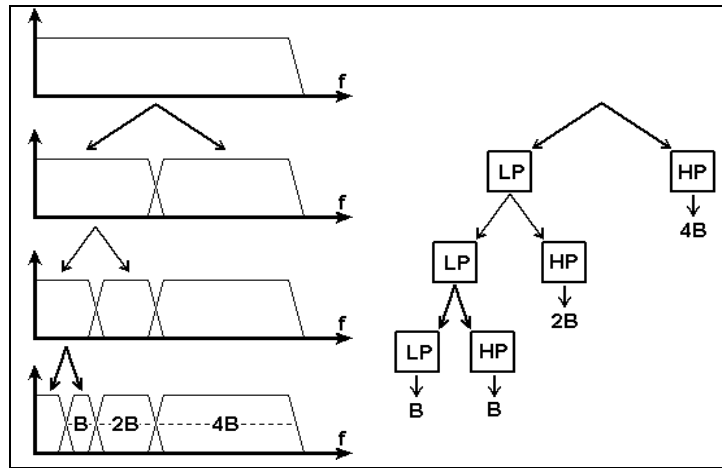
Hay que tener en cuenta que la cantidad de elementos en los coeficientes de aproximación y de detalle, es la misma que la cantidad de elementos de la señal. Por tal motivo se recurre al diezmado (DownSampling) de los coeficientes, que consiste en extraer solo aquellos coeficientes que se encuentren en las posiciones pares o impares de los coeficientes de detalle y aproximación de la señal, reduciendo la cantidad de coeficientes a la mitad.

**Figura 16. Diezmado de los coeficientes resultantes de la Descomposición**



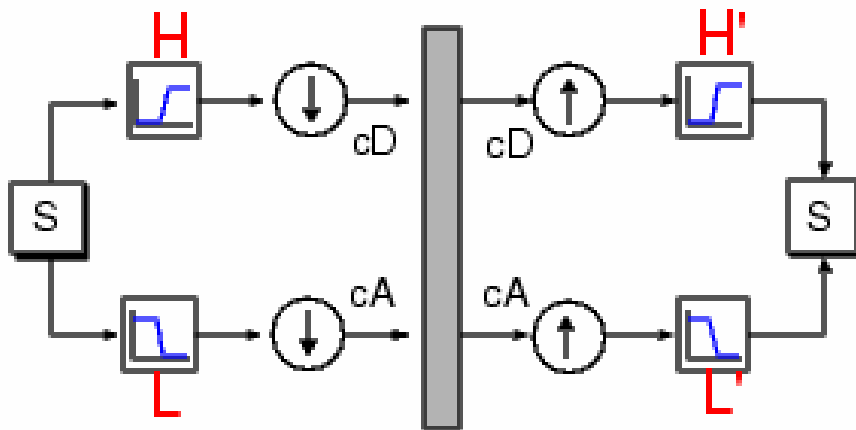
Este procedimiento se puede repetir una y otra vez sobre los diferentes coeficientes resultantes de cada paso por los filtros, realizando una descomposición multinivel similar al que se muestra en la figura 17. Esta figura también muestra qué sucede con el espectro de frecuencia de la señal

**Figura 17. Descomposición multinivel en la transformada discreta de Wavelet**



Así como se puede descomponer una señal en coeficientes de aproximación y de detalle, también se pueden reconstruir las señales a partir de estos dos últimos elementos. Para la realización de este proceso también se necesitan dos filtros de reconstrucción: un paso bajo y un paso alto que, junto con los dos filtros de descomposición, forman lo que se denomina Filtros de Cuadratura Espejo.

**Figura 18. Proceso de descomposición y reconstrucción en la transformada de Wavelet discreta.**



El proceso es inverso al que se realizar para la descomposición. Si los coeficientes han sido diezmados, se realiza la inserción de un valor de cero entre cada muestra y luego se pasan los coeficientes por los respectivos filtros de reconstrucción: los de detalle por el filtro pasa alto y los de aproximación por el filtro pasa bajo.

#### 4.2.1.2 Filtrado de señales electrooculográficas usando Wavelet

Para el filtrado de señales electrooculográficas utilizando la transformada de Wavelet, primero se debe hacer un cálculo del nivel máximo de descomposición aceptado para una señal, de acuerdo con el número de muestras que posea. En la siguiente fórmula se muestra la condición que debe cumplir  $n$  para que sea un nivel aceptado de descomposición

$$\frac{\ln(\text{long}(\text{senal}))}{\ln(2)} \leq n$$

Del listado de niveles permitidos para la descomposición de la señal, se elige un nivel apropiado. Luego se elige un valor de umbral para descartar algunos coeficientes de detalle, que sean menores que este umbral. Los criterios para seleccionar este umbral se pueden observar en la sección de caracterización de señales electrooculográficas, lo mismo que el tipo de umbralización que se desea realizar: suave o blanda.

Una vez se han seleccionado estos parámetros, se invoca a la función *wden* de MATLAB para que descomponga la señal hasta el nivel indicado, luego aplique la umbralización a los coeficientes de detalle de cada nivel y por último reconstruya la señal a partir de los coeficientes de detalle y aproximación obtenidos en cada nivel.

#### 4.2.2 Diseño de filtros pasa bajo por el algoritmo Parks-McClellan

En general, una aproximación de un filtro FIR a un filtro paso bajo ideal, tendrá una amplitud de respuesta como la que se muestra en la figura 19. La respuesta del filtro, difiere de la respuesta paso bajo ideal en 3 aspectos:

1. La banda de paso tienen rizados que se desvían de la unidad por  $\pm\delta_p$
2. La banda de rechazo tiene rizados desviados de cero por  $\pm\delta_s$ .
3. Hay una banda de transición de ancho finito, no cero,  $\Delta F$  entre la banda de paso y la banda de rechazo.

El objetivo del diseño de filtros es minimizar  $\delta_p$ ,  $\delta_s$  y  $\Delta F$ , aunque generalmente no es posible minimizar simultáneamente las 3 variables. La aproximación de Chebyshev es un enfoque a este problema de diseño y, para un filtro paso bajo de fase lineal de orden  $N$ , la amplitud en respuesta está definida como:

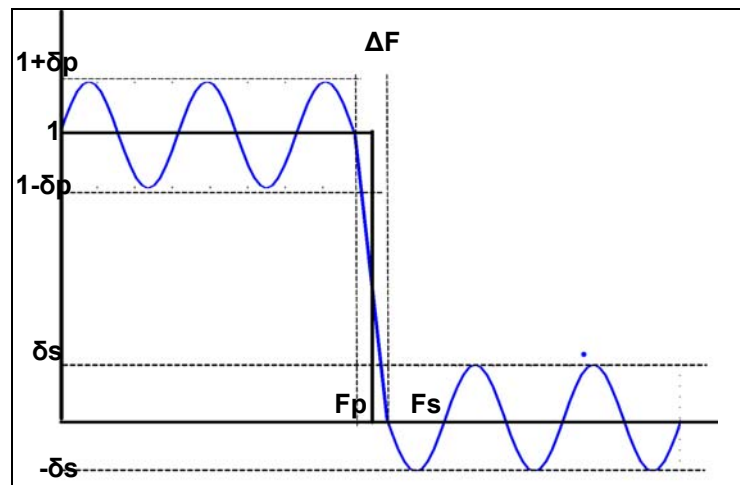
$$A(f) = \sum_{k=0}^{r-1} c_k \cos(2\pi kf)$$

donde  $r=(N+1)/2$  y los coeficientes  $c_k$  son elegidos para producir un  $A(f)$  optima, en el sentido de ser definida de manera corta.

Para el diseño de un filtro pasa bajo, se definen dos frecuencias límites:  $F_p$  y  $F_s$ . La primera es la frecuencia máxima que es aceptada por el filtro y la segunda es la frecuencia mínima se que rechaza. De acuerdo con esto se define la respuesta ideal de un filtro paso bajo de la siguiente manera:

$$D(f) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0 \leq f \leq F_p \\ 0 & \text{si } F_s \leq f \leq 0.5 \end{cases}$$

**Figura 19. Amplitud de la respuesta típica de un filtro FIR pasa bajo**



Con lo anterior en mente se puede definir la aproximación optima de Chebyshev como la que minimiza el máximo error dado por

$$\max |D(f) - A(f)|$$

Sin embargo, este error máximo trata el error de la banda de paso con igual importancia que el de la banda de rechazo. Aunque se puede incluir una función de peso dada de la siguiente manera, para que haga una distinción y dé mayor importancia al error de la banda de paso, o viceversa:

$$W(f) = \begin{cases} 1/k & \text{Si } f \in \text{ banda de paso} \\ 1 & \text{Si } f \in \text{ banda de rechazo} \end{cases}$$

Entonces se puede definir la máxima aproximación de error como:

$$\|E(f)\| = \max W(f) | D(f) - A(f) |$$

con  $f \in$  Banda de paso o a la banda de rechazo.

El objetivo final de la aproximación de Chebyshev es identificar los coeficientes  $C_k$  que minimizen  $\|E(f)\|$ .<sup>20</sup>

#### 4.2.2.1 Algoritmo de Parks-McClellan

El algoritmo de Parks-McClellan, utiliza el algoritmo de intercambio de Remez y la teoría de aproximación de Chebyshev, para diseñar filtros con una forma óptima de respuesta en frecuencia, ubicada entre la deseada y la real. Los filtros obtenidos son óptimos en el sentido que minimizan el máximo error entre la respuesta en frecuencia deseada y la verdadera respuesta en frecuencia, por tal motivo también se les conocen como filtros mínimax. Otra de las características de estos filtros es que tiene un rizado uniforme en las bandas de paso y rechazo, con lo que se conocen también como filtros equiripple.

El algoritmo de intercambio de Remez, sobre el cual se basa el algoritmo de Parks-McClellan, está compuesto de los siguientes pasos básicos:

1. Se realiza una suposición inicial de  $r+1$  frecuencias extremas, que es la cantidad mínima de frecuencias que debe presentar la función error, para que sea la mejor aproximación de Chebyshev.
2. Calcula la función error correspondiente al conjunto candidato de frecuencias extremas
3. Busca para encontrar el extremo (y por lo tanto las frecuencias extremas) de la función error.
4. Adopta las frecuencias extremas encontradas en el paso 3 como un nuevo conjunto de frecuencias extremas candidatas y vuelve al paso 2.
5. Repite los pasos 2,3 y 4 hasta que las frecuencias extremas convergen.
6. Utiliza el conjunto final de frecuencias extremas para calcular los coeficientes del filtro.

Hay que tener en cuenta que la elección de las frecuencias extremas se puede hacer entre todo el espectro, excluyendo las frecuencias que se encuentran entre la frecuencias de paso y la de rechazo. Aún así el número de posibles frecuencias que se pueden elegir es infinito, y por lo tanto se

---

<sup>20</sup> RORABAUGH, C. Britton. DSP Primer. Editorial McGraw Hill. EEUU. 540 páginas. En <http://site.ebrary.com/lib/bibliouis/Doc?id=10015310&pgg=289>

hace necesario crear un número discreto de frecuencias en las cuales hacer la evaluación del algoritmo.

#### **4.2.3 Utilización del Algoritmo de Parks-McClellan en el Filtrado de Señales electrooculográficas**

En la implementación que se hizo de este algoritmo en el filtrado de señales electrooculográficas se realizaron las siguientes consideraciones:

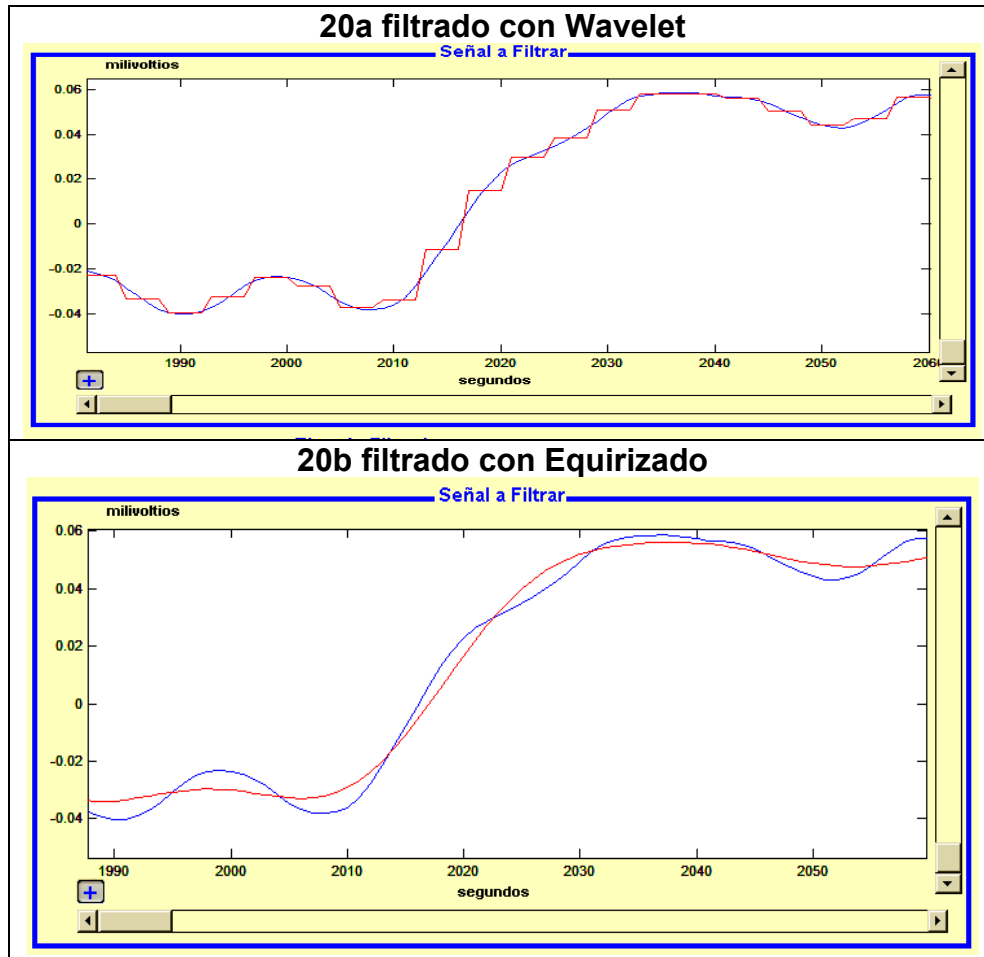
1. La elección de las frecuencias límite,  $F_p$  y  $F_s$ , se hace de acuerdo al porcentaje acumulado de magnitudes del espectro que se desee incluir en el filtro. Por ejemplo, si una señal tomada a 500 muestras/seg, se quiere filtrar dejando el 80% de la magnitud del espectro, se halla la sumatoria del porcentaje que constituye cada una de las magnitudes del espectro, iniciando por la frecuencia cero, hasta que se complete el 80%. La frecuencia a la cual se llega, constituye la frecuencia de paso o  $F_p$  mientras que la frecuencia de rechazo es la siguiente frecuencia en el espectro.
2. El peso que se le dio al error en la banda de paso y al de la banda de rechazo fue el mismo.
3. El porcentaje de desviación del rizado aceptado, en la respuesta en frecuencia, con respecto a la respuesta de un filtro ideal se definió en un 1%.
4. Con los datos anteriores se hizo un cálculo del orden mínimo que debía tener el filtro. Este orden se podía variar si se ampliaba la diferencia existente entre  $F_p$  y  $F_s$ , con lo cual se disminuía el orden del filtro. En ocasiones era necesario hacer esto, pues el cálculo del orden mínimo arrojaba un orden de filtro, con el cual no podía desempeñar el computador las operaciones por falta de memoria. El cálculo del orden mínimo lo realiza MATLAB con la instrucción *firpmord*.
5. Dado el orden del filtro y con las demás características definidas, se hizo el cálculo de los coeficientes del filtro apropiado. MATLAB lo hace mediante la instrucción *firpm*
6. Se procedió al filtrado de la señal, mediante una convolución entre la señal original extendida de manera simétrica en los bordes y los coeficientes del filtro.

#### **4.2.4 Comparación de los Resultados de los Métodos de Filtrado**

En las figuras 20a y 20b se muestran los resultados de filtrar una señal electrooculográfica con Wavelet y con filtro paso bajo equiripple, respectivamente. De las gráficas mostradas, se puede concluir que el filtrado equiripple, produce una onda más suave y sin alteraciones mayores de las regiones correspondientes a las sacadas, mientras que las ondas producidas por el filtrado Wavelet produce una onda escalonada, como es

natural pues la Wavelet madre Haar tiene forma de escalón. En este sentido es mejor utilizar el filtrado equiripple.

**Figura 20. Comparación entre filtros Wavelet y equirizado**



Por otra parte el costo computacional que utiliza el filtrado equiripple es mucho más elevado que el manejado por el filtrado en Wavelet. En ocasiones el tamaño del filtro optimo diseñado para aplicar el filtro equiripple es demasiado grande, tanto así, que algunos sistemas de computo, por más generosas que sean sus características de procesamiento y memoria, no pueden realizar el filtrado de la señal.

Teniendo estas dos perspectivas, si se necesita filtrar una señal electrooculográfica, es mejor utilizar el filtro equiripple, pues deja casi intactas las regiones correspondientes a las sacadas, eliminando bastante ruido de las regiones correspondientes a las fijaciones, aún cuando se demore un poco más en desarrollar el filtrado.

### 4.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS SEÑALES ELECTROOCULOGRAFICAS

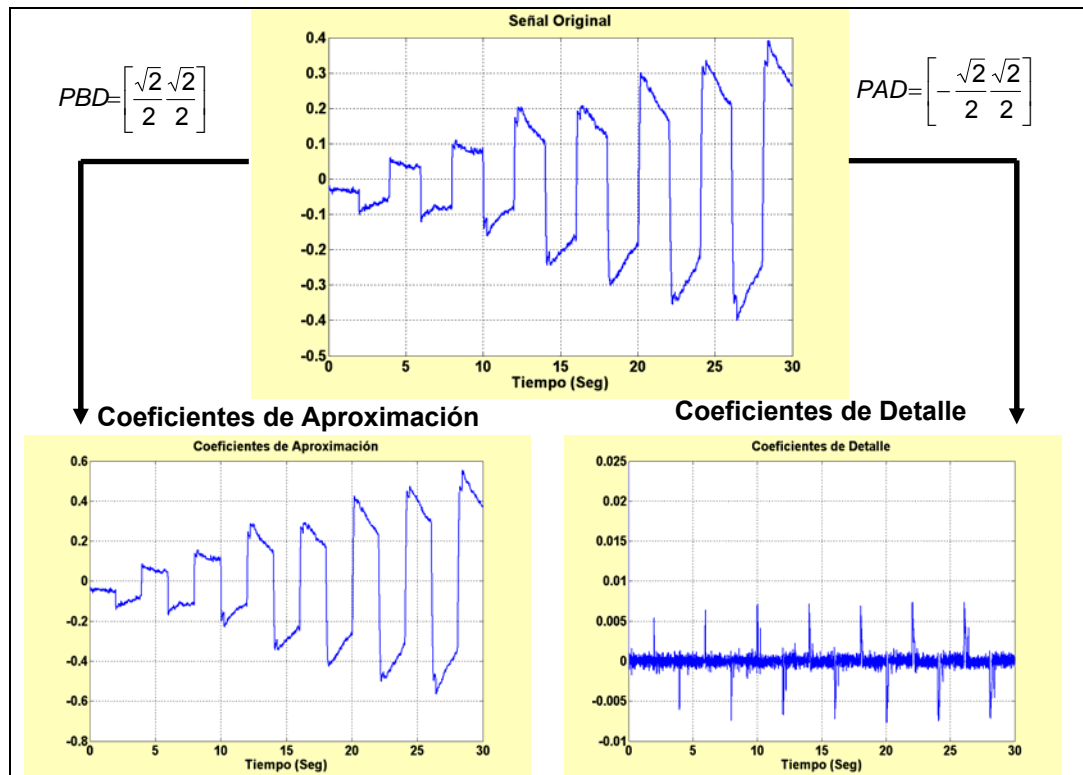
Como se dijo al inicio de la sección, el segundo de los procedimientos realizados en el tratamiento de las señales es la caracterización de los parámetros propios de estas. Puesto que el eje central de este estudio son las señales que muestran movimientos sacádicos, los parámetros que se deben identificar son los correspondientes a este tipo de movimientos, es decir, se debe hallar amplitudes, duraciones, velocidades pico, latencias y ganancias de las sacadas. Pero para hallar los valores de estos parámetros, se debe primero identificar en la señal cuáles son las regiones que corresponden a las sacadas, para lo cual se utilizó la transformada de Wavelet. Aunque en el filtrado eran de mayor utilidad los coeficientes de aproximación, en la caracterización de las señales electrooculográficas tienen mayor importancia los coeficientes de detalle.

Lo primero que se debe hacer es una descomposición de la señal original en coeficientes de aproximación y coeficientes de detalle, utilizando como wavelet madre la wavelet Haar o DB1, pero sin hacer el diezmado de los coeficientes de detalle, es decir, se hace la convolución entre la señal original y los filtros paso bajo y paso alto de descomposición de la wavelet Haar, que están dados respectivamente por los siguientes coeficientes:

$$PBD = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix}$$
$$PAD = \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix}$$

El resultado de las convoluciones de una señal con los filtros PAD y PBD se ven en la siguiente gráfica.

**Figura 21. Resultado de la convolución entre la señal original y los filtros PBD y PAD**



Como se puede observar en la grafica de los coeficientes de detalle, los valores más altos de estos coeficientes se presentan aproximadamente en las regiones donde tienen lugar la sacada. La razón por la cual no se hace el diezmado de los coeficientes de detalle es porque al hacerlo se pueden eliminar coeficientes que pueden dar la ubicación de una sacada.

Después de obtener los coeficientes de detalle, el siguiente paso es la elección de un valor umbral que nos permita eliminar aquellos coeficientes de detalle que son menos representativos, es decir, si el valor absoluto de un coeficiente esta por debajo del valor este umbral se eliminará y solo quedaran los coeficientes que con mayor probabilidad representarán la ubicación de una sacada en la señal. La elección de este umbral se puede hacer utilizando cualquiera de los siguientes criterios:

- Rigrsure: selección del umbral adaptativo usando el principio de de Riesgo Imparcial de Stein
- Heursure: Variante eurística del criterio anterior
- Sqtwolog: Umbral universal

$umbral = \sqrt{2 * \log(n)}$  donde n es la longitud de la señal

- Minimaxi: Umbralización minimaxi de la señal de longitud n

$umbral = 0$  si  $n \leq 30$

$umbral = 0.3936 + 0.1829 * (\log(n) / \log(2))$

Como se puede observar, los valores de umbral arrojados por estos criterios no dependen de los coeficientes a umbralizar, sino que dependen de la longitud de la señal o de la cantidad de coeficientes de detalles que se hallaron. Por tal motivo se hace necesario normalizarlos, o adecuarlos para los coeficientes de detalle obtenidos, mediante la siguiente formula:

$$N\_umbral = umbral * mediana(|coef\_det|) / 0.6745$$

donde coef\_det son los coeficientes de detalles.

Elegido el valor del umbral, el próximo paso es realizar la umbralización propiamente dicha. Esta umbralización se puede hacer de dos formas: suave o dura. En la umbralización suave el valor que tome un coeficiente está dado por la siguiente regla:

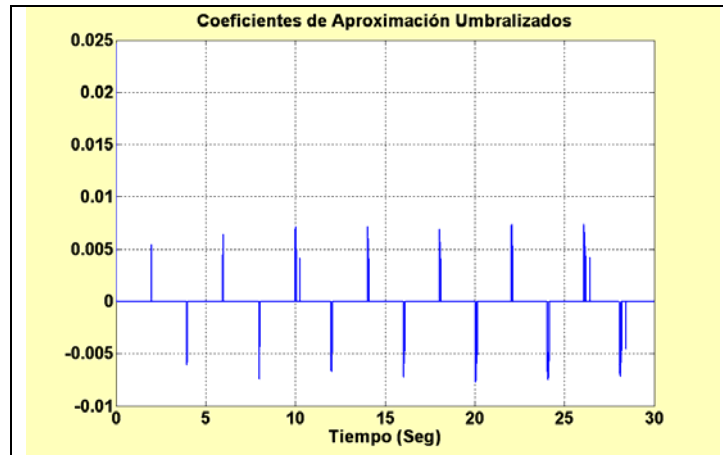
$$\begin{cases} \text{Signo}(coef\_det)(|coef\_det| - N\_umbral) & \text{Si } |coef\_det| > N\_umbral \\ 0 & \text{Si } |coef\_det| \leq N\_umbral \end{cases}$$

La umbralización dura es un poco más restrictiva, y el valor de un coeficiente está dado por esta regla

$$\begin{cases} coef\_det & \text{Si } |coef\_det| > N\_umbral \\ 0 & \text{Si } |coef\_det| \leq N\_umbral \end{cases}$$

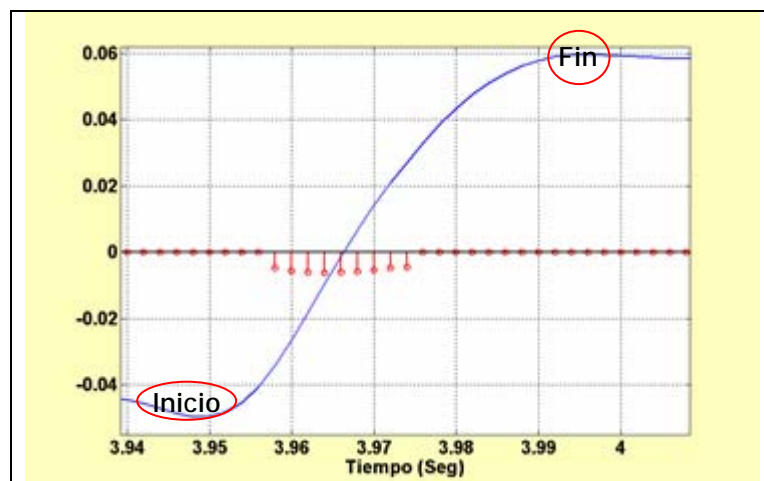
Una gráfica de los coeficientes de aproximación, después de una umbralización suave, se muestra a continuación.

**Figura 22. Coeficientes de aproximación umbralizados**



Como se puede observar solo quedan aquellos coeficientes que indican las regiones de la señal en las que se presentan las sacadas y los demás toman el valor de cero. Cada sacada puede ser señalada por uno o por un grupo de coeficientes, por tanto el siguiente paso es la determinación de la posición de los coeficientes extremos de cada grupo. Estas posiciones indican aproximadamente el inicio y el final de las sacadas, como se muestra en la figura 23. Como estos coeficientes no proporcionan exactamente la posición de inicio y final de la sacada, se hace necesario recorrer la señal desde la posición del coeficiente inferior de cada grupo de detalles hacia atrás, hasta donde haya un cambio de pendiente y ahí se ubica el inicio de la sacada. Lo mismo se hace con el extremo superior de cada grupo y se recorre la señal hacia adelante hasta que haya un cambio de pendiente y ahí se ubica el final de la sacada.

**Figura 23. Sacadas y coeficientes de detalle umbralizados**



Hasta aquí se han determinado las regiones correspondientes a las sacadas. Resta por hallar los parámetros característicos de cada una de las sacadas.

- *Amplitud en milivoltios*: es el valor absoluto de la diferencia entre los valores de la señal en los puntos inicial y final de las sacadas.
- *Amplitud en grados*: una vez se tenga la amplitud en milivoltios se puede hallar su equivalente en grados de desplazamiento mediante la siguiente relación

$$A^{\circ} = \frac{(A_{mV} - 0.00911)}{0.00963}$$

Esta relación fue obtenida al analizar señales electrooculográficas que presentaban sacadas de amplitud entre 5° y 70°, en personas del área metropolitana de Bucaramanga.

- *Gain*: una vez obtenida la amplitud en grados mediante la fórmula anterior, se puede obtener la relación existente entre la amplitud lograda por la persona y la amplitud en grados deseada.
- *Duración*: Es la diferencia absoluta entre la posición final y la posición de la sacada. Esta diferencia se da en unidades de tiempo, por tanto es necesario conocer la frecuencia a la que fue muestreada la señal, para convertir la diferencia en posición a tiempo. Por ejemplo, las señales que se han presentado tienen una frecuencia de muestreo de 500 muestras/segundo; si se encuentra que la diferencia entre la posición final y la inicial de una sacada es de 20 muestras, indicaría que la duración de la sacada es de 0.04 segundos

Para pacientes del área metropolitana de Bucaramanga se encontró la siguiente relación entre amplitud de la sacada y la duración de la misma

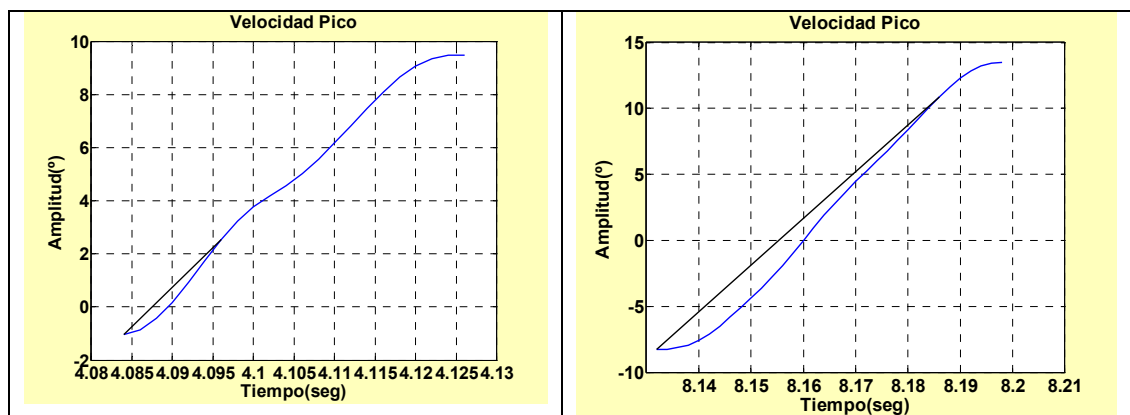
$$T = 2.3A^{\circ} + 22$$

Fórmula muy cercana a la que definieron algunos autores.

- *Latencia*: es el parámetro más difícil de medir. Debe existir una gran sincronización entre el inicio de la toma de la señal y la generación de los estímulos. Para hallarlo, se identifica el tiempo exacto en el que sucedió el estímulo, colocando marcas en el transcurso de la señal y luego se determina la diferencia existente con el tiempo en el que inicia la sacada. Pueden existir diferencias negativas, lo que indicaría posibles adelantos de quien realiza la sacada o problemas de sincronización.

- **Velocidad Pico:** para hallar este parámetro, se hallan las pendientes de las rectas trazadas desde el punto de inicio hasta cada uno de los puntos correspondientes a la sacada y se toma el mayor de estos valores. Aunque la literatura dice que la velocidad pico se presenta hacia la mitad de la sacada, a continuación se muestran algunas gráficas de sacadas que muestran que esto no siempre es así. Las rectas que acompañan las sacadas indican cual es el punto con mayor pendiente.

**Figura 24. Sacadas y velocidades pico**



Una vez obtenidos los parámetros de cada señal se pueden guardar en la base de datos para su posterior análisis.

## **5. LA ESQUIZOFRENIA**

La Esquizofrenia es una de las enfermedades mentales más graves. El pico de incidencia es en la adolescencia o en adultos menores.

Los síntomas que se presentan en la esquizofrenia no son exclusivos de ella, pueden registrarse también en otros tipos de enfermedades mentales; esta es una de las razones por las cuales su diagnóstico es bastante difícil para el médico no especialista. Los síntomas que generalmente se presentan se dividen en síntomas positivos y síntomas negativos

### **5.1 SÍNTOMAS POSITIVOS**

La palabra “positivos” no se refiere a que sean buenos o de beneficio para la persona, más bien se refiere a que los síntomas que presenta la persona con esquizofrenia son cosas que estas hacen o experimentan, que otras personas sin la enfermedad, no suelen hacer ni experimentar.

En estos síntomas la persona puede escuchar sonidos, ver cosas o personas que no existen, palpar o percibir sensaciones corporales que no son reales. En algunas ocasiones hasta puede llegar a saborear u oler cosas extrañas o que nadie más percibe. Otra forma en que distorsiona la realidad es cuando tiene ideas de persecución, está totalmente convencida de que quienes lo rodean tienen intenciones de lastimarla o que les es desagradable. Piensa que otras personas controlan sus pensamientos o le dan órdenes por telepatía.

Dentro de los síntomas positivos también se presentan alteraciones en el lenguaje y la comunicación, la persona inventa palabras o hace combinaciones incoherentes de varias de ellas. No sigue un hilo lógico para expresar sus ideas, cambia repentinamente el tema de una conversación, sin que el nuevo tema tenga conexión alguna con el anterior. La persona también suele contestar cosas que no corresponden a lo que en realidad se le ha preguntado. Lo anterior muestra la desorganización y fragmentación del pensamiento de las personas enfermas.

También pueden llegar a tener comportamientos totalmente atípicos, como por ejemplo desnudarse en público, realizar poses anormales, gestos

extraños o expresiones faciales que pueden estar totalmente fuera de contexto.

## **5.2 SÍNTOMAS NEGATIVOS**

Estos síntomas hacen referencia a las actividades y reacciones que tienen las personas sin la enfermedad y que la persona enferma ya no tiene.

La enfermedad puede llevar a la persona a volverse emocionalmente plana, es decir, no tiene ninguna reacción ante los eventos que ocurren a su alrededor, ya sean estos alegres, tristes, o de cualquier otro tipo. O por el contrario la persona puede experimentar emociones o estados de ánimo que no corresponden al evento ocurrido, por ejemplo estar eufóricamente alegre en un evento triste como puede ser el funeral de un familiar querido.

En la mayoría de las veces, al presentarse síntomas negativos, la enfermedad disminuye la capacidad de trabajo, la iniciativa, la voluntad, la vitalidad, la agilidad mental y el auto-sostenimiento de la persona, pudiendo esta adoptar un comportamiento apático, huraño y/o aislado.

Estos síntomas son uno de los principales inconvenientes de la enfermedad ya que llevan a la alteración de las relaciones sociales, familiares y laborales.

Como se dijo anteriormente es difícil diagnosticar la esquizofrenia ya que los anteriores síntomas, tanto positivos como negativos se pueden presentar en otras enfermedades mentales. En cuanto a los síntomas positivos, estos también se presentan en personas que presentan dependencia a sustancias principalmente estimulantes como la cocaína o anfetaminas.

Las personas no suelen presentar todos los tipos de síntomas a la vez, pueden desarrollar solo algunos de los síntomas positivos o solo algunos de los negativos, o una combinación de síntomas de ambas categorías.

## **5.3 CAUSAS DE LA ENFERMEDAD**

Aunque aún no se sabe con certeza la causa definitiva de la esquizofrenia, su presencia se atribuye a los siguientes factores:

### **5.3.1 Factores Bioquímicos**

Las personas esquizofrénicas tienen una alteración en sus niveles de dopamina y serotonina, las cuales son sustancias neuro-trasmisoras que

están presentes en la neuronas y tienen la tarea de permitir la comunicación entre las mismas. Principalmente se puede presentar un aumento de la dopamina, una falla en su eliminación o un exceso de receptores dopaminérgicos y su consecuencia es la presencia de síntomas positivos ya que debido a la excesiva presencia de esta sustancia, las neuronas transmiten una información incorrecta o alterada de lo que la persona percibe de su alrededor.

Tanto la dopamina como la serotonina están encargadas de que las neuronas trasmitan a la persona las sensaciones de alegría, tristeza, cansancio, nerviosismo, miedo, entre otras. La serotonina también tiene por función regular las horas de trabajo y de sueño del cuerpo humano.<sup>21</sup>

La dopamina en particular se encuentra en las neuronas dopaminérgicas, las cuales están en el mesen-céfalo originando el sistema nigroestriado, el cual está implicado en el control del movimiento. Las neuronas dopaminérgicas también están presentes en la región ventral tegmental y desde allí envían proyecciones a la corteza frontal y al lóbulo límbico, conformando los circuitos meso-cortical y meso-límbico respectivamente. Tales circuitos intervienen en la modulación del afecto, el comportamiento y la cognición, y su mal funcionamiento está muy relacionado con la aparición de síntomas psicóticos.<sup>22</sup>

**Figura 25. Regiones de neuronas dopaminérgicas<sup>23</sup>**



La dopamina y la serotonina están estrechamente ligadas. Experimentalmente se ha demostrado la existencia de fibras serotoninérgicas que inhiben la liberación de la dopamina, mediante los receptores 5-HT<sub>2</sub> que están ubicados en el soma y axón terminal de las neuronas dopaminérgicas. Es decir, la presencia de serotonina regula la producción de la dopamina, y

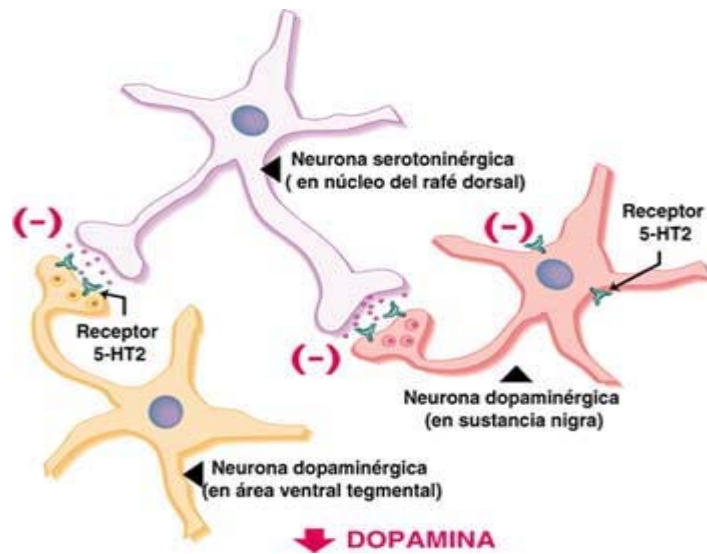
<sup>21</sup> En <http://aula.el-mundo.es/aula/noticia.php/2004/05/20/aula1084984374.html>

<sup>22</sup> En <http://www.iladiba.com/upr/1997/No71997/hm/esquiz2.asp>

<sup>23</sup> Ibid

se ha encontrado que la disminución de la serotonina trae como consecuencia síntomas depresivos, además de problemas con el control de la ira, desordenes obsesivos-compulsivos, el suicidio, el incremento del apetito y trastornos en los ciclos del sueño. Las sustancias como el LSD (ácido lisérgico) a la cual algunas personas se hacen adictas, ocasionan una disminución de la serotonina, con lo cual se presenta un aumento en la producción de dopamina al no estar presente la serotonina para controlar dicha producción.<sup>24 25</sup>

**Figura 26. Relación serotonina-dopamina<sup>26</sup>**



Drogas como la cocaína, la heroína, la marihuana, el alcohol y la nicotina del cigarrillo, disminuyen la recaptura de dopamina en el cerebro, de ahí las sensaciones delirantes o de placidez que experimentan las personas adictas a las sustancias mencionadas.

Si el aumento en la cantidad de dopamina ocasiona síntomas Psicóticos, su disminución en las áreas motoras del cerebro también trae consigo la aparición de la enfermedad de Parkinson, esta se caracteriza por la presencia de temblor, rigidez y enlentecimiento motor.

### 5.3.2 Factores genéticos hereditarios

Las personas que pertenecen a familias en las cuales alguno de sus miembros son esquizofrénicos, están en riesgo de sufrir la enfermedad

<sup>24</sup> En <http://www.psicologia-online.com/ebooks/general/neurotransmisores.htm>.















<sup>25</sup> En <http://www.iladiba.com/upr/1997/No71997/hm/esquiz2.asp>

<sup>26</sup> Ibid

debido a factores hereditarios, aunque esto no indica que obligatoriamente se desarrolle la enfermedad. Estas personas pueden heredar un factor de riesgo de sus padres, abuelos, etc. La enfermedad puede ser desarrollada o no en un determinado instante de sus vidas dependiendo del ambiente en que crezcan, del estilo de vida que lleven, de los niveles de estrés que manejen, y de los sucesos graves o tristes que les ocurran. También pueden desarrollar la enfermedad al producirse cambios hormonales en ellas, por ejemplo al llegar a la pubertad.

A continuación se presentan datos de casos de presencia familiar de esquizofrenia y la probabilidad que se tiene de desarrollarla, obtenidos de estudios que se han realizado en Europa.

**Tabla 3. Promedio de riesgo que tienen los familiares de una persona con esquizofrenia de contraer la enfermedad, recopilado de estudios con gemelares y familiares realizados en Europa entre 1920 y 1987<sup>27</sup>**

<b>Población general</b>	<b>1%</b>	
<b>Cónyuges de pacientes</b>	<b>2%</b>	
<b>Primos hermanos</b>	<b>2%</b>	
<b>Tíos</b>	<b>2%</b>	
<b>Sobrinos</b>	<b>4%</b>	
<b>Nietos</b>	<b>5%</b>	
<b>Hermanastros</b>	<b>6%</b>	
<b>Hijos</b>	<b>13%</b>	
<b>Hermanos</b>	<b>9%</b>	
<b>Hermanos y un progenitor esquizofrénico</b>	<b>17%</b>	
<b>Gemelos dicigóticos</b>	<b>17%</b>	
<b>Progenitores</b>	<b>6%</b>	
<b>Gemelos monocigóticos</b>	<b>48%</b>	
<b>Ambos progenitores</b>	<b>48%</b>	

#### 5.4 TIPOS DE ESQUIZOFRENIA

La esquizofrenia se puede clasificar en cinco tipos de acuerdo a los síntomas que se presenten.

<sup>27</sup> En <http://www.esquizofreniabrelaspuestas.com>

**Tabla 4. Tipos de Esquizofrenia**

Tipo de Esquizofrenia	Descripción
<b>Esquizofrenia Paranoide</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preocupación por uno o más delirios y/o alucinaciones auditivas frecuentes.</li> <li>• No es prominente encontrar síntomas como discurso desorganizado, comportamientos catatónicos y afecto plano o inapropiado</li> </ul>
<b>Esquizofrenia Desorganizada o Hebefrénica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discurso desorganizado</li> <li>• Conductas desorganizadas</li> <li>• Afecto plano o inapropiado</li> <li>• No se cumplen criterios para catatónica</li> </ul>
<b>Esquizofrenia Indiferenciada</b>	Existencia de síntomas de más de uno de los tipos clásicos de esquizofrenia, por ejemplo una combinación de síntomas paranoicos, catatónicos, o desorganizados.
<b>Esquizofrenia Residual</b>	Existe una historia de, al menos, un episodio esquizofrénico psicótico y signos objetivos de la enfermedad y en la que todavía persisten inhibición comportamientos excéntricos, pensamiento ilógico y reacciones emocionales inadecuadas. Sin embargo los síntomas son menos graves que los que presentan las personas clasificadas como psicóticas.
<b>Esquizofrenia Catatónica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inmovilidad motora (flexibilidad cética o estupor)</li> <li>• Aumento en la actividad motora sin propósito alguno</li> <li>• Negativismo o mutismo</li> <li>• Movimientos voluntarios extraños como manierismos, estereotipias o gesticulaciones exageradas</li> <li>• Ecolalia o ecopraxia</li> </ul>

## 5.5 DIAGNÓSTICO DE LA ENFERMEDAD

La esquizofrenia no es fácil de diagnosticar, hay enfermedades tanto mentales como fisiológicas que presentan síntomas que también están en la esquizofrenia. El médico especialista debe realizar ciertos exámenes para valorar si los síntomas que presenta el paciente son debidos a la esquizofrenia o no. Los exámenes que se requieren generalmente en condiciones normales son<sup>28</sup>:

1. Historia detallada del paciente, basada en informes del propio enfermo y de personas allegadas (miembros de la familia, amigos), con el fin de evaluar la personalidad y el funcionamiento global del paciente
2. Examen del estado mental
3. Exploración física, incluida una exploración neurológica detallada
4. Estudio de laboratorio habitual con análisis de bioquímica sanguínea y hemograma

Estos exámenes, en conjunto, pueden dar información al especialista para tomar una decisión y dar un diagnóstico acertado acerca de la presencia de la enfermedad. Si bien no indican en forma definitiva la presencia de la enfermedad, por lo menos ayudan a descartar que los síntomas se estén presentando debido a otras patologías mentales y/o orgánicas.

Aparte de tener los exámenes mencionados como guía, antes de dar un diagnóstico final, el psiquiatra debe esperar un lapso de tiempo de aproximadamente 6 meses a partir del momento en que aparecieron los primeros síntomas, de acuerdo a la información suministrada por el paciente o sus allegados. Si los síntomas se presentan durante el primer mes, se le diagnostica trastorno psicótico breve. En el transcurso de de 1 a menos de 6 meses, al paciente se le da un diagnóstico de trastorno esquizofreniforme, el cual será cambiado por un diagnóstico de trastorno esquizofrénico de alguno de los tipos que se mencionaron anteriormente, siempre y cuando los síntomas persistan después de cumplidos los seis meses.

---

<sup>28</sup> En <http://www.esquizofreniabrelaspuertas.com/esquizofrenia/diagnostico.htm>

## 5.6 TRATAMIENTOS PARA LA ENFERMEDAD

De acuerdo al estado mental en que llegue el paciente a consulta y dependiendo de la severidad con que se estén presentando los síntomas, el especialista puede dictaminar la hospitalización o no del mismo.

Los medicamentos que se prescriben a las personas que padecen de esquizofrenia son fármacos antipsicóticos, los cuales ayudan a controlar los síntomas positivos de la enfermedad, es decir, los síntomas psicóticos de esta, regulando los niveles de dopamina en el cerebro. Sin embargo, estos medicamentos en algunos casos hacen que aparezcan los síntomas negativos de la enfermedad, u otro tipo de efectos secundarios indeseables como por ejemplo, sequedad en la boca, estreñimiento, somnolencia, temblor en las manos, entumecimiento en los músculos, agitación, calambres y rigidez. Uno de los efectos secundarios más graves es la diskinesia, esta consiste en la presencia de movimientos atípicos e incontrolables, como retorcimiento de la boca, la cara y las extremidades, y es irreversible.<sup>293031</sup>

Los pacientes con esquizofrenia, deben consumir estos fármacos prácticamente durante toda su vida, ya que en caso de recaídas de la enfermedad estos medicamentos ayudan a atenuar los síntomas y hacerlos mucho más controlables. Sin embargo la dosis que se formula al paciente puede ser disminuida o aumentada de acuerdo a la respuesta que tenga el paciente al medicamento.

A continuación se presentan algunos de los nombres genéricos de los fármacos antipsicóticos formulados junto con su nombre de marca comercial:

### **Antipsicóticos convencionales:**

- Clorpromazina (Largactil)
- Flufenazina (Prolixin)
- Haloperidol (Halopidol)
- Trifluoperazina (Stelazine)
- Tioridazina (Melleril)

---

<sup>29</sup> En <http://www.psicologia-online.com/colaboradores/esther/esquizofrenia1/index.shtml>

<sup>30</sup> <http://www.multikulti.org.uk/es/health/understanding-schizophrenia/>

<sup>31</sup> En

<http://www.nami.org/Template.cfm?Section=Helpline1&Template=/ContentManagement/ContentDisplay.cfm&ContentID=4633>

- Levomepromazina (Sinogan)
- Pipotiazina (Piportil)
- Propericiazina (Neuleptil)
- Tioproperazina (Mayeptil)

### **Antipsicóticos nuevos o ‘atípicos’:**

- Risperidona (Risperdal)
- Clozapina (Leponex)
- Olanzapina (Zyprexa)
- Quetiapina (Seroquel)
- Ziprasidona (Geodon)
- Aripiprazole (Abylify)

La diferencia entre los antipsicóticos nuevos y los convencionales, está en la mayor efectividad de los primeros para aliviar o disminuir la presencia de síntomas negativos en el paciente.

El cambio de medicación de antipsicóticos convencionales a antipsicóticos nuevos, debe hacerse bajo supervisión estricta del especialista.

En cuanto a la Clozapina, es un medicamento que debe tomarse con bastante cuidado, ya que lleva consigo la disminución de los glóbulos blancos, por esto los pacientes que son tratados con él deben hacerse mensualmente un examen de conteo de plaquetas.<sup>323334</sup>

A parte de seguir el tratamiento con los fármacos recetados por el especialista, el paciente debería asistir a terapias grupales, en las cuales se le proporcionaría una guía para su reintegración a la sociedad, para que afrontara de una mejor forma los síntomas de la esquizofrenia, o las recaídas que tenga. Estas terapias podrían ayudar al paciente a relacionarse de nuevo en forma familiar y laboral, conllevando y controlando al mismo tiempo la enfermedad. Sin embargo, son muy pocos los pacientes que asisten a esta clase de terapias. Entre más tiempo pase la persona ocupada en labores que impliquen esfuerzo tanto mental como físico, más posibilidades tendrá de llevar una vida normal. De lo contrario

---

<sup>32</sup>

<http://www.nami.org/Template.cfm?Section=Helpline1&Template=/ContentManagement/ContentDisplay.cfm&ContentID=4633>

<sup>33</sup> [http://www.fairview.org/healthlibrary/content/ma\\_amitript\\_\\_sm.htm](http://www.fairview.org/healthlibrary/content/ma_amitript__sm.htm)

<sup>34</sup> <http://healthinmind.com/Spanish/drugpagespanish.htm>

la apatía y la pereza mental crecerán, impidiendo así que la persona se reintegre a la comunidad.

## **5.7 EVOLUCIÓN DE LA ENFERMEDAD**

Son muy pocas las personas que se reponen en forma definitiva de la enfermedad, presentando solo un episodio esquizofrénico en toda su vida. La mayoría de los pacientes, llevan un curso de la enfermedad en el cual los síntomas negativos persisten, indicando así una evolución mucho más grave de la enfermedad con el paso del tiempo.

De acuerdo al diagnóstico temprano de la enfermedad, al tratamiento que se le dé, y al esfuerzo que haga la persona por recuperarse, esta puede llegar a una recuperación total, quedar con una perturbación leve, o terminar con una incapacidad grave para desempeñarse en la mayoría de las actividades que una persona sana realizaría sin problema.<sup>35</sup>

## **5.8 ESQUIZOFRENIA Y MOVIMIENTOS OCULARES**

Varios estudios realizados en EE.UU. y artículos publicados indican que puede existir una relación entre la presencia de la esquizofrenia y las anomalías presentadas por las personas en la realización de movimientos oculares y en especial de movimiento oculares sacádicos y movimientos suaves de seguimiento.

Dentro de las características que relacionan las anomalías en el sistema oculomotor con la presencia de esquizofrenia, se tienen las siguientes<sup>36</sup>:

- Los esquizofrénicos tienen lentificada la iniciación y pierden velocidad durante el mantenimiento de los movimientos oculares de persecución.
- Intrusión de macroondas cuadradas y sacudidas mayores de 5° durante los movimientos de persecución; las primeras se superponen al movimiento de persecución; las sacudidas lo interrumpen.
- Las sacudidas pueden ser anormales. Sus latencias son más prolongadas y el movimiento es más dismétrico que en controles normales.
- Hay una alteración en la iniciación y ejecución de sacudidas proposicionales sin blanco.

---

<sup>35</sup> En <http://www.esquizofreniabrelaspuestas.com/esquizofrenia/evolucion.htm>

<sup>36</sup> En [http://www.alcmeon.com.ar/7/28/alc28\\_01\\_03.htm](http://www.alcmeon.com.ar/7/28/alc28_01_03.htm)

- Se comprueba distractibilidad en la prueba antisacádica, lo que no es tan específico como el trastorno de la persecución y aparece asociado a atrofia frontal en la TAC cerebral y/o a diskinesia tardía, pero no se relaciona con la educación, la duración de la enfermedad ni la medicación recibida ni con la presencia de delirio y/o alucinaciones.
- El tiempo de fijación visual está alargado en pacientes esquizofrénicos sometidos a pruebas con figuras geométricas e ilustración de narraciones, tanto más cuanto más severo es el trastorno del pensamiento, siendo el número de fijaciones menor. Estos datos son similares a lo que se observa en pacientes con lesiones frontales derechas.

Varios artículos<sup>37 38 39 40</sup> muestran que existen diferencias entre los movimientos oculares realizados por personas con diagnóstico de esquizofrenia frente a los realizados por personas que no tiene la enfermedad.

La mayoría de los estudios en los cuales se basan estos artículos tiene una metodología similar, en la que se evalúan diferentes tipos de movimientos oculares como seguimiento de estímulos, movimientos sacádicos y movimientos anti-sacádicos, tanto en grupos de personas sanas como en grupos de personas que presentan esquizofrenia, e inclusive en familiares de los pacientes esquizofrénicos.

Como resultados de estas evaluaciones se confirman algunos de los rasgos mostrados anteriormente como característicos de los movimientos oculares de las personas esquizofrénicas. La mayoría de estudios están de acuerdo con que los movimientos oculares de persecución de los esquizofrénicos no son suaves sino que por el contrario presentan la aparición de saltos durante su realización. En la evaluación de los movimientos oculares sacádicos, el resultado que se muestra es que no existen diferencias significativas en los parámetros de amplitud, latencia, duración y exactitud de las sacadas ejecutadas por personas con esquizofrenia respecto a las sacadas realizadas por personas sanas. En la valoración de movimientos anti-sacádicos, es decir, aquellos en los que se les solicita a las persona que dirijan la mirada al lado contrario a donde aparece un estímulo en particular, se encuentran diferencias significativas entre un grupo y otro, en el parámetro correspondiente a los tiempos de latencia, ya que este tiempo es mayor en las personas que tiene la enfermedad.

---

<sup>37</sup> HUTTON, S y otros. The relationship between antisaccades, smooth pursuit, executive dysfunction in first-Episode schizophrenia

<sup>38</sup> BROWNSTEIN J. y otros. Antisaccades performance is abnormal in schizophrenia patients but not in their biological relatives

<sup>39</sup> MANOACH D y otros. Schizophrenic subjects show deficient inhibition but intact task switching on saccadics task

<sup>40</sup> Smooth pursuit and antisaccade eye movements in siblings discordant for schizophrenia

Además, en los movimientos anti-sacádicos, se presenta el hecho de que las personas con la enfermedad, en la mayoría de las ocasiones, no son capaces evitar mirar hacia el lado en el cual aparece el estímulo, para luego hacer el movimiento de la anti-sacada, lo que incrementa aun más el tiempo de reacción del movimiento antisacádico.

## **6. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE EOGEST**

Para el desarrollo de la herramienta computacional, EOGEST, se utilizó la metodología del Proceso Unificado de Desarrollo De Software (PUDS) y para su diagramación y documentación se emplearon algunos de los diagramas del Lenguaje Unificado de Modelado (UML). Esta metodología fue escogida debido a que permite una adecuada distribución del tiempo requerido para realizar las actividades que implica el desarrollo de la herramienta, así como también permite concebir estrategias para la detección y minimización de los riesgos existentes y la verificación iterativa de la funcionalidad de la herramienta.

### **6.1 PROCESO UNIFICADO DE DESARROLLO Y UML**

El Proceso Unificado es una metodología que ha sido desarrollada durante muchos años por Ivar Jacobson, Grady Booch, y James Rumbaugh. Se emplea para la realización de proyectos software de diferentes tamaños y complejidad. Tiene como principal objetivo facilitar la elaboración de proyectos Software mediante un proceso bien definido y gestionado que:

- Proporcione una guía para ordenar las actividades del equipo de trabajo.
- Dirija las tareas de cada desarrollador por separado y de todo el equipo en conjunto.
- Especifique los artefactos que deben desarrollarse.
- Ofrezca criterios para el control y la medición de los productos y actividades del proyecto.

Mediante este proceso los requisitos o necesidades que indiquen los usuarios son convertidos en un sistema software. El proceso unificado se caracteriza fundamentalmente por:

- Estar dirigido por casos de uso.
- Se centra en la arquitectura.
- Es iterativo e incremental.
- Hace la confrontación de los riesgos.

En la realización de un sistema software con la metodología del PUDS, se debe llevar un flujo de trabajo en el cual se realizan las siguientes etapas, estas indican que tan avanzado se encuentra el ciclo de vida del proyecto.

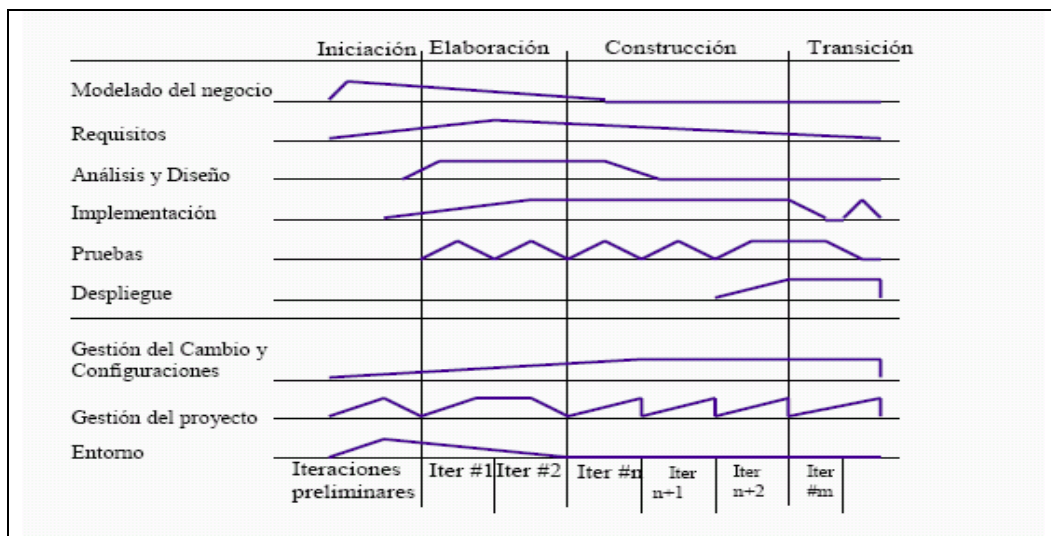
### Modelado del negocio

- Requisitos
- Análisis y Diseño
- Implementación
- Pruebas
- Despliegue
- Gestiones para cambios y configuraciones
- Gestión del proyecto
- Entorno

Estas etapas requieren para su desarrollo, pasar a través de las fases de Inicio, Elaboración, Construcción y Transición. Estas fases se llevan a cabo una y otra vez en forma “cíclica” hasta que finalmente se llega a la versión estable del producto software que se necesita. Algunas etapas se empiezan desde la fase de Inicio y otras empiezan en una fase más avanzada, por ejemplo la de Elaboración, y la cantidad de tiempo que se les debe dedicar, va a depender precisamente de la fase en la cual se encuentren.

Las etapas, las fases de cada una de ellas, el manejo de los ciclos de cada fase, y el tiempo que se debe dedicar a cada etapa, se muestran con mayor claridad en la siguiente figura:

**Figura 27. Ciclo de vida del PUDS**



En las etapas de **Modelado del negocio y Requisitos**, lo que se hace es recolectar toda la información posible, tanto del funcionamiento como de la estructura de la entidad para la cual se va a realizar el proyecto, ya sea esta una persona o una empresa. Se desarrollan tareas con las cuales se pueden capturar con claridad los requerimientos o necesidades que los usuarios finales esperan que el sistema en construcción les ayude a solucionar. Además se hace una primera identificación de los riesgos que se pueden presentar, tanto de parte de la entidad como de los desarrolladores del proyecto.

En la etapa de **Análisis y Diseño**, se hace un estudio detallado de los requerimientos encontrados y se diseña la estructura física y lógica del sistema software, de acuerdo a dichos requerimientos y a la complejidad funcional y estructural de la entidad interesada, además de tener en cuenta los riesgos que se hayan detectado hasta ese momento.

En la etapa de **Implementación** se hace la construcción del software como tal, utilizando las herramientas de Hardware y de Software que se hayan elegido para tal fin en la etapa de Análisis y Diseño.

Las etapas de **Pruebas y Despliegue** están orientadas a verificar el comportamiento y el desempeño del sistema software ya implementado, en un escenario real, es decir utilizado por los usuarios finales. Lo anterior implica detectar posibles errores en el sistema, su corrección y nuevas pruebas. En estas etapas se intenta lograr que el sistema abarque funcionalmente todos los sectores o áreas de la entidad para las cuales fue diseñado, corrigiendo en el menor tiempo las posibles falencias que se hayan detectado y realizando las pruebas de instalación correspondientes.

La **etapa de gestión de cambios y configuraciones** se debe llevar a cabo a lo largo de todo el desarrollo del proyecto, ya que en ella precisamente se hace la gestión de los cambios y las configuraciones o adaptaciones que se van requiriendo para el desarrollo del sistema, conforme se van encontrando detalles que fueron pasados por alto dentro de cada etapa y en cada fase de esta. La gestión se hace ante los usuarios finales y con las directivas de la entidad interesada, por medio de documentos, actas, informes, modelos u otros tipos de artefactos en los cuales se haga constancia de los requerimientos que se deben implementar en el sistema software, o donde se notifique de los planes de contingencia que se emplearan para afrontar los diferentes riesgos y restricciones que se vayan detectando,

En la etapa de **gestión del proyecto** se hace la planeación del cronograma de actividades de los equipos de trabajo que están involucrados en el desarrollo del sistema software, además se hace la asignación de las tareas o sub-proyectos a cada uno de estas equipos, y se define la forma como

serán monitoreadas y ejecutadas dichas tareas. También se plantean los métodos de detección y confrontación de riesgos.

En la etapa de **gestión del entorno** se busca identificar las actividades y estructuras (hardware, software, espacio de trabajo, útiles, papelería, plantillas, documentos y convenciones de la entidad para la cual se está haciendo el desarrollo software) que sean indispensables para llevar a cabo el proyecto.

A continuación se hace la descripción de las fases del PUDS:

### **6.1.1 Fase de Inicio**

Su principal objetivo es obtener un común acuerdo de todos participantes del proyecto, en lo referente a los riesgos, la viabilidad y las metas a alcanzar en el transcurso del ciclo de vida de este. En esta fase se deben definir cuales son la funcionalidades que debe proporcionar el sistema para los usuarios de mayor importancia, al igual que se debe ir estructurando la arquitectura del sistema y como se llevará a cabo la planificación financiera y estructural del proyecto.

### **6.1.2 Fase de Elaboración**

En esta fase se hace el diseño de la arquitectura del proyecto la cual es una vista de todos los modelos que hacen parte del sistema, además se realizan los casos de uso de mayor importancia o más críticos, y con esto se va definiendo la línea base que servirá para interpretar la relación existente entre la arquitectura del sistema Software a desarrollar y el sistema real. En esta fase ya se debe haber previsto una disminución de los riesgos detectados en la fase anterior

### **6.1.3 Fase de Construcción:**

En esta fase se lleva a cabo la creación del producto software de acuerdo a la línea base arquitectónica de la fase anterior y a lo que se ha tenido que ir agregando a esta, conforme avanza el proyecto. Todas las funcionalidades deben haber sido implementadas y preparadas para la fase de transición. En el desarrollo de esta fase se hace énfasis en la administración de recursos, el control de operaciones para la optimizar los costos, la planificación y la calidad que debe tener la versión inicial (*beta*) del producto. Para la verificación de la calidad, se deben haber realizado las pruebas correspondientes, y no se podrá dar curso a la fase de transición mientras las pruebas no sean satisfactorias.

#### **6.1.4 Fase de Transición**

Esta fase se lleva a cabo con el fin de poner en contacto a los usuarios finales con la versión *beta* del producto. Así se da paso a la detección de las falencias que aún tenga el producto y los desarrolladores se encargan de corregir estas, entregando una nueva versión. El desarrollo de esta fase implica el aprendizaje por parte de los usuarios finales de la mayoría de las formas en que pueden dar uso a la herramienta creada. Llegando a esta fase se debe hacer la revisión de los objetivos que se cumplieron y dar inicio a un nuevo ciclo de desarrollo, y el cliente debe hacer la revisión y aceptación de lo que se ha producido y se la entregado hasta ese momento.

Tanto el flujo de trabajo que se lleva a cabo, especificado mediante las etapas, como las correspondientes fases del PUDS las cuales fueron anteriormente descritas, son generalmente documentadas mediante el **UML**.

El Lenguaje Unificado de Modelado (UML), es un lenguaje gráfico que ha sido desarrollado durante años en forma paralela al Proceso Unificado de Desarrollo de Software (PUDS) y es prácticamente indispensable para hacer una buena diagramación, visualización y documentación de los esquemas requeridos en el diseño de sistemas software llevados a cabo mediante esta metodología. Aunque ambos están encaminados a la Programación Orientada a Objetos (POO), los sistemas software realizados con cualquier otro tipo de programación pueden hacer uso, en mayor o menor medida, tanto del PUDS como del UML.

UML consta de una variedad de diagramas con una notación y una semántica que permiten el modelado del sistema, los siguientes son algunos de ellos, agrupados de acuerdo al modelo (perspectiva) del sistema que pueden describir:

### **6.2 MODELO ESTÁTICO O DE DATOS**

Modelo lógico: Describe cuales son y cómo se relacionan entre si los diferentes componentes del sistema, así como los diferentes mecanismos que se necesitan para que estos trabajen conjuntamente.

- Diagrama de casos de Uso.
- Diagrama de Clases.
- Diagrama de Objetos.

Modelo Físico: Por medio de él se define y se describe en donde debería situarse, declararse, y construirse cada componente del sistema, al igual que las tareas que se les deben de asignar.

- Diagrama de Componentes
- Diagrama de Despliegue

### 6.3 Modelo dinámico o de comportamiento:


Describe la evolución dinámica que ocurre en la interacción de los componentes del sistema y su comportamiento ante ciertos eventos.

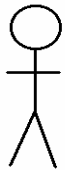
- Diagrama de estados
- Diagrama de actividades
- Diagrama de secuencia
- Diagrama de colaboración


A continuación se presentan los elementos que contienen algunos de los diagramas UML usados para la documentación de proyectos software.

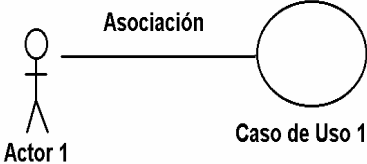
### 6.4 DIAGRAMA DE CASOS DE USO

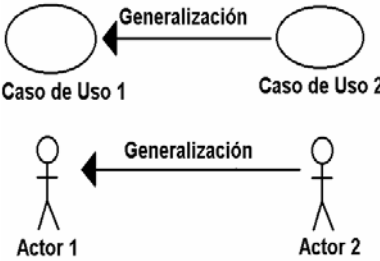
En un diagrama de Casos de Uso se representan los agentes externos más importantes que hacen uso del sistema, y se especifica para cada uno de estos agentes las diferentes actividades que pueden llevar a cabo mediante el sistema desarrollado, o visto de otra forma, las facilidades que el sistema le debe proporcionar a cada uno de estos agentes.

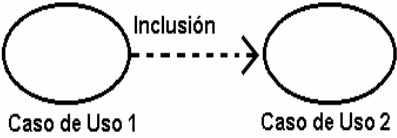
 <p>Caso de Uso</p>	<p><b>Caso de Uso:</b> Es una actividad o trabajo específico realizado por un usuario (humanos o máquinas) o por otro sistema, empleando el sistema desarrollado. La labor que especifica un caso de uso debe ser llevada a cabo en su totalidad, o simplemente no se realiza y debe arrojar un valor de importancia para el usuario. Dentro de la Elipse debe ir un nombre que indique la función que representa.</p>
--	--

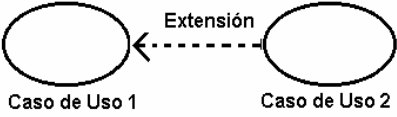
 <p>Actor</p>	<p><b>Actor:</b> Un actor es un usuario del sistema, puede ser un humano u otro sistema computacional o no, que utiliza uno o varios Casos de Uso para realizar un determinado trabajo de importancia para el sistema. A cada Actor se le debe asignar un nombre significativo del agente externo que está representando.</p>
--	---

	<p><b>Sistema:</b> Representa el sistema desarrollado, se le suele colocar el nombre de dicho sistema y dentro de él deben estar los casos de uso que se hayan creado.</p>
---	--

	<p><b>Relación de Asociación:</b> Es la única representación de la relación existente entre el Actor y el Caso de Uso. Un caso de Uso puede estar asociado a varios Actores, y un Actor también puede estar asociado a varios Casos de Uso.</p>
---	---

	<p><b>Relación de Generalización:</b> Con esta relación se representa la “herencia” que transmite el padre al hijo, en el primer ejemplo de la figura, el padre es el Caso de Uso 1 y el hijo el Caso de Uso 2. En el segundo ejemplo el padre es el Actor 1 y el hijo el Actor 2. El elemento padre hereda todas sus características y funcionalidades al elemento hijo, pudiendo tener el elemento hijo funcionalidades y características propias no heredadas.</p>
--	---


	<p><b>Relación de Inclusión (Include):</b> Es una relación de dependencia obligatoria y se emplea para indicar que un Caso de Uso depende de otro Caso, esto quiere decir que las funcionalidades de un determinado Caso son necesarias para llevar a cabo las tareas de otro. Se representa con una línea punteada con flecha la cual se extiende desde el Caso de Uso base hasta el Caso de Uso que se está incluyendo. Con esto es necesario realizar el Caso de uso 2 para llevar a cabo el Caso de Uso 1.</p>
---	--


	<p><b>Relación de Extensión (Extend):</b> Es una relación de dependencia opcional y se emplea para indicar que un Caso de Uso puede llegar a presentar, en un determinado momento, ciertas funcionalidades y características que normalmente no tendría.</p>
---	--


	En este ejemplo el Caso de Uso 2 es una especialización o variación opcional del comportamiento del Caso de Uso 1.
--	--

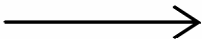
## 6.5 DIAGRAMA DE ACTIVIDADES:


En un diagrama de actividades se representan, precisamente, las actividades o pasos que se deben llevar a cabo para que un caso de uso sea ejecutado.


	<b>Inicio:</b> El inicio del diagrama se representa mediante un círculo de color negro. Y con el se marca el comienzo de las actividades o acciones internas del caso de uso.
---	---


	<b>Fin:</b> El fin de un diagrama de actividad es representado por un círculo, con otro círculo concéntrico de color negro sólido.
---	--


	<b>Actividad:</b> Representa la acción que será realizada dentro del flujo que debe ser llevado a cabo dentro de un Caso de Uso.
--	--

	<b>Transición:</b> Representa el cambio que ocurre de una actividad a otra.
---	---

	<b>Ramificación o Nodo de Decisión:</b> Representa el evento en que se pueden presentar más de una transición al terminar una determinada actividad. La diferencia entre este elemento y el elemento “fork” es que con la ramificación se representa las transiciones “opcionales” (como un evento condicional).
---	--

	<b>Unión (Merge Node):</b> Con esta se representa la fusión de varias transiciones en una sola transición o actividad.
---	--

	<b>Fork:</b> También representa el evento en que después de una actividad, se presentan más de una transición. La diferencia con el elemento “ramificación” consiste en que el fork representa las transiciones “obligadas”, es decir, la actividad debe proceder por dos o más caminos. Debe ser representado por una barra perpendicular a las líneas de transición
---	---

	<b>Join:</b> Representa la fusión de dos o más transiciones provenientes de un fork.
---	--

## 6.6 HERRAMIENTA SOFTWARE EOGEST

La herramienta software EOGEST (ESTUDIOS DE ELECTROOCULAGRAFÍA) a sido diseñada con miras a su uso en un ámbito médico-investigativo, cuya especialidad sea el estudio y/o diagnóstico de enfermedades relacionadas con el sistema visual del ser humano, que puedan ser detectadas mediante el análisis de un examen ocular llamado Electrooculograma. Las ramas de la salud que podrían hacer un uso directo de esta herramienta son la oftalmología y la optometría, aunque existen otras ramas que sin estar dedicadas exclusivamente a la salud del sistema visual, también pueden utilizar la herramienta de acuerdo a la patología que les sea de interés.

Para la definición de los alcances y los casos de uso o requerimientos que debe cumplir el EOGEST, se realizaron las siguientes actividades:

- Curso de informática biomédica tomado en la Universidad Industrial de Santander.
- Aprendizaje en la utilización de la interfaz de adquisición de señales electrofisiológicas BIOPAC MP30.
- Se adquirió destreza en el manejo del dispositivo electrónico Electroestimulador para proponer y ejecutar cambios que proporcionaran una optimización del mismo.
- Consultas bibliográficas en lo referente a la electrooculografía, el tratamiento de señales, y el análisis estadístico de datos.
- Reuniones con especialistas médicos (Psiquiatra, optómetra, oftalmólogo), en las cuales se obtuvo una guía acerca del manejo de los datos en estudios de tipo investigativo, e información particular del área de la salud que maneja cada uno de ellos.

- Recopilación y estudio de artículos en los cuales se describían estudios de investigación acerca de la relación entre la presencia de la alteración de los movimientos oculares y la esquizofrenia.
- Búsqueda y pruebas en el manejo de las herramientas software apropiadas para el desarrollo del software.

La herramienta debe lograr los siguientes alcances:

- Registro, modificación y eliminación de los datos básicos correspondientes a los estudios investigativos que sean diseñados por los especialistas médicos.
- Registro, modificación y eliminación de los datos de las poblaciones o muestras poblacionales que pertenezcan a cada uno de los estudios investigativos.
- Registro, modificación y actualización de los datos de las personas que pertenezcan a cada una de las muestras poblacionales.
- Importación de los archivos con extensión **.txt** de las señales electrooculográficas que pertenezcan a cada una de las personas de una determinada muestra poblacional.
- Asociación de cada uno de los archivos con un registro en la base de datos que indica una señal para su posterior utilización.
- Verificación de las características de la señal electrooculográficas que se desean ingresar, frente a los aportados por el archivo asociado.
- Eliminación tanto de los archivos como de las señales que ya no se necesitan.
- Visualización, caracterización y obtención de valores de los parámetros de las señales electrooculográficas.
- Registro en la base de datos de los valores obtenidos para los parámetros de una señal.
- Filtrado de las señales electrooculográficas que lo requieran, visualizando tanto la señal original como de la obtenida después de aplicar el filtro.
- Reemplazo del archivo original por el archivo de la señal que se ha filtrado.
- Consulta, exportación y/o borrado de los valores de parámetros que se registraron en la base de datos.
- Cálculo de estadísticas de tendencia central y de dispersión para los valores de los parámetros electrooculográficos, ya sea de una muestra poblacional completa o en forma individual para cada persona.
- Análisis del comportamiento de los datos electrooculográficos obtenidos por dos o más muestras poblacionales, con respecto a la distribución Normal de probabilidad estadística y su respectivo análisis de variación.

- Cálculo y graficación del polinomio de regresión lineal correspondiente a la comparación por parámetros entre los valores de los parámetros electrooculográficos.
- Registro y actualización de los datos correspondientes a los parámetros característicos de la señal electrooculográficas.
- Registro y actualización de los datos correspondientes a los recorridos definidos.
- Registro, modificación y eliminación de los datos de la persona encargada de administrar la definición de los recorridos, los parámetros electrooculográficos, y la eliminación de los estudios que estén obsoletos.
- Utilización del software en plataformas de sistemas operativo Windows y Linux.
- El software debe contar con una base de datos que tenga gran capacidad para el almacenamiento de los valores que se obtengan de los parámetros electrooculográficos.
- El desempeño computacional del software debe ser óptimo al momento de la caracterización, filtrado y demás procesos que requieran un alto nivel de rendimiento por parte de la herramienta.

De acuerdo a los alcances que se mencionaron anteriormente, se definieron tanto los usuarios del sistema (actores) como las actividades (casos de uso) que podrán realizar cada uno de ellos al interactuar con la herramienta desarrollada.

<b>Usuarios</b>	<b>Descripción</b>
<b>Especialista Médico</b>	Profesional especializado en algún área de la salud que esté interesado en el análisis de la señal electrooculográfica, para su posterior utilización en el diagnóstico de enfermedades oculares o cualquier otro tipo de patología clínica en el cual se busque una relación con el movimiento de los ojos. Será el encargado de definir las características del estudio investigativo a realizar y hará el registro de los datos del mismo por medio del EOGEST. Tendrá derecho de acceder a cualquiera de las interfaces del EOGEST, excepto a aquellas que necesitan contraseña del usuario Administrador.
<b>Administrador</b>	Profesional experto en el manejo de la interfaz de adquisición BIOPAC MP30 y el Electroestimulador o cualquier otro dispositivo con el cual se realicen los estímulos visuales para la generación de la señal electrooculográfica. Es el encargado de registrar en el

	<p>sistema los datos correspondientes a los recorridos del electroestimulador y los datos de los parámetros de la señal electrooculográfica. Se hará responsable de la eliminación de los estudios de investigación que ya no se estén utilizando.</p> <p>Solo tendrá derecho a las secciones del EOGEST para las cuales su contraseña de administrador le permite el acceso.</p>
<b>Auxiliar</b>	<p>Debe ser una persona con un buen nivel educativo y debe ser adiestrada en el uso de la herramienta computacional. Será la encargada de registrar y actualizar los datos de las personas que pertenecen a las poblaciones de los estudios definidos por el Especialista médico, la importación y asociación a base de datos de los archivos <b>.txt</b> de las señales electrooculográficas, el filtrado y la caracterización de dichas señales, y el registro de los valores de los parámetros obtenidos.</p> <p>También tendrá acceso a las interfaces de análisis estadístico. Solo podrá hacer uso de la herramienta si el Especialista médico ha dado autorización de acceso con la contraseña que él definió para un estudio de investigación.</p>

En el caso del usuario Auxiliar, puede ser reemplazado por el Especialista médico o por el usuario Administrador. Este último solo podrá acceder a las interfaces utilizadas por el usuario Auxiliar, si el Especialista médico a dado autorización de entrada con la contraseña correspondiente.

A continuación se hace la descripción de los casos de uso que se definieron:

<b>Caso de Uso</b>	<b>Descripción</b>
<b>Registro de un Nuevo Estudio</b>	El Software permitirá el registro de estudios investigativos, para lo cual se deben proporcionar al sistema el título, el identificador y la contraseña del estudio. Estos datos deben ser proporcionados por el usuario Especialista médico, quien será el único que pueda abrir de nuevo dicho estudio por medio del identificador y la contraseña.
<b>Registro y Actualización de Datos de las</b>	Un estudio de investigación tiene relacionadas a él las poblaciones o muestras poblacionales, de las cuales se desea hacer la investigación. Para

<b>Poblaciones</b>	<p>hacer el registro de estas poblaciones se deben proporcionar al sistema el identificador y el nombre respectivos de cada una de ellas.</p> <p>El nombre de las poblaciones puede ser modificado cuando sea necesario. Una población puede ser incluida o eliminada del sistema teniendo en cuenta que al hacer esto ultimo, se perderán todos los datos relacionados a ella (personas, registros asociativos de las señales electrooculográficas, valores de parámetros, etc).</p>
<b>Registro y Actualización de Datos de la Personas</b>	<p>Cada población tiene asociadas a ella el grupo de personas que participaron en el estudio investigativo.</p> <p>Para registrar a una persona, se escoge la población a la cual pertenece y se proporcionan al sistema el identificador (por lo general, la cédula de ciudadanía), el nombre, dirección, teléfono, sexo, edad, las observaciones optométricas-oftalmológicas y las observaciones propias del estudio en el que la persona está participando. Con excepción del identificador, estos datos pueden ser modificados en cualquier momento.</p> <p>Al eliminar una persona de la base de datos del EOGEST, se eliminan también los correspondientes registros que relacionan los archivos de las señales y los valores de los parámetros hallados para la persona eliminada.</p>
<b>Abrir un Estudio ya Existente</b>	<p>La utilización del EOGEST se hace en base a las señales pertenecientes a personas de las poblaciones asociadas a un estudio en particular. De este estudio, el usuario Especialista médico, es el único con identificador y contraseña adecuada para tener acceso, sin estos dos datos no se puede hacer uso de la herramienta, a no ser que el acceso se realice por usuario administrador, o que se esté creando un estudio totalmente nuevo.</p>
<b>Registro y Actualización de los Datos de Administración</b>	<p>Al utilizar por primera vez el software, lo primero que se muestra es una pequeña interfaz en la cual se deben ingresar los datos de registro del usuario Administrador, el identificador, la contraseña y</p>

	<p>nombre de este.</p> <p>A excepción del identificador, los demás datos pueden ser modificados, y solo por el mismo Administrador, al entrar al sistema con su identificador y contraseña.</p> <p>Un Administrador se puede auto-eliminar, de tal forma que cuando se vuelva a utilizar el software, este automáticamente, muestre de nuevo la interfaz en la cual se pedirán los datos del nuevo administrador.</p>
<p><b>Importación y Asociación a Base de Datos de las Señales Electrooculográficas</b></p>	<p>Los archivos con extensión <b>.txt</b> de las señales electrooculográficas deben ser importados de la carpeta o medio magnético donde fueron guardados al momento de la toma de la señal. Está importación se hace a una carpeta que se crea con las señales que pertenecen a la persona a que fueron tomadas, y esta carpeta se crea justo en el directorio en que está funcionando el EOGEST.</p> <p>Una vez importadas los archivos de las señales, estos pueden ser asociados a la base de datos, con lo cual se permitirá la consulta y visualización de la señal del archivo asociado, en las interfases de caracterizado, filtrado, y eliminación de las señales que ya no sean útiles.</p> <p>Tanto los archivos como su correspondiente registro de asociación en la base de datos, pueden ser eliminados cuando se crea conveniente.</p> <p>Al momento de realizar la asociación del archivo a la base de datos, se hace la comprobación automática de si el archivo que se desea asociar, corresponde a las características (tipo de recorrido, frecuencia de muestreo, número de repeticiones del recorrido) que el usuario definió para dicha señal en el momento de la toma.</p>
<p><b>Caracterización de Señales Electrooculográficas</b></p>	<p>El software debe identificar las regiones de la señal electrooculográfica que correspondan al movimiento sacadito de los ojos, sin importar el recorrido a que pertenezca dicha señal.</p>
<p><b>Filtrado de las</b></p>	<p>La herramienta permitirá la aplicación de filtros</p>

<b>Señales Electrooculográficas</b>	(Wavelet, Equirizado), con los cuales se hará un mejoramiento de la morfología de la señal, si es que está presenta demasiado ruido, para lograr así unos mejores resultados en la caracterización de la misma.
<b>Manejo de los Valores Electrooculográficos</b>	Una vez hecha la caracterización de la señal, se pueden calcular los valores de los parámetros (Amplitud, Latencia, Duración, ect) de las sacadas que fueron detectadas. Estos valores se pueden registrar o no, de acuerdo al criterio del Especialista médico, en la base de datos con que cuenta el EOGEST. Los valores que sean registrados se visualizarán al momento de su cálculo y mediante consultas. También se podrán exportar estos valores en formato <b>.xls</b> , al igual que podrán ser eliminados cuando se detecten errores en ellos o no sean de utilidad.
<b>Análisis de Estadísticas Para los Valores Obtenidos</b>	De los valores obtenidos de los parámetros, el software podrá calcular el valor de las estadísticas de tendencia central y de dispersión, ya sea en particular para una persona, o para toda una población. Se tiene la opción de realizar el análisis de variación (ANOVA, Kruskal-Wallis, Múltiple comparación) entre dos o más poblaciones pertenecientes a un mismo estudio de investigación. Además se podrá analizar el comportamiento de los valores obtenidos en cuanto a si se acercan a la distribución Normal o no. Todas las estadísticas se calculan en base a los valores obtenidos para un determinado parámetro en una sacada específica.
<b>Visualización de graficas de Comportamiento</b>	Se podrán visualizar las graficas de comparación entre los diferentes parámetros, ya sea para una sola persona o para una población. El software calcula un polinomio de regresión lineal con los valores obtenidos para los parámetros a comparar en todas las sacadas de un determinado recorrido.
<b>Registro y Actualización de los Datos de los Recorridos</b>	Para la utilización de la herramienta, se deben tener definidos los recorridos (secuencias de estímulos visuales) que debe seguir la persona con la mirada para la generación de la señal

	<p>electrooculográfica.</p> <p>Los datos correspondientes a estos recorridos, (identificador del recorrido, tiempo total del recorrido, tiempo de encendido de cada estímulo visual, número de fijaciones e identificador de cada sacada, amplitud de esta y número de sacadas del recorrido) deben ser registrados, algunos por el administrador, otros son calculados automáticamente. Estos datos, a excepción de los identificadores de recorrido y de sacada, pueden ser modificados. Si una sacada es eliminada, los valores de los parámetros calculados para ella, también se eliminarán; si un recorrido es eliminado, todas las sacadas asociada a él se eliminarán y con ellas todos los valores de los parámetros calculados para cada una. Es por esto que el usuario administrador es el único que debe hacerse responsable de esta sección.</p>
<p><b>Registro y Actualización de Parámetros Electrooculográficos</b></p>	<p>Los Parámetros de la señal electrooculográfica, Amplitud lograda, Velocidad Pico, Duración, Latencia, Gain, y Amplitud en milivoltios, deben ser registrados en la base de datos del EOGEST, ya que esto permite hacer consultas rápidas de los valores que se les hayan asignado después de la caracterización de la señal, así como un análisis estadístico por parámetros de dichos valores. De los parámetros se deben registrar, el identificador, el nombre, y las unidades en que se debe expresar. A excepción del identificador, los demás datos pueden ser modificados, pero si se elimina un parámetro, con esto también se eliminarían todos los valores hallados para él, en todas las sacadas de todos los recorridos. Por lo anterior el manejo de este caso de uso también debe ser exclusivo del Usuario Administrador.</p>
<p><b>Eliminación de Estudios</b></p>	<p>Cuando un estudio deja de ser utilizado, o simplemente los datos que existen de él son incoherentes, se hace necesario eliminar el estudio en cuestión, para evitar que la base de datos se congestione o tenga datos basura en su interior. Este caso de uso también es exclusivo</p>

	del Usuario Administrador.
<b>Acceder al Software como Administrador</b>	El administrador del sistema podrá utilizar el software en la secciones de administrador, administración de estudios y manejo de los datos de los recorridos y los parámetros de las sacadas. Solo el administrador debe tener conocimiento del identificador y la contraseña necesarios para utilizar las secciones mencionadas.

Seguidamente se muestran tres diagramas UML de Casos de uso:

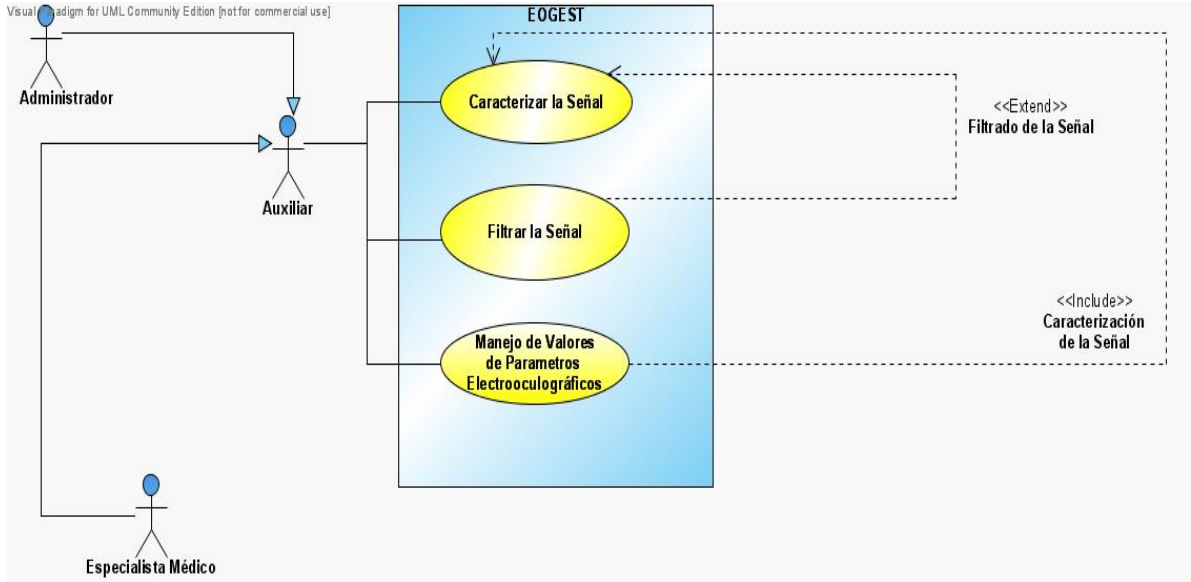
En el primero se muestra el diagrama general de los casos de uso expuestos en la tabla anterior. En el segundo y tercer diagrama se muestran algunos casos de uso y algunas relaciones más específicas que ocurren entre ellos.

En el segundo diagrama se describe que la caracterización de la señal, puede llevar en algunos casos a hacer un filtrado de la misma, pero no siempre es necesario el filtrado. También se muestra en este diagrama que para poder obtener valores de parámetros y su posterior manejo (consultas, exportación, etc), siempre es necesario haber caracterizado la señal, de lo contrario, no se obtendrían valores.

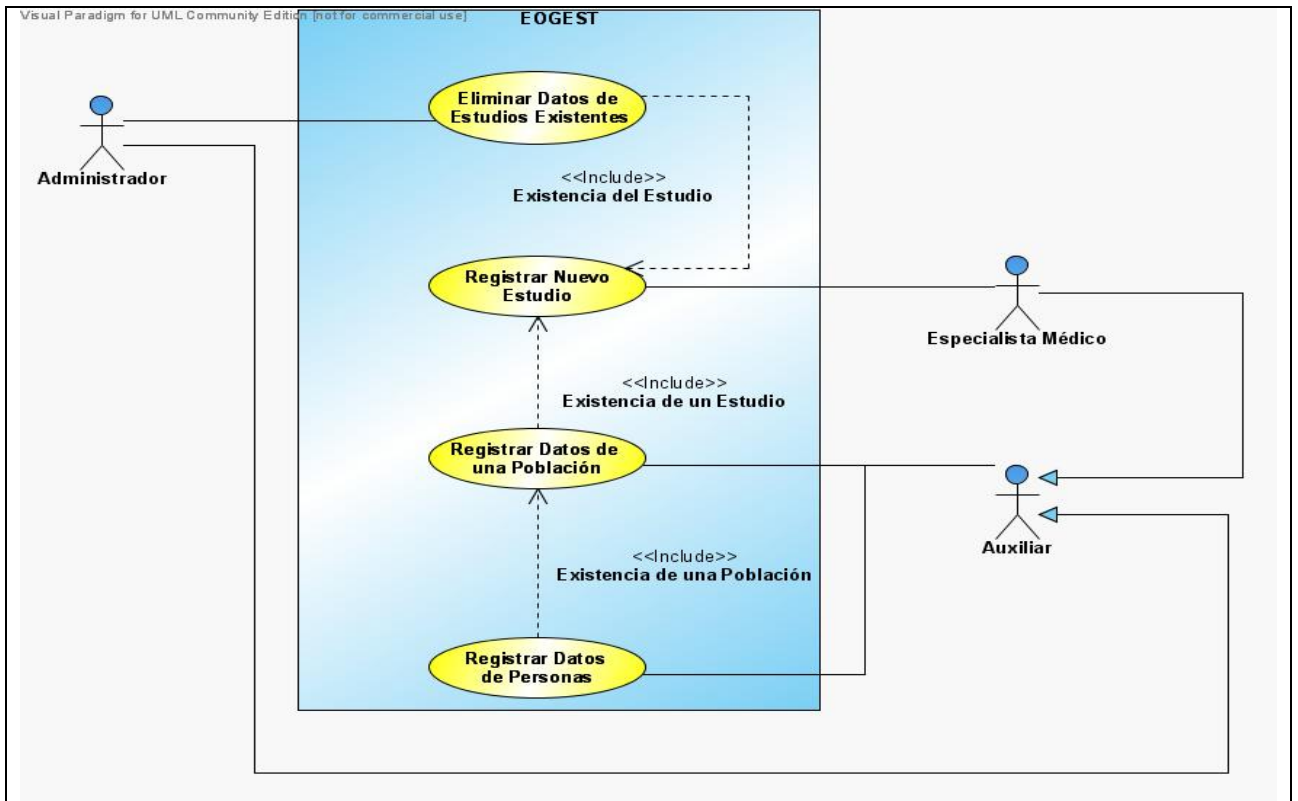
En el tercer diagrama se puede ver como para eliminar un estudio, registrar datos de una población perteneciente a este y registrar personas que pertenezcan a la población, deben haber sido creados con anterioridad tanto el estudio como la población.



**Figura 29. Diagrama de Casos de uso N° 2**



**Figura 30. Diagrama de Casos de uso N° 3**



De acuerdo a los casos de uso que se definieron, se hizo el análisis de las herramientas hardware y software que fueran más indicadas para el desarrollo de EOGEST

## **6.7 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN:**

Se escogió MATLAB 7.2 release 2006a, esta herramienta permite compilar el código de la aplicación en lenguaje C y crear programas ejecutables en plataformas Windows y Linux. MATLAB es una herramienta robusta al momento de realizar cálculos matemáticos cuyos algoritmos son de gran tamaño y complejidad. Además el Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica de la UIS tiene licencia de este MATLAB para desarrollar software de tipo académico.

Se quiso que la aplicación fuera independiente de otro software, para evitar el inconveniente de tener que instalar software adicional que presente problemas de compatibilidad con los sistemas operativos en los que se desee instalar. Con lo anterior se logra que todas las funcionalidades de la aplicación estén integradas y se puedan utilizar en conjunto.

## **6.8 MANEJADOR DE LA BASE DE DATOS**

La elección de MySQL como manejador de bases de datos se hace debido a que:

- Es una herramienta sin ningún costo en su uso
- MATLAB es compatible con el manejo de la bases de datos en MySQL.
- Es un manejador de base de datos multiusuario.
- Es más segura que otras herramientas de gestión de bases de datos
- Es una herramienta que se puede usar en múltiples plataformas
- Ofrece mayor rendimiento en las consultas
- Proporciona mayor capacidad de almacenamiento.

Como herramienta de apoyo al diseño de la base de datos se eligió DBDesigner, ya que es de libre uso. Además, el aprendizaje del manejo de esta herramienta es muy sencillo, por las características de fácil manejo y entorno amigable de la misma.

## 6.9 COMPONENTES EXTERNOS AL DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE

Uno de estos componentes es la unidad de adquisición de señales electrofisiológicas BIOPAC MP30, que aunque no tiene conexión directa con el software, su utilización es indispensable para poder obtener las señales electrooculográficas que pueden ser caracterizadas y/o filtradas mediante el EOGEST.

El otro componente externo es el Electroestimulador, este es un dispositivo electrónico compuesto de una serie de leds cuya secuencia de encendido está controlada por un microcontrolador, en el cual están programadas dichas secuencias o recorridos, los cuales indican los estímulos visuales que deben seguir las personas mientras se hace la toma de la señal con el Biopac. Los recorridos que se registraron en la base de datos, son algunos de los que están definidos en este dispositivo.

En el Electroestimulador la selección de los recorridos y la velocidad de encendido de los leds, se hace por medio de unos switch y un potenciómetro que hace de regulador de velocidad de la secuencia seleccionada.

## 6.10 ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS:

A continuación se presenta la descripción de cada una de las tablas de la base de datos que fue diseñada de acuerdo a las funcionalidades que los casos de uso definidos exigen del EOGEST:

**TAB\_ESTIOS:** En esta tabla se registran los datos de los estudios de investigación que son definidos por el Especialista médico. Los campos que la conforman son:

- IDE\_ESTDIO: Tipo *Varchar* con longitud máxima de 20 caracteres, almacena el identificador del estudio de investigación. Este campo es la llave primaria de la tabla y es no nulo.
- NOM\_ESTDIO: Tipo *Longtext*. Almacena el Título o nombre del estudio, el cual puede ser bastante extenso. Campo no nulo.
- FEC\_CREION: Tipo *Datetime*. Almacena la fecha en que fue creado el estudio en *año-mes-día-hora-minutos-segundo*. Esta fecha es registrada en forma automática por el software, los usuarios no hacen su registro. Campo no nulo.
- FEC\_MODION: Tipo *Datetime*. Almacena la fecha en que fue modificado el estudio en *año-mes-día-hora-minutos-segundo*, ya sea por que se hicieron modificaciones al título, a la contraseña, a alguna de

las poblaciones, o personas que pertenecen al estudio. Esta fecha es registrada en forma automática por el software, los usuarios no hacen su registro. Campo no nulo.

- CON\_ESTDIO: Tipo *Varchar* con longitud máxima de 15 caracteres, almacena la contraseña del estudio que fue definida por el especialista médico. Campo no nulo.

**TAB\_POBNES:** En esta tabla se hace el registro de los datos de las poblaciones asociadas a los estudios creados. Los campos que la conforma son:

- IDE\_POBION: Tipo *Varchar* con longitud máxima de 42 caracteres. Este campo almacena el identificador de las poblaciones asociadas a los estudio y es la llave primaria de la tabla TAB\_POBNES. Campo no nulo
- IDE\_ESTDIO: llave foránea de relación con la tabla TAB\_ESTDIOS. En él se almacena el identificador del estudio al que pertenece una determinada población, Campo no nulo.
- NOM\_POBION: Tipo *varchar* con longitud máxima de 60 caracteres. En este se almacena el nombre de la población asociada a un estudio. Campo no nulo.

**TAB\_SUJTOS:** En esta tabla se hace el registro de los datos de las persona pertenecientes a las poblaciones que se hayan definido. Los campos de que esta compuesta son:

- IDE\_SUJETO: Tipo *Varchar* con longitud máxima de 63 caracteres. En este se almacena el identificador de las personas que pertenecen a las poblaciones de los estudios. Es la llave primaria de la tabla TAB\_SUJTOS. Campo no nulo
- IDE\_POBION: Tipo *Varchar* con longitud de 42 caracteres. En este campo se almacena el identificador de la población a la cual pertenece cada persona y es la llave foránea de relación con la tabla TAB\_POBNES. Campo no nulo.
- NOM\_SUJETO: Tipo *Varchar* con longitud de 60 caracteres. En este se almacena el nombre de las personas. Campo no nulo.
- EDAD\_SUJETO: Tipo *Double*. En este se almacena la edad de las personas. Campo no nulo.
- SEX\_SUJETO: Tipo *Varchar* con longitud de 10 caracteres. En este se almacena el sexo de las personas. Campo no nulo.
- DIR\_SUJETO: Tipo *Varchar* con longitud de 50 caracteres. En este se almacena la dirección de las personas. Campo no nulo.

- TEL\_SUJETO: Tipo *Varchar* con longitud de 20 caracteres. En este se almacena el número telefónico de las personas, este campo puede ser nulo.
- FEC\_INCION: Tipo *Datetime*. En este se almacena la fecha en que fueron incluidos los datos de la persona en la base de datos. Esta fecha es registrada en forma automática por el software, los usuarios no hacen su registro. Campo no nulo.
- OBSNES: Tipo *Longtext*. En este campo se almacenan las observaciones propias del estudio que se presenten en la persona, este campo puede ser nulo.
- OBSNES\_OPT: Tipo *Longtext*. En este campo se almacenan las observaciones de tipo optométrico u oftalmológico que se hallen en las personas, este campo puede ser nulo.

**TAB\_SENLES:** En esta tabla se hace el registro de los datos de las señales de las personas que pertenecen a las poblaciones asociadas a los estudios. Sus campos son los siguientes:

- IDE\_SENAL: Tipo *Varchar* con longitud de 106 caracteres. En este campo se almacena el identificador de la señal y es la llave primaria de la tabla TAB\_SENLES. Este identificador no es introducido por el usuario, sino que es formado automáticamente por los identificadores de estudio, población, sujeto y el tipo de recorrido al que pertenece la señal que fue tomada. Campo no nulo.
- IDE\_RECIDO: tipo *Varchar* con longitud de 20 caracteres. En este campo se almacena el identificador del recorrido con que fue tomada la señal. Es la llave foránea de relación con la tabla TAB\_RECIDOS. Campo no nulo.
- IDE\_SUJETO: Aquí se almacena el identificador de la persona a quien pertenece la señal. Las características de este campo son las mismas que ya se definieron en la tabla TAB\_SUJOTOS y es la llave foránea de relación con esa misma tabla. Campo no nulo.
- ARC\_SENAL: Tipo *Longtext*. En este campo se almacena el nombre del archivo *.txt* importado con el cual se relaciona el identificador de la señal. Campo no nulo.
- FREC\_SENAL: Tipo *Double*. En este campo se almacena la frecuencia de muestro con que fue tomada la señal. Este dato se introduce cuando se está verificando que el archivo importado si corresponde a las característica que se tenían especificadas para la señal. Campo no nulo.
- NUM\_RECIDOS: Tipo *Integer*. En este campo se almacena el número de recorridos o número de veces que se repitió un recorrido, siendo todas las repeticiones guardadas bajo el nombre de un mismo archivo *.txt*. Este dato se registra en la base de datos cuando se hace la

verificación de las características de la señal tomada frente a las que tiene el archivo importado. Este campo puede ser nulo.

**TAB\_RECDS:** En esta tabla se registran los datos de los recorridos definidos para la toma de la señal. Los Campos que la conforma son:

- IDE\_RECIDO: Tipo *Varchar* con longitud de 20 caracteres. En este campo se registran los identificadores de los recorridos que han sido registrados por el Administrador y es llave primaria de la tabla TAB\_RECDS. Campo no nulo.
- NUM\_SACDAS: Tipo *Integer*. En este campo se registra el número de sacadas o saltos que se debe efectuar la persona en un determinado recorrido o ciclo de estímulos visuales. Este campo puede ser nulo.
- TIE\_RECIDO: Tipo *Double*. Aquí se registra el tiempo total que dura un ciclo descrito por cada uno de los recorridos. Campo no nulo
- TIE\_ENCIDO: Tipo *Double*. En este campo se registra el tiempo de encendido individual de cada led del electroestimulador, o en ausencia de este dispositivo electrónico, el campo almacenaría el tiempo en que se presenta cada estímulo visual a que sea sometida la persona. Campo no nulo.
- NUM\_FIJNES: Tipo *Integer*. En este se registra el número de fijaciones oculares que debe efectuar la persona durante un determinado recorrido, o ciclo de estímulos visuales. Campo no nulo

**TAB\_SACDAS:** Esta tabla contiene el registro de los datos de las sacadas o saltos realizados por la persona en el transcurso de un recorrido. Sus correspondientes campos son:

- REG\_SACADA: Tipo *Integer*. En este campo MySQL lleva un auto-numérico que servirá como llave primaria e identificador de las sacadas de un determinado recorrido. Campo no nulo
- IDE\_SACADA: Tipo *Varchar* con longitud de 42 caracteres. En este se almacena el identificador de las sacadas presentadas en un recorrido. Campo no nulo.
- AMP\_SACADA: Tipo *Double*. Se registra en este campo el valor de la amplitud de las sacadas que se efectúan en un recorrido. Esta amplitud son los grados del campo visual que se deben recorrer con los ojos para llegar al siguiente estímulo, Campo no nulo.
- IDE\_RECIDO: Tipo *Varchar* con longitud de 20 caracteres. En él se almacenan los identificadores de los recorridos a los cuales pertenecen las sacadas. Es la llave foránea de relación con la tabla TAB\_RECDS. Campo no nulo

**TAB\_PARROS:** En esta tabla se deben registrar los datos de los parámetros de la señal electrooculográfica. Sus campos son:

- IDE\_PARTRO: Tipo *varchar* con longitud de 20 caracteres. Este campo almacena los identificadores de los parámetros de la señal electrooculográfica y es la llave primaria de la tabla TAB\_PARROS. Campo no nulo.
- NOM-PARTRO: Tipo *Varchar* con longitud de 60 caracteres. En este campo se registra los nombres de los parámetros electrooculográficos. Campo no nulo.
- UNIDES\_PARTRO: Tipo *varchar* con longitud de 20 caracteres. En este se registran las unidades en que deben presentarse los parámetros, por ejemplo milivoltios, grados, segundos, etc. Este campo puede ser nulo.

**TAB\_VALPARROS:** En esta tabla se deben registrar los valores de los parámetros que fueron calculados después de caracterizar la señal. Sus campos son:

- REG\_SACADA: Tipo *Integer*. En este campo se registra el auto-numérico que generó MySQL con el cual se identifica la sacada para la cual fueron calculados los valores de los parámetros. Es la llave foránea de relación con la tabla TAB\_SACDAS. Campo no nulo.
- IDE\_PARTRO: Tipo *varchar* con longitud de 20 caracteres. En este campo esta registrado el identificador del parámetro para el cual se han calculado los valores. Es la llave foránea de relación con la tabla TAB\_PARROS. Campo no nulo.
- IDE\_SENAL: Tipo *Varchar* con longitud de 106 caracteres. En este campo se registra el identificador de la señal que fue caracterizada y para la cual se hallaron valores de parámetros en cada una de las sacadas que fueron detectadas mediante la caracterización. Es la llave foránea de relación con la tabla TAB\_SENLES. Campo no nulo.
- REPION: Tipo *Integer*. En este campo se registra el número de la repetición del recorrido de la señal a la cual se le aplicó la caracterización y se obtuvieron valores, Campo no nulo.
- VALOR: Tipo *Double*. En este campo se registra el valor obtenido para un parámetro en una sacada de una repetición correspondiente al recorrido utilizado en una señal. Campo no nulo.

**TAB\_ADMRES:** En esta tabla se registran los datos pertenecientes a la persona que tiene la responsabilidad de eliminar los estudios que ya no están vigentes y la administración y actualización de los datos de los recorridos que se deben seguir para la generación de la señal

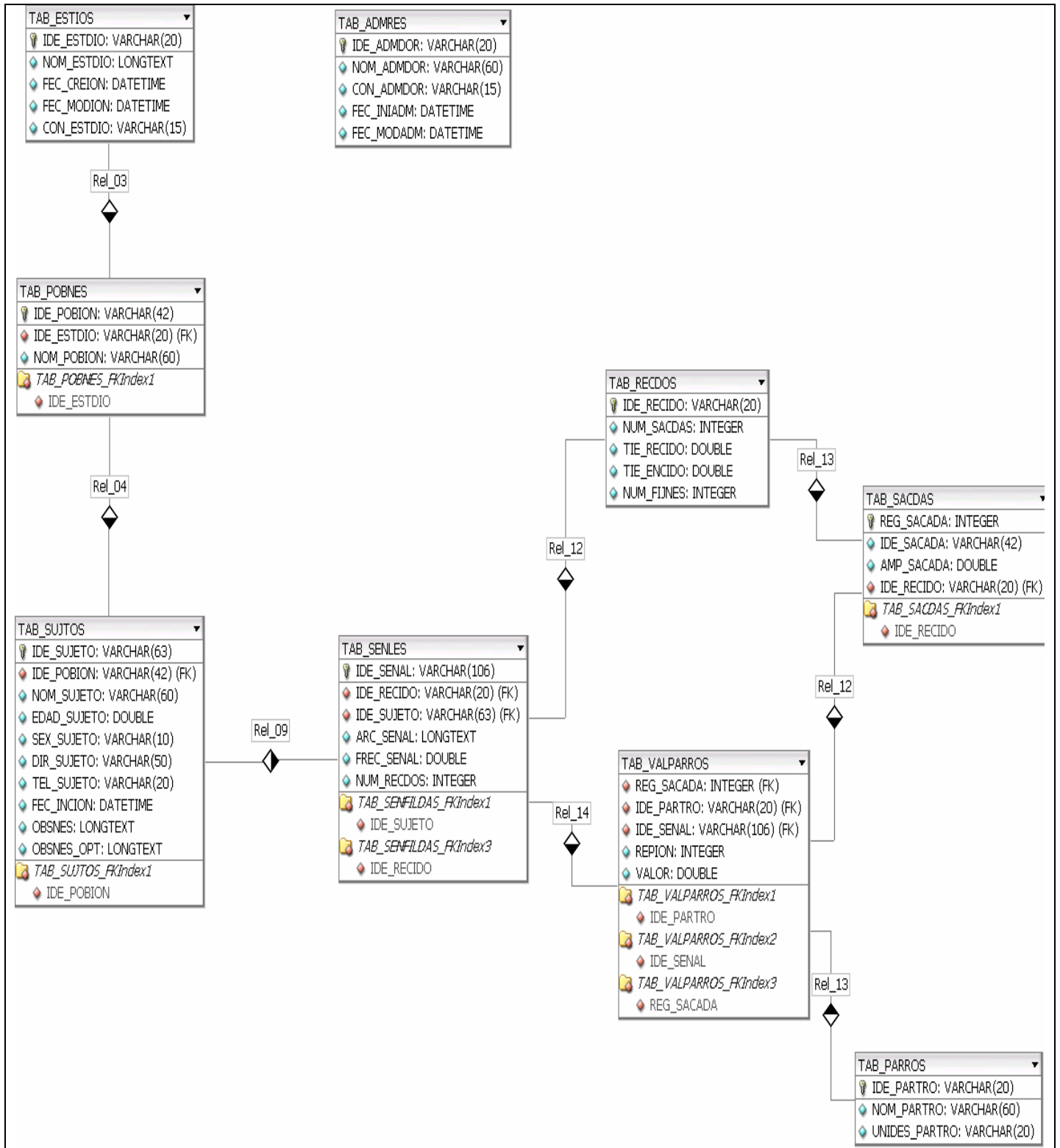
electrooculográfica, así como los datos de los parámetros de las sacadas de dicha señal. Los campos que componen esta tabla son:

- IDE\_ADMDOR: Tipo *Varchar* con longitud de 20 caracteres. En este campo se registra el identificador del Administrador y es la llave primaria de la tabla TAB\_ADMDOR. Campo no nulo.
- NOM\_ADMDOR: Tipo *Varchar* con longitud de 60 caracteres. En este campo se almacena el nombre del administrador. Campo no nulo.
- CON\_ADMDOR: Tipo *Varchar* con longitud de 15 caracteres. Este campo almacena la contraseña del administrador, sin la cual no podrá utilizar las secciones del software especificadas para él. Campo no nulo.
- FEC\_INIADM: Tipo *Datetime*. En este campo se guarda la fecha en que hizo su registro el actual administrador. Esta fecha es registrada en forma automática por el software, el usuario no hace su registro. Campo no nulo.
- FEC\_MODADM: Tipo *Datetime*. En este campo se almacena la fecha en que los datos del actual administrador fueron modificados, o en que el último administrador fue eliminado. Esta fecha es registrada en forma automática por el software, el usuario no hace su registro. Campo no nulo.

Todas las relaciones de integridad referencial entre las tablas fueron declaradas en forma de borrado en cascada (on delete cascade), excepto la tabla TAB\_ADMRES la cual no está relacionada con las demás tablas.

Seguidamente se presenta el diagrama de la estructura de la base de datos, realizado con la herramienta DBDesigner.

**Figura 31. Estructura de la base de datos**



Con el Diseño de la base de datos se empezó la implementación del EOGEST, en lo referente al registro de los datos que se necesitan para cumplir con los alcances y los requisitos que se plantearon en la fase inicial, y la utilización de las herramientas hardware y software que se definieron en la etapa del diseño.

Para la implementación del software se diseñaron las siguientes interfaces graficas, utilizando MATLAB 7.2 release 2006a.

## 6.11 INTERFAZ DE USUARIO

### 6.11.1 Interfaz de Presentación del Software

Figura 32. EOGEST



Es la interfaz que siempre se mostrará a los usuarios cuando se inicia el funcionamiento del software.

### 6.11.2 Interfaz de Registro del Administrador

La primera vez que se utiliza el EOGEST, se desplegará una ventana con la interfaz que se muestra a continuación; en esta ventana, se deben proporcionar los datos de registro de la persona que haya sido escogida como Administrador del sistema. Por medio de esta interfaz el administrador deberá digitar su identificador, contraseña y nombre, los dos primeros serán los que le sigan dando acceso a las secciones destinadas para el Administrador. Está interfaz solo se volverá a presentar si el Administrador se autoelimina para dar paso a otro Administrador.

**Figura 33. Registro Administrador**



Administrador

Administrador

Identificador de Administrador

Contraseña de Administrador

Nombre del Administrador

Registrar Administrador

### 6.11.3 Interfaz de Modo de uso, o de tipo de Acceso al Software

**Figura 34. Modo de Uso**



Contraseña

Modo de Uso

Nuevo Estudio  Abrir Estudio  Administración

Permiso Estudio

Identificador de Estudio

Contraseña de Estudio

Permiso Administrador

Identificador de Administrador

Contraseña de Administrador

Aceptar Cancelar

Una vez definido el Administrador del sistema, en la primera utilización del software, y mientras se siga conservando el mismo Administrador, la ventana que se mostrara a continuación de la interfaz de Presentación, es la que se

presenta en la figura. En esta interfaz se debe elegir el modo de uso con que se quiere acceder al software:

- Como Administrador, con su contraseña e identificador.
- Como especialista medico investigador con acceso a algún(os) estudio(s) de investigación del cual este a cargo, con la respectiva contraseña e identificador del estudio que desea abrir.
- Como especialista médico que quiere registrar un nuevo estudio, para esto no se necesita ni contraseña, ni identificador.

#### 6.11.4 Interfaz de Registro de un Nuevo Estudio

Figura 35. Nuevo Estudio

The screenshot shows a software interface for creating a new study. The window title is 'menuperincipal' and the menu bar includes 'Estudios', 'Base de Datos', 'Filtrado', 'Caracterización', 'Reportes', 'Ayuda', and 'Salir'. The main content area is titled 'Nuevo Estudio' and contains two main sections. The first section, 'Datos del Estudio', has a 'Crear Estudio' button and fields for 'Titulo del Estudio' (containing 'estudio 1'), 'Identificador del Estudio' (containing 'est'), and 'Contraseña del Estudio' (containing 'XXX'). Below these fields are two status bars: 'Fecha de Creación: \*2006.10.23 02:04:18.0' and 'Fecha de Modificación: \*2006.10.23 02:04:18.0'. The second section, 'Poblaciones Asociadas al Estudio', has an 'Agregar Población >>>' button and fields for 'Identificador de la Población' (containing 'pop1') and 'Nombre de la Población' (containing 'poblacion1'). To the right of this section is a 'Lista de Poblaciones' window showing a list with one entry: 'vacio'.

En esta interfaz el Médico especialista debe proporcionar .los datos del estudio que desea registrar, el titulo, la contraseña y el identificador del estudio. El identificador y la contraseña serán con los cuales tendrá acceso al estudio creado en el futuro.

En esta interfaz también se permite el registro de las poblaciones o muestras poblacionales que pertenecen al estudio creado, para su registro, se deben indicar el identificador y el nombre de las poblaciones.

## 6.11.5 Interfaz de Edición del Estudio

Figura 36. Editar Estudio

ASOCIACION ENTRE ALTERACION DE LOS MOVIMIENTOS OCULARES SACADICOS Y ESQUIZOFRENIA ANALISIS 1  
Estudios Base de Datos Filtrado Caracterización Reportes Ayuda

**Editar Estudio**

**Datos del Estudio**

Título del Estudio: ASOCIACION ENTRE ALTERACION DE LOS MOVIMIENTOS OCULARES SACADICOS Y ESQUIZOFRENIA ANALISIS 1  
Identificador del Estudio: ANALISIS1  
Contraseña del Estudio: XXXX

Fecha de Creación: 2006-10-07 09:00:57.0  
Fecha de Modificación: 2006-10-22 14:57:48.0

**Poblaciones Asociadas al Estudio**

Lista de Identificadores: CASOS, CONTROLES  
Lista de Nombres: CASOS ESQUIZOFRENIA, CONTROLES POBLACION

Identificador de la Población: [ ]  
Nombre de la Población: [ ]

Modificar Eliminar  
Agregar

En esta interfaz se podrá hacer cambios al título y a la contraseña del Estudio, así como agregar mas poblaciones o cambiar el nombre de estas, si así se requiere, los únicos datos que no permiten ser modificados son el identificador del estudio y el de las poblaciones. También se permite eliminar tanto el estudio como las poblaciones de este.

## 6.11.6 Interfaz de Registro de Personas

Figura 37. Registro Personas

Asesuprincipal  
Estudios Base de Datos Filtrado Caracterización Reportes Ayuda Salir

**Agregar Persona**

**Datos de la Persona**

Identificador: 12345  
Nombre: nombre  
Dirección: dir1  
Teléfono: 98765  
Sexo: Femenino  
Edad: 20

Observaciones Oculares: XXXX  
Observaciones de Estudio: XXXX

Fecha de Inclusión: 2006-10-23 02:06:30.0

**Lista de Poblaciones**

pob1  
poblacion1

Agregar Persona >>>

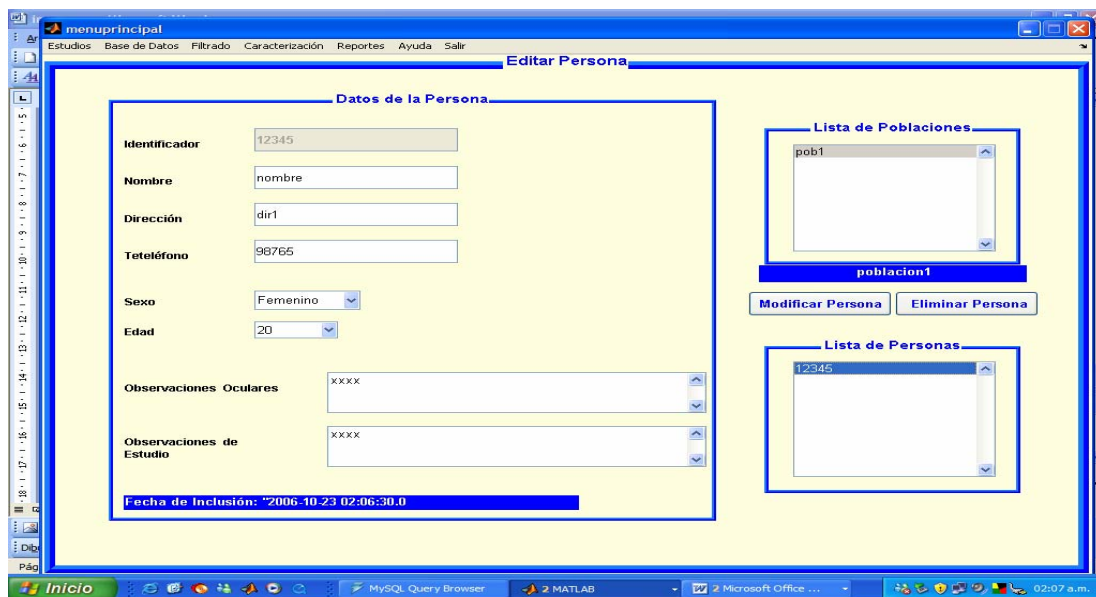
**Lista de Personas**

12345

En esta interfaz se puede hacer el registro de las personas que pertenecen a una determinada población del estudio que fue abierto por el especialista médico. Se selecciona una población de la lista que aparece en la interfaz y se introducen los datos de las personas en las casillas destinadas para ellos, seguidamente se da clic en el botón “Agregar Persona”, y el identificador de la persona registrada aparecerá en la lista correspondiente.

### 6.11.7 Interfaz de Modificación de Datos de las Personas

Figura 38. Editar Personas

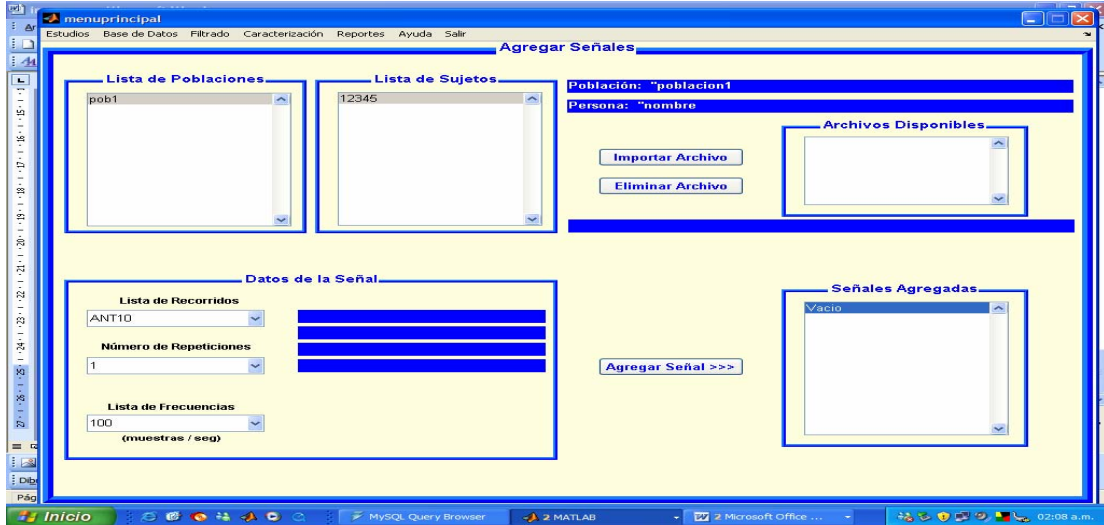


Cuando se requiera cambiar los datos de una persona que haya sido registrada, excepto el identificador, se puede utilizar esta interfaz. En esta se elige la población a la que pertenece la persona, apareciendo así una lista de todos los identificadores de las personas que pertenecen a esa población, de esta lista se escoge el identificador de la persona a la cual se quiere modificar su registro. Al seleccionar el identificador de persona que se necesita, todos los datos de esta aparecen en las casillas respectivas, pudiendo ser modificados.

Las modificaciones se ejecutaran haciendo clic sobre el botón “Modificar Persona”. Si lo que se desea es Eliminar a esa persona de la población en la que fue registrada originalmente, se da clic en el botón “Eliminar Persona”.

## 6.11.8 Interfaz de Agregar Señales Electrooculográficas

Figura 39. Agregar Señales



Por medio de esta interfaz, se logra la importación de los archivos **.txt** que corresponden a las señales electrooculográficas tomadas a las personas registradas por población en el estudio abierto.

Se debe seleccionar un identificador de una población perteneciente al estudio y un identificador de una persona perteneciente a dicha población, esto se hace a través de las listas correspondientes que aparecen en la interfaz. De la persona seleccionada se podrán importar los archivos de sus señales, dando clic en el botón “Importar archivo”, con esto se desplegará una ventana en la cual se podrán buscar y seleccionar los archivos correspondientes a la persona.

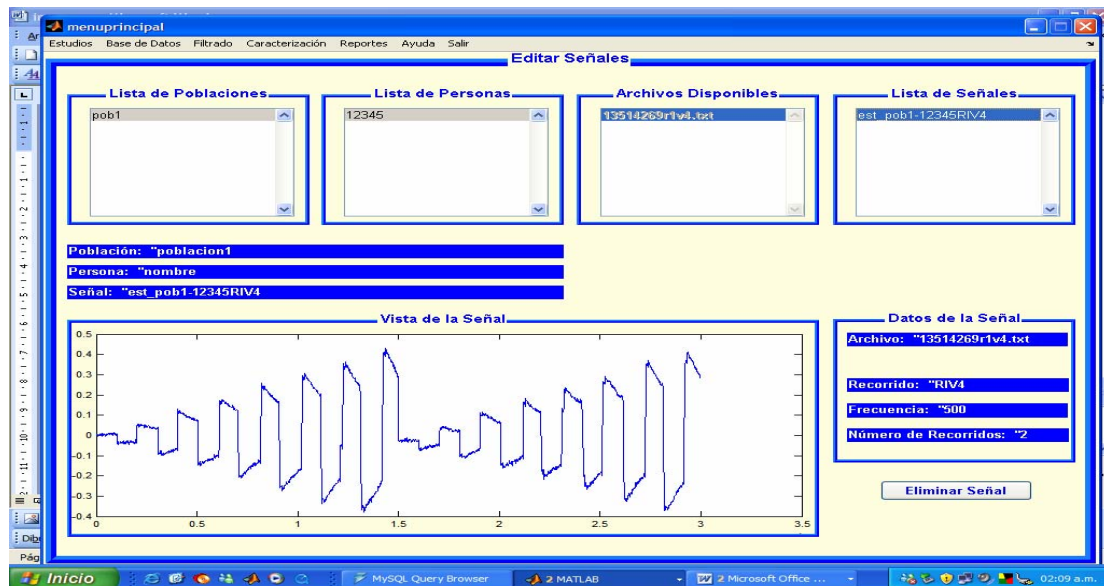
Una vez seleccionados los archivos, estos quedarán incluidos en una carpeta que tendrá un directorio exclusivo para cada persona, de tal forma que una vez importados nos se tengan que estar haciendo el mismo proceso cada vez que se deseen ver los archivos de señal de una persona.

Para hacer la asociación de dichos archivos a la base de datos, quedando en esta un registro que permita identificar la señal correspondiente a cada archivo, se selecciona un archivo en particular, y en la sección de datos de la señal, se seleccionan el tipo de recorrido, el número de repeticiones de ese recorrido dentro de la señal y la frecuencia de muestreo a que fue tomada la señal.

Todo lo anterior se requiere para verificar que las características de los valores del archivo que se desea asociar al registro en la base de datos, si corresponden verdaderamente a la señal que le fue tomada a la persona. Además también se pueden eliminar archivos de la lista que corresponda a cada persona.

### 6.11.9 Interfaz de Visualización y Eliminación de Señales de la Base de Datos

Figura 40. Editar Señales

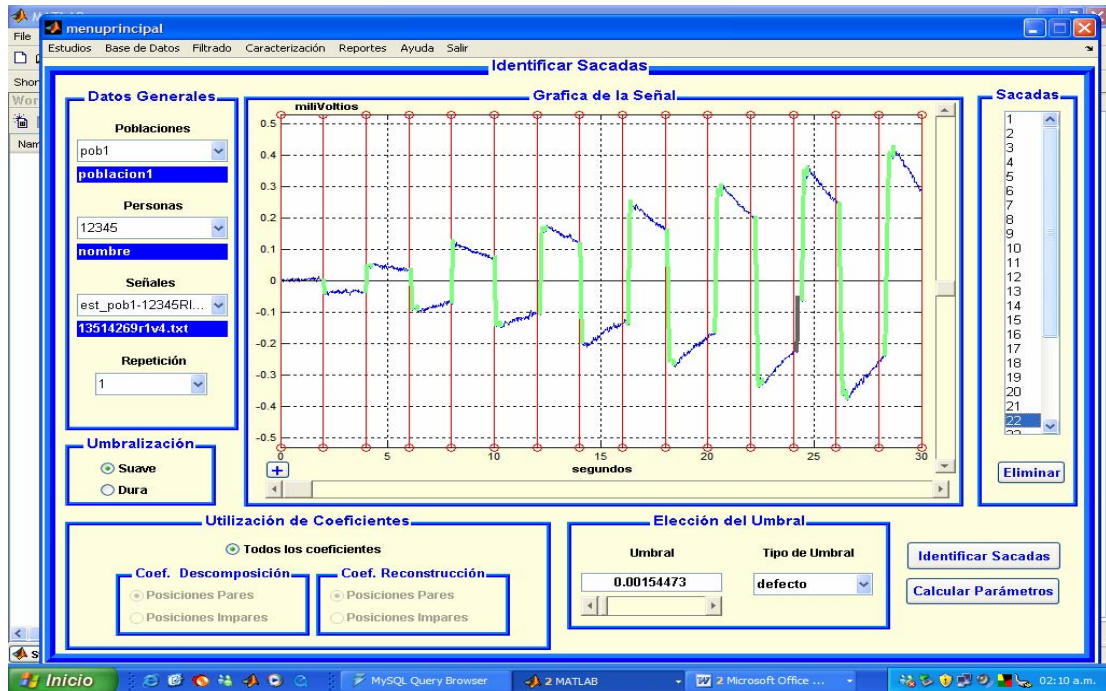


En esta interfaz se selecciona de las listas correspondientes un identificador de una población del estudio abierto, un identificador de una persona perteneciente a esa población y un identificador de una de las señales que se han registrado en base de datos para esa persona.

Haciendo estas selecciones, se podrán observar en la interfaz la gráfica de la señal tomada, así como los datos de esta, su frecuencia de muestreo, número de repeticiones del recorrido que representa, etc. Por medio de esta interfaz se puede hacer una verificación de las señales que han sido registradas para una persona, y se podrán eliminar aquellas que no son correctas, sin que ello implique que los archivos asociados a esa señales sean también eliminados, solo se borra el registro en base de datos.

## 6.11.10 Interfaz de caracterización de la Señal Electrooculográfica

Figura 41. Caracterización



En esta interfaz se deben seleccionar, un identificador de población, un identificador de persona y una señal que corresponda a la persona seleccionada. Con esto aparecerá sobre la interfaz una gráfica de la señal seleccionada, y una lista de las repeticiones que hay del recorrido que esta representa. De está lista siempre aparecerá por defecto la primera repetición, y se podrán seleccionar y visualizar gráficamente las demás repeticiones que se requieran. Para una repetición seleccionada se podrá hacer la identificación de las sacadas, seleccionando:

- El tipo de Umbralización (Suave, Dura)
- El tipo de coeficientes a utilizar (Descomposición, Reconstrucción, todos)
- El tipo de Umbral (por defecto, mínimax, sqtwolog, heursure, rigsure) de la lista desplegable que se muestra en la interfaz.

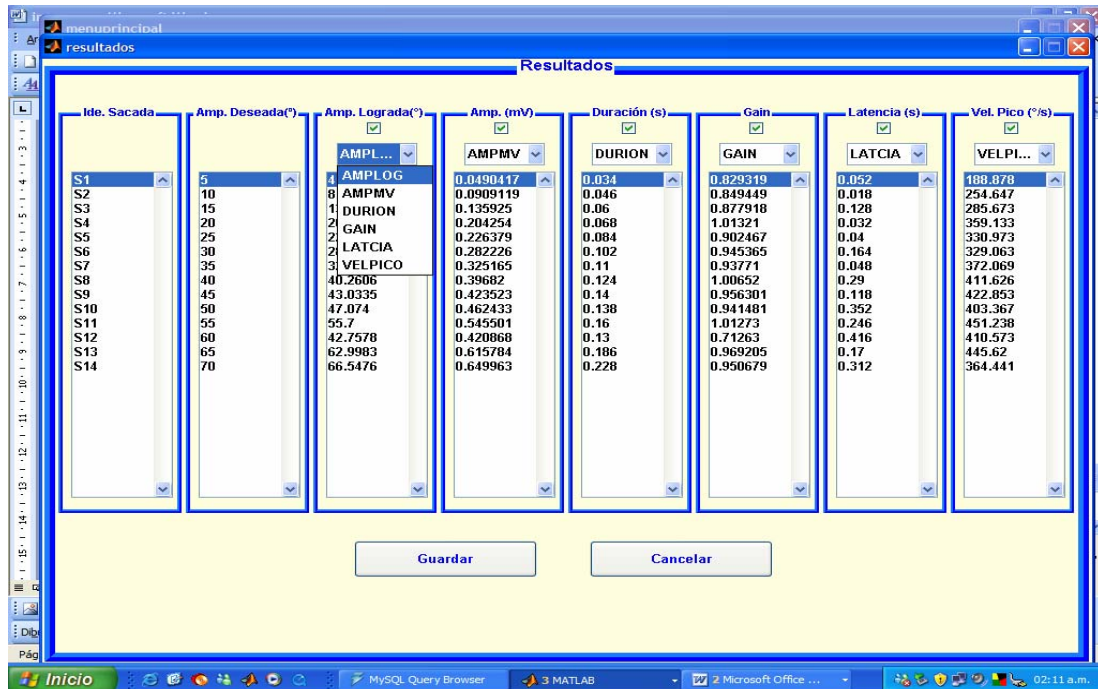
Dando un valor al umbral escogido, ya sea por medio de la caja de texto o por medio de la barra deslizante que están a disposición en la interfaz, y dando clic sobre el botón “Identificar Sacadas”, se lleva a cabo la detección

de las regiones de la señal en las que se presentaron saltos de fijación visual o sacadas.

Como se puede ver en la ventana que se muestra al inicio, las regiones de las sacadas se muestran en verde, la señal original en color azul, y las líneas de color rojo indican el instante en que se presentó el estímulo visual. En la interfaz se encuentra una lista con la numeración de las sacadas detectadas y un botón de “Eliminar”, los cuales son una herramienta muy útil para descartar las sacadas que se presentaron en la señal, pero que según criterio del especialista médico no son de utilidad para el análisis.

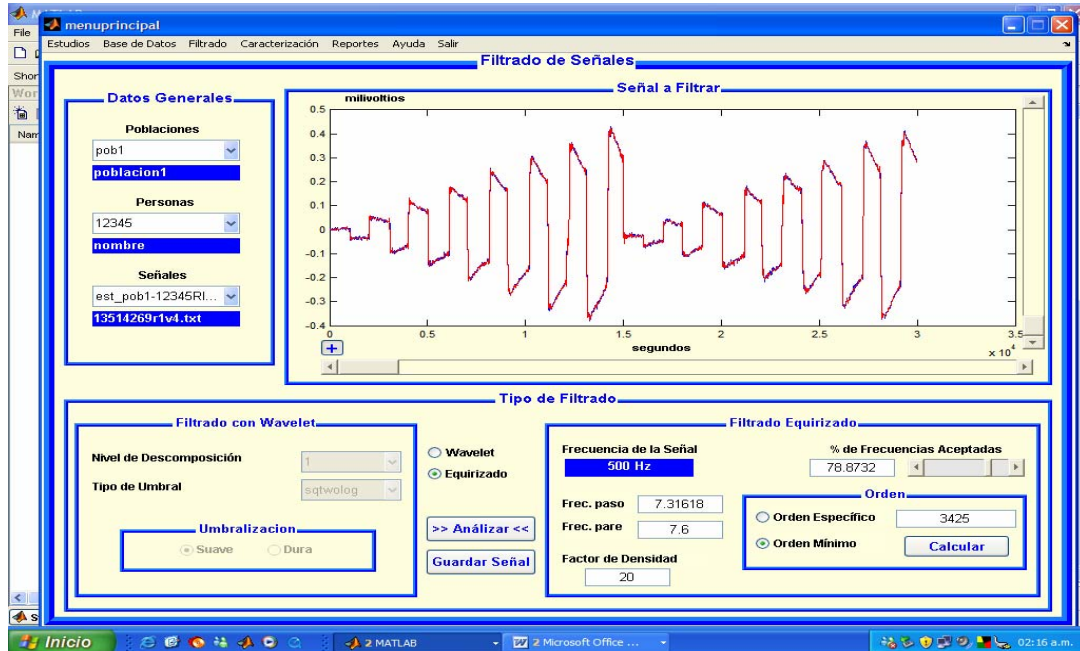
Una vez detectadas las sacadas para la repetición escogida de la señal, y descartadas las sacadas que no sirven, se puede hacer el cálculo de los valores de los parámetros para las sacadas que finalmente fueron seleccionadas, esto por medio del botón “Calcular Parámetros”. Dando clic en este botón se desplegará una nueva ventana en la cual aparecerán los valores de los parámetros que fueron calculados para cada sacada. En esta nueva ventana o interfaz con resultados, aparecen dos botones, uno para guardar los valores hallados en la base de datos y otro para cancelar y cerrar la ventana.

**Figura 42. Resultados**



## 6.11.11 Interfaz de Filtrado de la Señal Electrooculográfica

Figura 43. Filtrado



A través de esta interfaz se pueden filtrar señales que no encuentran en condiciones para hallarles parámetros. En este interfaz se debe elegir una población, un sujeto de esta, y una señal que se desee filtrar. En la parte inferior se encuentran dos paneles que incluyen parámetros, de acuerdo al método de filtrado que se quiera realizar. Si se elige filtrado con Wavelet, se debe elegir el nivel de descomposición, el criterio de umbralización y el tipo de umbralización.

Si se hace el diseño de filtros paso bajo, se deben especificar tanto la frecuencia de paso como la de rechazo, de acuerdo al criterio del porcentaje que se desea mantener del espectro de frecuencias, que se puede elegir mediante un deslizador. Además se elige la densidad de la grilla de frecuencias a evaluar. Con las dos frecuencias especificadas, se puede calcular el orden mínimo del filtro necesario, que cumple con esas condiciones de diseño o se puede indicar un orden arbitrario. Cualquiera que sea el método para la realización del filtrado, se debe pulsar el botón Analizar y se obtiene una grafica de la señal original y otra de la señal filtrada. Esta última señal se puede Guardar, pulsando el botón Guardar Señal.

### 6.11.12 Interfaz de Consulta de los Valores calculados de los Parámetros

Figura 44. Valores de los Parámetros

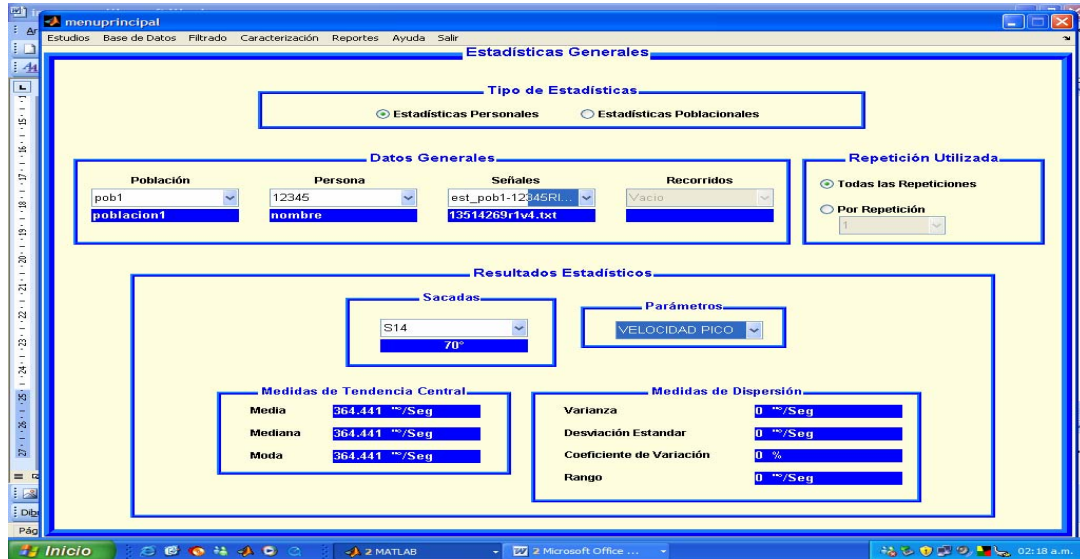
Señales	Sacada	Grados	Parámetro	Repetición	Valor
ANALISIS1_CAS	AS1	10	DURACION	1	0.048
ANALISIS1_CAS	AS1	10	DURACION	2	0.048
ANALISIS1_CAS	AS1	10	DURACION	3	0.044
ANALISIS1_CAS	AS1	10	DURACION	4	0.058
ANALISIS1_CAS	AS1	10	DURACION	1	0.054
ANALISIS1_CAS	AS1	10	DURACION	2	0.046
ANALISIS1_CAS	AS1	10	DURACION	3	0.044
ANALISIS1_CAS	AS1	10	DURACION	4	0.046
ANALISIS1_CAS	AS1	10	DURACION	1	0.046
ANALISIS1_CAS	AS1	10	DURACION	2	0.048
ANALISIS1_CAS	AS1	10	DURACION	3	0.05
ANALISIS1_CAS	AS1	10	DURACION	4	0.048
ANALISIS1_CAS	AS1	10	DURACION	1	0.082
ANALISIS1_CAS	AS1	10	DURACION	2	0.044
ANALISIS1_CAS	AS1	10	DURACION	3	0.046

Por medio de esta interfaz se pueden hacer consultas de los valores de los parámetros que fueron registrados en la base de datos después de la caracterización. Las consultas se hacen a base de selecciones, por ejemplo, si se selecciona un identificado de población de la lista correspondiente en la interfaz, y se da clic sobre el botón “Realizar consulta”, se podrán visualizar todos los valores de los parámetros, de todas las sacadas, de todas las señales de las personas que pertenecen a la población seleccionada. El resultado de la consulta será más específico de acuerdo a la selección que se haga (por persona, por señal, por repetición, por parámetro, por sacada, etc).

Al realizar y obtener resultados de una consulta en particular, se tendrá la opción de exportar los resultados obtenidos, a manera de informe, a un archivo de extensión **.xls**, por medio del botón “exportar datos”, o se tendrá la opción de eliminar de la base de datos, los valores obtenidos de la consulta, por medio del botón “Eliminar Datos”.

### 6.11.13 Interfaz de Estadísticas Generales

Figura 45. Estadísticas Generales



Por medio de esta interfaz se podrán obtener los valores de la media, la moda, la mediana, la varianza, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el rango, para los valores calculados de los parámetros. Estas estadísticas se pueden obtener tanto para una persona en particular como para toda una población. La selección que se debe hacer para realizar una consulta de estadísticas poblacionales es:

Seleccionar “estadísticas Poblacionales”, seguidamente seleccionar un identificador de Población de la lista correspondiente, luego se debe escoger un identificador de recorrido de la lista de recorridos que aparece en la interfaz. Una vez se seleccione un recorrido, aparecerán en lista las sacadas que pertenecen a ese recorrido, y se debe seleccionar una de ellas. Por ultimo se selecciona un parámetro de la lista correspondiente.

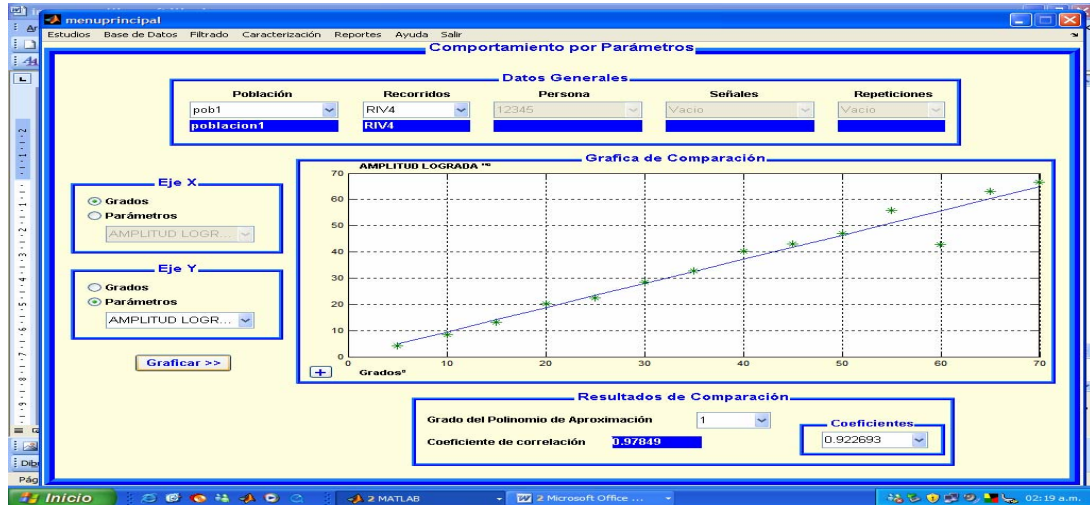
Para realizar una consulta de estadística individual se deben hacer las siguientes selecciones:

Se escoge “Estadísticas Individuales” y posteriormente se deben seleccionar un identificador de población y un identificador de persona de las listas correspondientes. Cuando se selecciona el identificador de la persona, aparecen en lista todas las señales registradas en la base de datos que pertenecen a esa persona. Se debe seleccionar una de estas señales, y es opcional si se desea escoger alguna de las repeticiones de la señal en particular o si se quiere que el cálculo de la estadística sea sobre todas las repeticiones. Cuando se ha escogido la señal, aparecen en lista las sacadas

del recorrido al cual pertenece dicha señal, y se debe escoger una de estas sacadas. Por ultimo se selecciona uno de los parámetros de la lista correspondiente.

#### 6.11.14 Interfaz de Comparación por Parámetros

Figura 46. Comparación por Parámetros



En esta interfaz se permite visualizar en forma gráfica el comportamiento de los valores de los parámetros entre si. Se hacen las selecciones de población-Recorrido, o población-Persona-señal-Repetición de acuerdo a lo que se requiera.

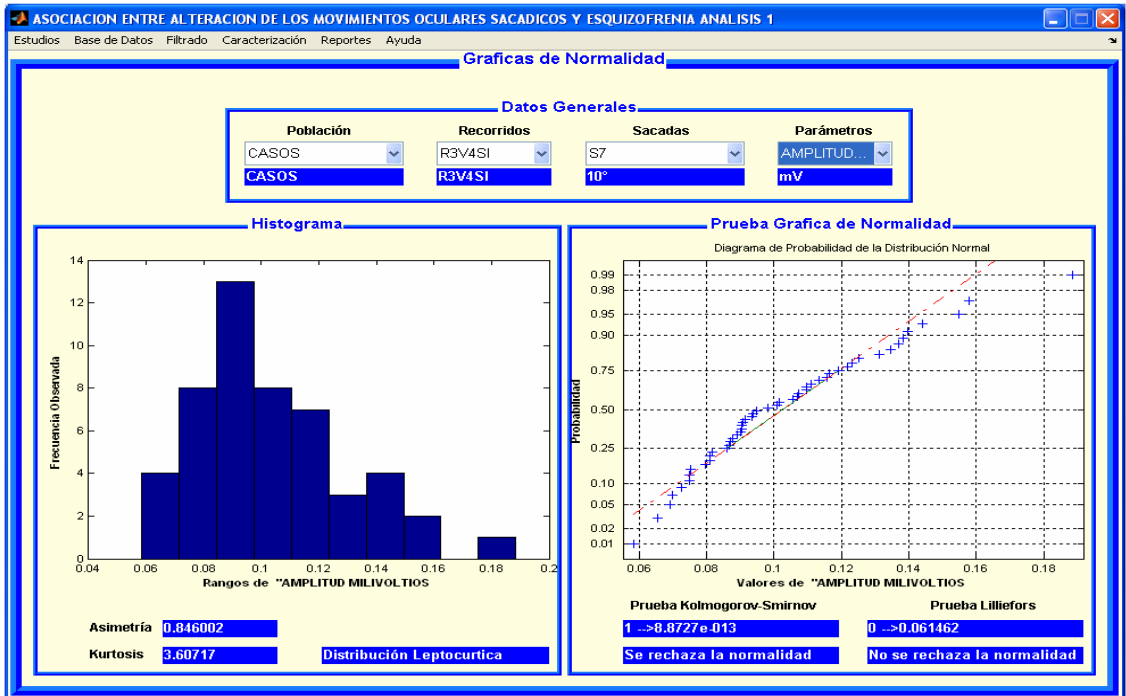
Una vez hecha la selección, se deben escoger que parámetro se desea en el eje X y que parámetro se quiere en el eje Y. También existe la opción de escoger para la comparación entre grados y parámetros.

Al escoger el termino a graficar en el eje X y en el Eje Y, se debe dar clic en el botón “graficar”, y aparecerá en la interfaz la grafica con el polinomio de regresión lineal que representa la relación entre los puntos graficados.

El grado del polinomio de regresión puede ser cambiado, utilizando la lista que aparece en la interfaz. El polinomio es calculado y graficado para las parejas de puntos que arrojan las selecciones hechas para el eje X y eje Y, pudiendo ser posible el calculo del coeficiente de correlación que nos permite saber que tan bien se ajustan los puntos al polinomio de regresión calculado. En la interfaz también se encuentra una lista en la cual se muestran los coeficientes del polinomio que se calcula para una serie de puntos.

## 6.11.15 Interfaz para el análisis de la Normalidad

Figura 47. Gráficas de Normalidad



Por medio de esta interfaz se puede ver gráficamente el comportamiento Normal o no Normal de los valores que se obtuvieron para un parámetro de una sacada determinada de un recorrido específico, que fue realizado por un grupo poblacional seleccionado.

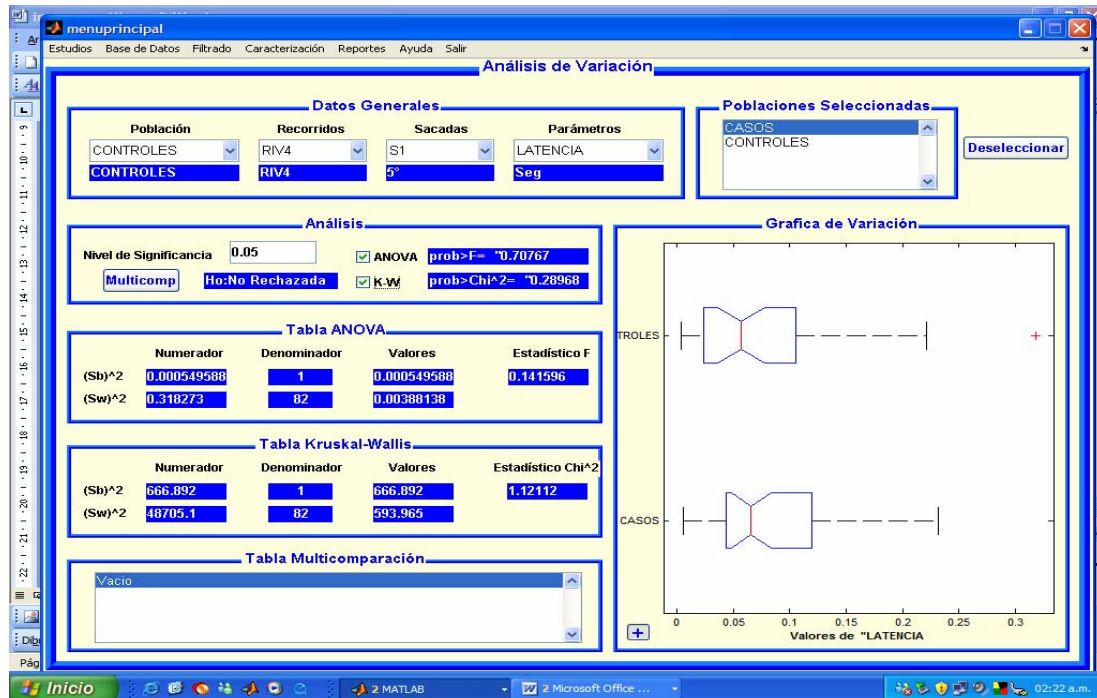
En esta interfaz se muestra tanto el histograma para los valores obtenidos del parámetro seleccionado, como la asimetría y la curtosis para dichos valores. También se hace un análisis de la normalidad de los valores, por medio de la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de Lilliefors. La primera sirve para definir si los datos se ajustan exactamente a la Normal con media cero (0) y varianza uno (1), y la segunda se utiliza para estimar si los datos se ajustan a una Normal con media y varianza que sean iguales a la media y la varianza del grupo de valores que se está analizando.

La selección que se debe hacer, para poder visualizar tanto el histograma así como la gráfica de normalidad y los resultados de las pruebas es: Población → Recorrido → Sacada → Parámetro.

La anterior selección se debe hacer empleando las listas correspondientes con que cuenta esta interfaz

## 6.11.16 Interfaz para el Análisis de Variación

Figura 48. Análisis de Variación



Por medio de esta interfaz se puede hacer un análisis estadístico que permita medir la variación entre los valores hallados para un parámetro de una sacada específica de un recorrido determinado, entre dos o más poblaciones pertenecientes al estudio abierto por el especialista médico.

El análisis de variación se puede llevar a cabo por medio del método estadístico paramétrico ANOVA, para grupos de valores cuya distribución sea NORMAL, o por el método estadístico no paramétrico Kruskal-Wallis, para grupos de valores cuya distribución no presente Normalidad.

Sea cual sea el método que se escoja por medio de las pequeñas cajas de selección que tiene la interfaz, siempre se debe definir el nivel de significancia que requiere la prueba de hipótesis, la cual para este software siempre será de tipo bilateral (la Hipótesis nula siempre supone la no diferencia entre los grupos a comparar). Este nivel de significancia se debe registrar dentro de la caja de texto definida para este fin en la interfaz.

Para hacer uso de esta interfaz, se deben seleccionar las poblaciones que se van a comparar, por medio de la lista de Poblaciones. Las poblaciones que sean seleccionadas se mostraran en el listado que tiene por encabezado "poblaciones seleccionadas", de este listado también se puede deseleccionar

la población que se desee, escogiéndola de la lista de seleccionadas y dando clic sobre el botón “deseleccionar”.

Una vez Seleccionadas las poblaciones a comparar, se debe escoger un recorrido, y de esta acción se podrá ver la lista de sacadas que corresponden al recorrido, debiéndose seleccionar una de estas sacadas. Después se debe escoger un parámetro.

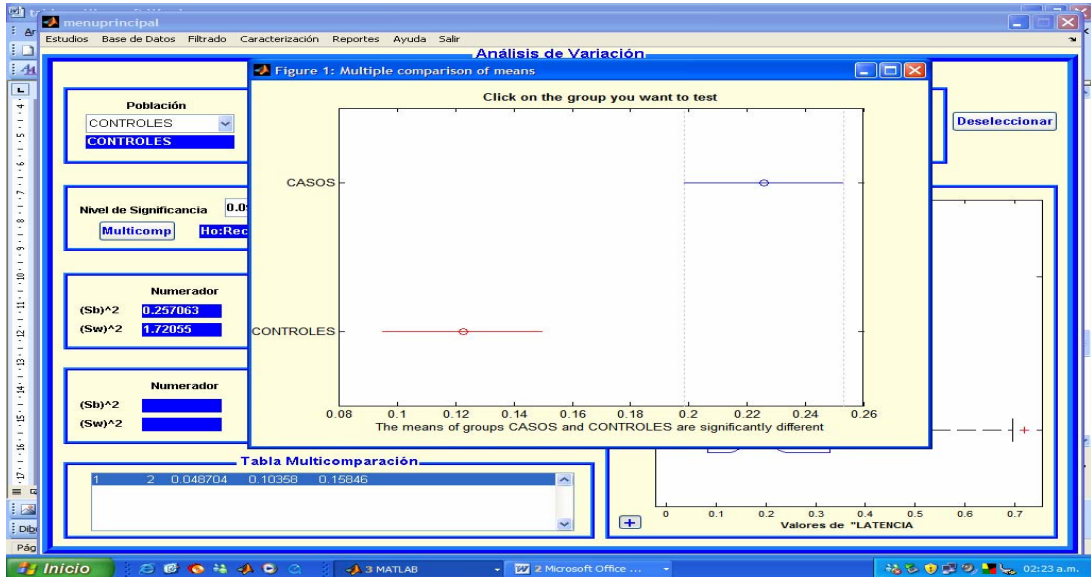
Se define el nivel de significancia, y el método estadístico de análisis de variación que se desea utilizar. Al seleccionar el método de análisis, ya se el ANOVA o Kruskal -Wallis, deben aparecer los valores correspondientes a las tablas de cada método y la probabilidad, la cual está dada por el estadístico F para la prueba de ANOVA y la probabilidad del estadístico CHI cuadrado si la prueba empleada fue el Kruskal-Wallis. Se podrá también visualizar la gráfica del diagrama de cajas, en el cual se presentan las medianas y los valores extremos que tiene cada una de las poblaciones seleccionadas.

Si el nivel de significancia definido es mayor que el valor de la probabilidad para cualquiera de los dos estadísticos utilizados, la Hipótesis nula de la prueba de hipótesis bilateral se Rechaza, y este resultado es visualizado por medio de la interfaz; si la probabilidad de cualquiera de los estadísticos es mayor que el nivel de significancia, la hipótesis nula no es rechazada.

En los casos en que se presenta que la hipótesis nula es rechazada, la herramienta software, tiene un método adicional, el cual se llama método de múltiple comparación de Bonferroni, con el cual podemos confirmar o no el resultado de rechazo de la hipótesis nula, comparando por parejas de poblaciones seleccionadas.

El método de Múltiple comparación no tiene gráfica de cajas, pero genera una ventana nueva en la cual se muestra la grafica donde están los intervalos de confianza de cada uno de los grupos o parejas de grupos que se están comparando. Como lo muestra la figura 49.

**Figura 49. Múltiple Comparación de Medias**



### 6.11.17 Interfaz de Definición de Recorridos del Electroestimulador

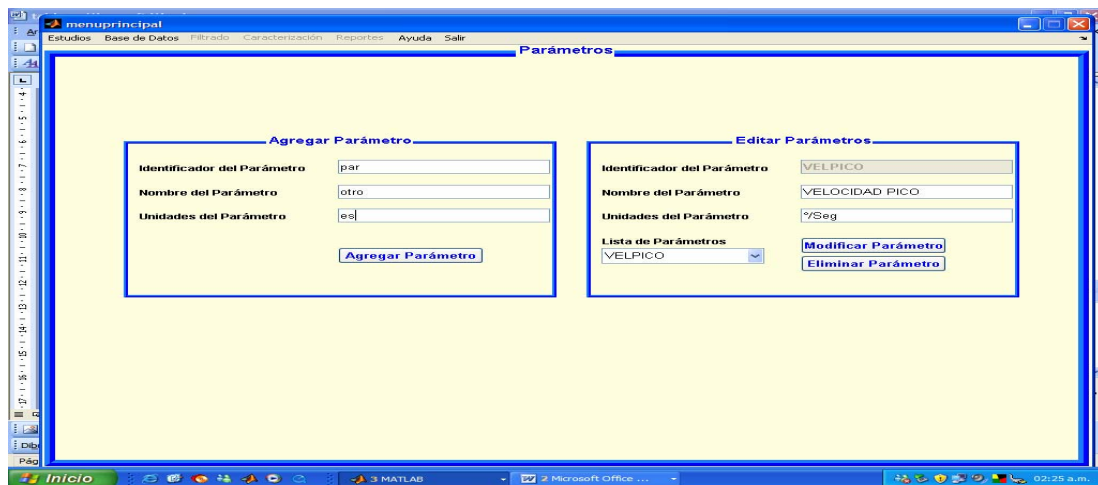
**Figura 50. Electroestimulador**

A esta interfaz solo tiene acceso el Administrador. Esta interfaz sirve para el registro, modificación y eliminación de los recorridos que han sido definidos para que las personas se guíen por ellos en el momento de la toma de la señal electrooculográfica. En esta interfaz se registran, el identificador de

cada recorrido, el tiempo total que demore este en completar un ciclo, el tiempo de encendido o tiempo en que ocurren los estímulos visuales. Para cada Recorrido se debe definir un grupo de sacadas, o saltos que deben suceder en el transcurso del recorrido, y de estas se debe registrar, un identificador y la amplitud de la sacada.

### 6.11.18 Interfaz de Registro de Datos de los Parámetros

Figura 51. Parámetros



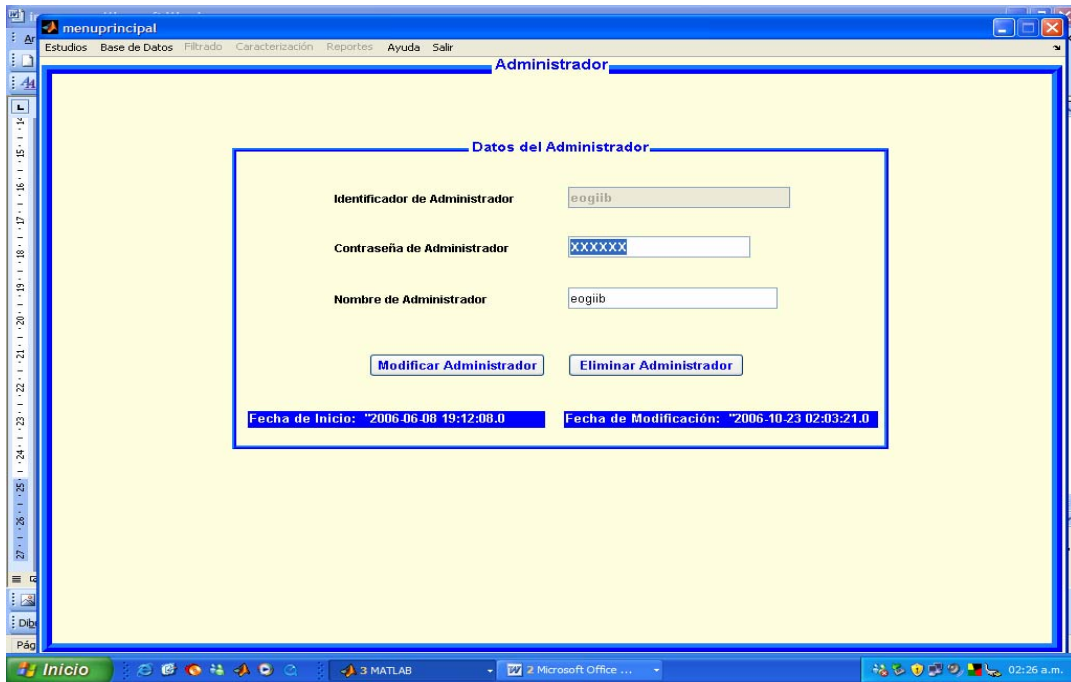
En esta interfaz a la cual también solo tiene acceso el Administrador, es donde se proporcionan los datos de los parámetros que van a servir en otras interfaces para realizar consultas, cálculos y comparaciones. Los datos que se registran de los parámetros son:

Identificado del parámetro, nombre del mismo, y las unidades en que debe ser expresado el parámetro registrado. Además permite la modificación y eliminación de los datos de los parámetros según se requiera.

### 6.11.19 Interfaz de Administrador

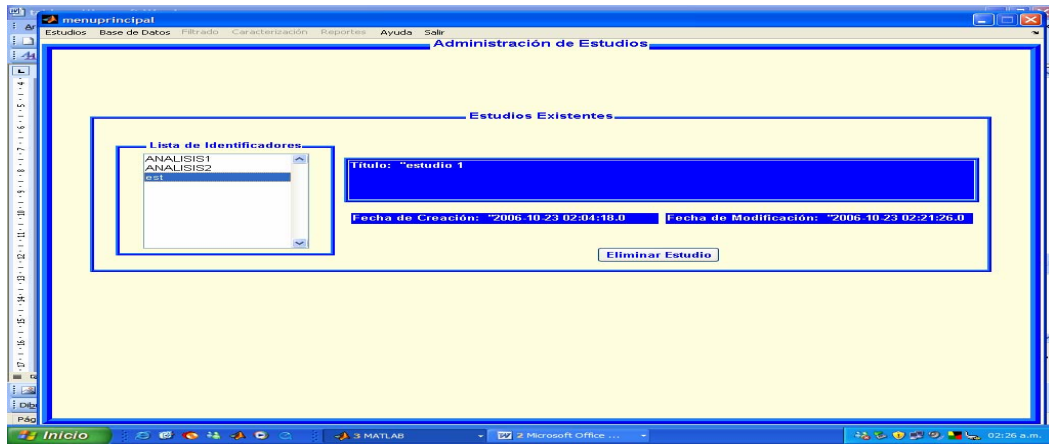
Es la interfaz en la cual el Administrador puede llevar un control de sí mismo, pudiendo modificar sus datos como, el nombre y la contraseña, además se puede autoeliminar, para dar paso a un nuevo Administrador, Figura 52.

**Figura 52. Administrador**



### 6.11.20 Interfaz de Administración de Estudios

**Figura 53. Administración de Estudios**



A esta interfaz solo puede acceder el Administrador, puesto que en esta interfaz se debe tener un especial cuidado, ya que se pueden llegar a eliminar estudios que aún estén vigentes. Como se puede apreciar en la figura, existe una lista de estudios, y al seleccionar el identificador de uno de

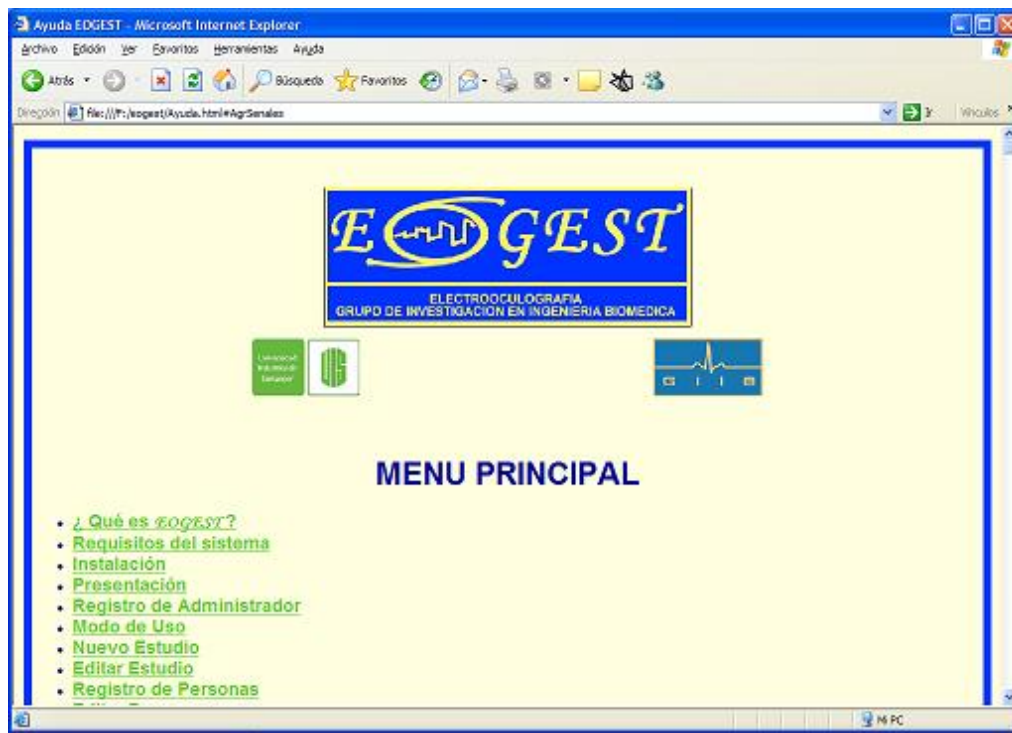
ellos de la lista, todos sus datos, excepto la contraseña, se muestran en la interfaz, pudiendo así visualizar con más detalle cuál es el estudio que se pretende borrar. Para eliminar el estudio seleccionado, se hace clic sobre el botón “Eliminar Estudio”. Con este se eliminarán todas las poblaciones, personas, valores de parámetros, etc, que estuvieran asociados a ese estudio.

### 6.11.21 La interfaz de Ayuda al usuario y el Acerca de EOGEST

Como se muestra en las Figuras 54, la interfaz de ayuda contiene la información que el usuario necesitará para resolver las dudas que se le presenten al utilizar el software. Esta sección está hecha en formato de página Web para facilitar las búsquedas de información que sean realizadas por el usuario, sobre el modo correcto de utilizar el software.

Con respecto a la interfaz del Acerca de EOGEST, esta se muestra en la Figura 55, y en esta se indica información correspondiente a la realización del software.

**Figura 54. Ayuda EOGEST**



**Figura 55. Acerca de EOGEST**



#### 6.11.22 Barra del Menú Principal de EOGEST:

**Figura 56. Menú Principal**



Este menú se presenta siempre en la parte superior de todas las interfases que se explicaron anteriormente, y por medio de él se puede tener acceso a dichas interfases, dependiendo de la clase o tipo de uso con que ingresó al Software, es decir si creo un nuevo estudio o entré en uno ya creado, o si entré como administrador.

A continuación se muestran algunas listas de las interfases a que puede accederse utilizando el menú principal, siempre y cuando no se haya ingresado al software como Administrador:

Figura 57. Menú Principal-Estudios



Figura 58. Menú Principal-Base de Datos

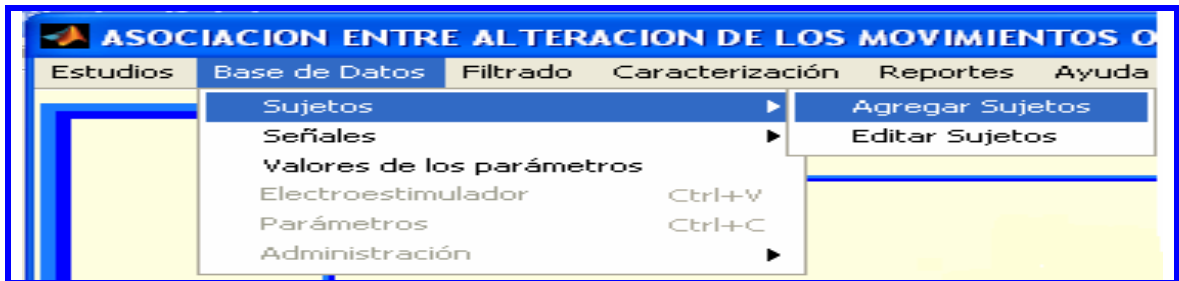
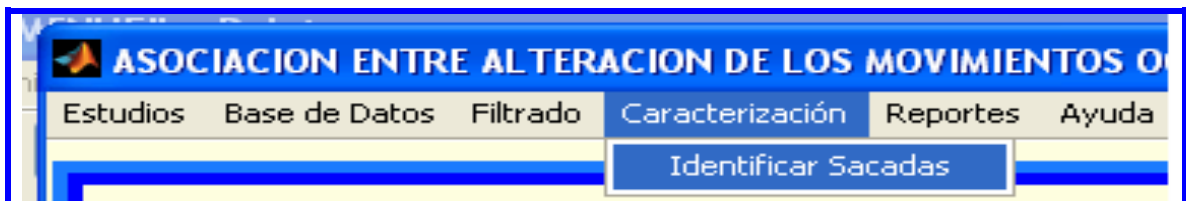


Figura 59. Menú Principal-Filtrado



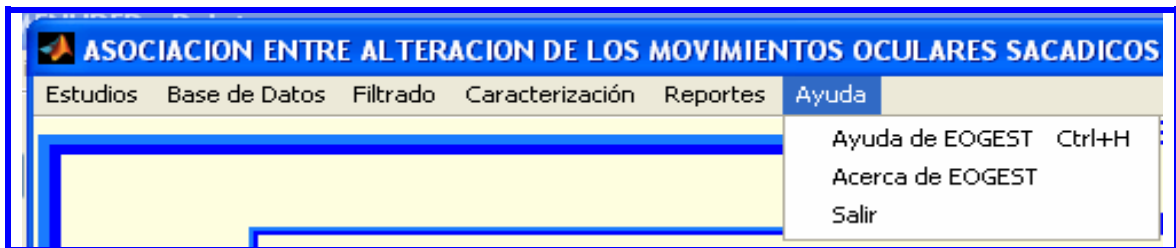
Figura 60. Menú Principal-Characterización



**Figura 61. Menú Principal-Reportes**

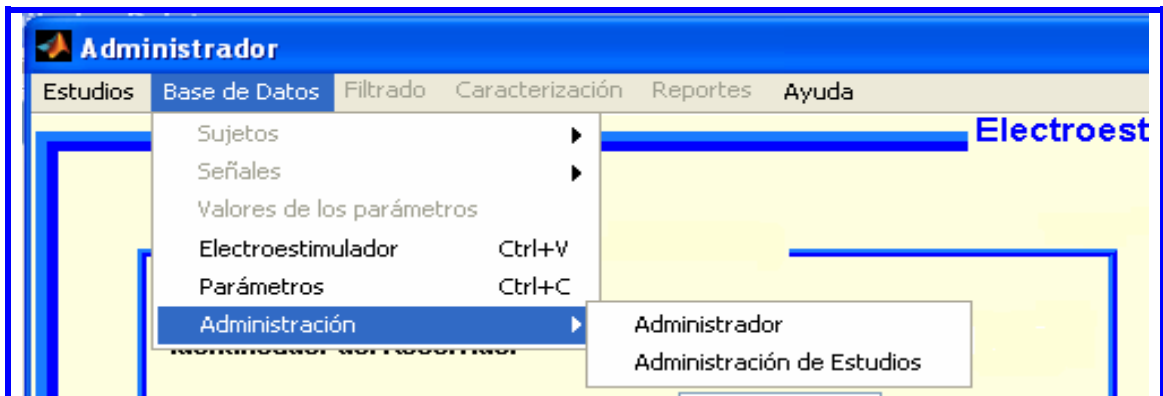


**Figura 62. Menú Principal-Ayuda**



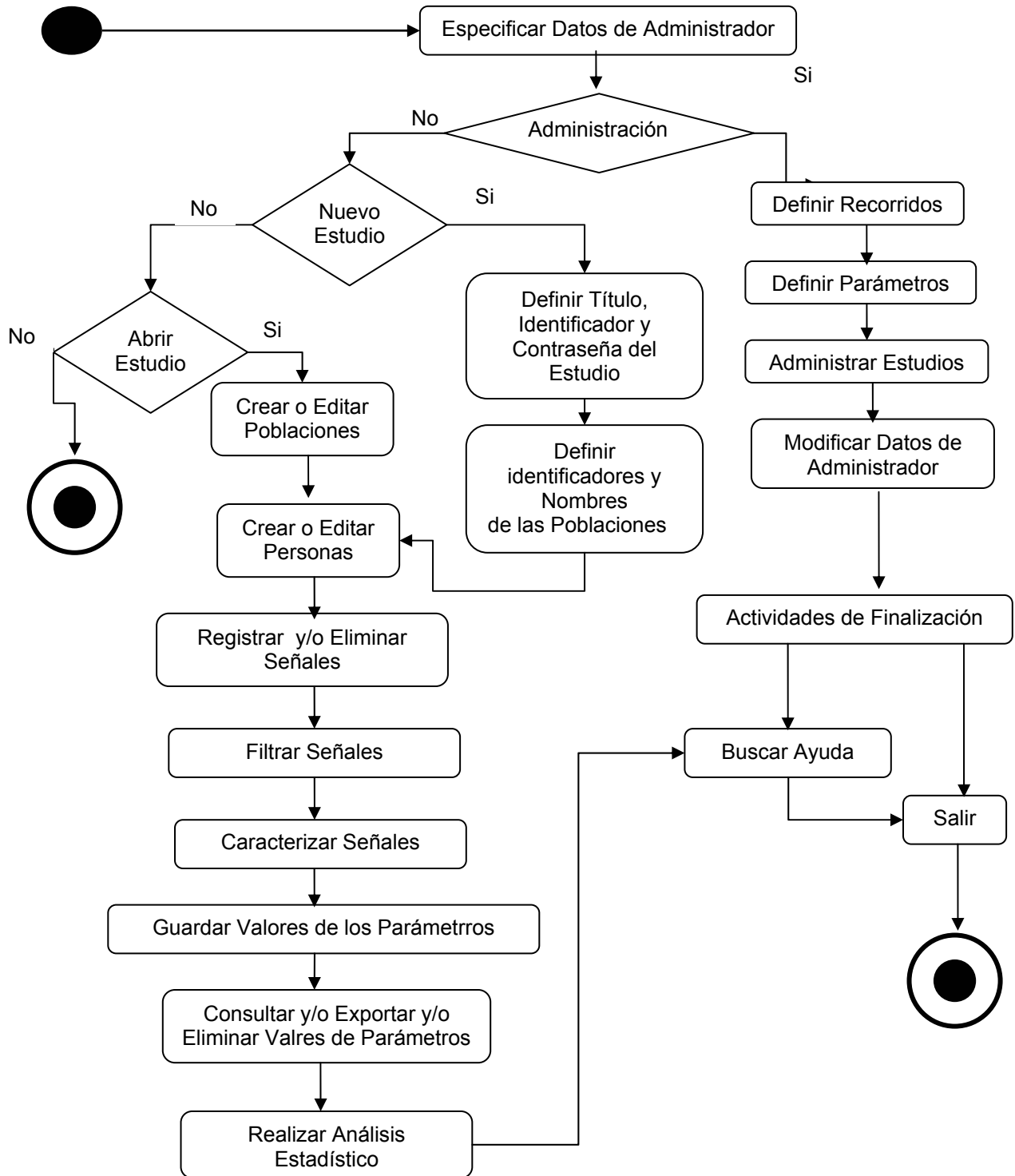
Si el ingreso al software fue como Administrador solo estarán habilitadas las secciones del menú que se muestran a continuación:

**Figura 63. Menú Principal-Administración**



## 6.12 DIAGRAMA DE ACTIVIDADES EOGEST

Figura 64. Actividades Generales EOGEST



## **7. APLICACIÓN DE EOGEST EN UN ESTUDIO DE CASOS Y CONTROLES**

La segunda parte del proyecto que se desarrolló, la constituye la utilización de la herramienta software implementada, EOGEST, como soporte en un estudio de casos y controles para determinar la asociación entre alteraciones de los movimientos oculares sacádicos y esquizofrenia.

### **7.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **7.1.1 Hipótesis de investigación**

¿Existe relación entre la alteración de los movimientos oculares sacádicos y la esquizofrenia?

#### **7.1.2 Justificación**

Como ya se nombró, con una prevalencia aproximada del 1% en la población mundial y con una incidencia anual de 10 a 15 casos por 100.000 habitantes, la esquizofrenia es un problema grave de salud pública, las personas que la padecen sufren una discapacidad importante que les provoca angustia, reduce sus rendimientos y disminuye la calidad de vida de los enfermos, debido a que en muchos de los casos estos pierden sus trabajos y/o sus familias y por ende su autoestima se ve deteriorada.

La esquizofrenia también implica una sobrecarga emocional y a veces económica debido a los costos que implica tanto para los enfermos, sus familiares y en general para la sociedad a la que pertenecen:

- Costos de tratamiento de la enfermedad.
- Costos por discapacidad de la persona.
- Según la OMS, es una de las principales enfermedades que produce pérdida de años potenciales de vida a causa de la discapacidad en que se halla el paciente.
- Elevada tasa de mortalidad (casos de suicidio como resultado de la enfermedad).

**Tabla 4. Las diez principales causas de discapacidad en todo el mundo (años de vida ajustados a discapacidad) en edades entre los 15 y los 44 años (1990)<sup>41</sup>**

<b>Enfermedad o daño</b>	<b>Clasificación</b>
Depresión mayor unipolar	1
Tuberculosis	2
Accidentes de tráfico	3
Consumo de alcohol	4
Daños autoprovocados	5
Trastorno bipolar	6
Guerra	7
Violencia	8
Esquizofrenia	9
Anemia ferropénica	10

Otro dato importante que se ha encontrado es que en Estados Unidos la atención de pacientes esquizofrénicos genera gastos directos que alcanzan los 19 billones de dólares (1 billón = mil millones) anuales. Sin embargo, el impacto económico no se debe tanto a los gastos médicos, sino a la pérdida de la capacidad productiva-laboral del enfermo y a la carga asistencial para la familia, cuyo costo por año se estima, en dicha nación, cercano a 46 billones de dólares. Por todo lo anterior, es importante que el médico tenga tanto la experiencia como las herramientas suficientes para reconocer la enfermedad y pueda diferenciarla de otras patologías clínicas.

Todos los problemas mencionados en los párrafos anteriores se mezclan con la estigmatización y la discriminación asociadas a la enfermedad, que a menudo obstaculizan la prestación de un tratamiento eficaz y la reintegración en la sociedad de las personas que padecen la enfermedad.

En varias publicaciones se registra que en ocasiones se suele ocultar la presencia de la esquizofrenia debido a la estigmatización y la vergüenza que sienten tanto las personas enfermas como sus allegados, existiendo así muchas personas que padecen la enfermedad y que no están diagnosticadas.

La mayoría de sujetos con síntomas de esquizofrenia no tienen conciencia de que presentan un trastorno psicótico (lo que se ha designado con el término anosognosia) y los datos que se tienen acerca de esta falta de conciencia, sugieren que no es una estrategia para hacer frente a la enfermedad, sino, más bien es una manifestación más de dicha enfermedad. Debido a esta

<sup>41</sup> En [www.esquizofreniabrelaspuertas.com/esquizofrenia/epidemiologia2.htm](http://www.esquizofreniabrelaspuertas.com/esquizofrenia/epidemiologia2.htm)

anosognosia, al individuo se le puede llegar a brindar una terapia inadecuada, lo que es causa de elevadas tasas de recaídas, de un mal funcionamiento social y a un mal curso de la enfermedad.

De acuerdo a estudios realizados en varias partes del mundo, la prevalencia de la esquizofrenia varía sustancialmente, siendo mayores las cifras de prevalencia en las poblaciones de países desarrollados que en las de países en vía de desarrollo. Esta diferencia puede deberse probablemente a la dificultad de identificar o diagnosticar a las personas con esquizofrenia en los países en vías de desarrollo. Incluso en los países con baja prevalencia, la esquizofrenia se constituye como un problema de salud pública debido a su gravedad, carácter crónico y la discapacidad que causa.

En la actualidad, no hay un tipo de prueba o examen ya sea de laboratorio, neurofisiológico o de cualquier otro tipo que indique con toda certeza y exactitud la presencia de esquizofrenia en forma temprana. El diagnóstico de la enfermedad en su fase inicial, es muy importante, ya que entre más temprano pueda detectarse, la persona diagnosticada tendría una mayor probabilidad de superar los síntomas y sus consecuentes efectos, siempre y cuando cumpla con el tratamiento médico antipsicótico que le sea indicado, evitando así la pérdida de años de vida productiva y de lazos familiares y afectuosos.<sup>42 43</sup>

Debido a lo mencionado, se ha querido realizar este estudio que pretende verificar si existen diferencias estadísticas significativas entre los parámetros obtenidos de las señales electrooculográficas de 2 muestras poblacionales: pacientes con esquizofrenia y personas sin esquizofrenia, y de esta manera avalar o no el uso de la electrooculografía como técnica de apoyo al diagnóstico de la esquizofrenia de manera temprana.

## **7.2 METODOLOGÍA**

### **7.2.1 Diseño del Estudio**

Este es un estudio analítico de Casos y Controles, con el cual se busca encontrar la posible relación entre la esquizofrenia y las alteraciones en los movimientos oculares sacádicos que presentan las personas con esquizofrenia, por medio de la determinación de parámetros característicos de la señal electrooculográfica de dichas personas.

---

<sup>42</sup> <http://www.binasss.sa.cr/poblacion/esquizofrenia.htm>

<sup>43</sup> [www.esquizofreniabrelaspuertas.com/esquizofrenia/epidemiologia2.htm](http://www.esquizofreniabrelaspuertas.com/esquizofrenia/epidemiologia2.htm)

### 7.2.2 Población de Estudio

El estudio se llevó a cabo con los pacientes ambulatorios que asistían al servicio de consulta externa del Hospital Psiquiátrico San Camilo y una persona adicional por cada paciente que participe en el estudio, siguiendo los aspectos éticos que se describen en el anexo A. Los participantes del estudio se clasificaron de la siguiente manera:

- Casos: Pacientes con diagnóstico establecido de esquizofrenia mayores de 18 años y que se encontraban en una fase estable de la enfermedad.
- Controles: Se seleccionó una persona que no tuviera lazos familiares con el paciente, emparejado por edad ( $\pm 5$  años del caso) y sexo, que no presentaba esquizofrenia.

### 7.2.3 Tamaño de la Muestra

Para el cálculo del tamaño de la muestra se decidió seleccionar el método partiendo del parámetro de interés<sup>44</sup>, que en este caso corresponde a una variable continua. Se tomaron en cuenta los resultados de estandarización del electrooculograma realizados por el grupo de Ingeniería Biomédica en personas mayores de 18 años, particularmente los datos señalados para la latencia. El tamaño de la muestra se calculó mediante la siguiente fórmula, planteándose a dos colas:

$$n = \frac{4\sigma^2(Z_{1-\alpha/2} + Z_{1-\beta})^2}{(\mu_1 - \mu_2)^2}$$

Los datos de entrada de la fórmula serían los siguientes:

$$\alpha = 0.05$$

$$\beta = 0.2$$

$$\sigma = 42 \text{ mseg}$$

$$\mu_1 = 207 \text{ mseg}$$

$$\mu_2 = 183 \text{ mseg}$$

---

<sup>44</sup> Lemeshow S, Hosmer D, Klar J, Lwanga S. Adequacy of sample size in health studies. John Wiley & Sons. New York; 1990

El cálculo del tamaño de la muestra es de 89 sujetos, es decir 45 por cada grupo de comparación. Al dejar 50 sujetos en cada grupo el poder es de 0.84.

En total se tomó la señal electrooculográfica a aproximadamente 120 personas de las cuales se seleccionaron, para asegurar el poder estadístico del estudio las siguientes:

- 50 pacientes con esquizofrenia
- 50 personas no familiares del paciente (Una por cada paciente con esquizofrenia)

Se incluyeron solo las personas que cumplieran con los requisitos psiquiátricos y oftalmológicos necesarios para ser incluidos dentro del estudio.

#### **7.2.4 Selección de Participantes**

Cada paciente junto con su respectivo control poblacional que voluntariamente participó en el estudio, debían tener buen estado de visión y ninguna de las anomalías que se citan a continuación:

- Trastornos de la binocularidad
- Parálisis musculares
- Exteriosis
- Insuficiencia de convergencia
- Cicatrices en la retina cerca a la mácula
- Discromatoxía

El examen oftalmológico u optométrico se hizo necesario para descartar que otros factores, en este caso las enfermedades oculares anteriormente mencionadas, diferentes a la presencia de esquizofrenia fueran los causantes de la variación de los parámetros de la señal electrooculográfica.

Lo ideal era aceptar personas con visión 20/20 que no necesitaran corrección visual (lentes), pero se incluyeron personas que alcancen una visión 20/20 con ayuda de correctores visuales.

Se tuvo en cuenta el diagnóstico que dio el optómetra u oftalmólogo encargado de hacer el examen de visión a cada persona candidata a participar en el estudio, además de la preselección hecha por el psiquiatra que lleva la historia clínica de los pacientes esquizofrénicos.

Los casos fueron seleccionados de los pacientes que asistían al servicio de consulta externa del Hospital Psiquiátrico San Camilo. El paciente con esquizofrenia, en lo posible, debía estar consumiendo por orden médica, una dosis mínima de los medicamentos que se le diagnosticaron para tratar su enfermedad. Esto, para evitar que una dosis muy alta de medicamentos, afectara la actividad del sistema oculo-motor de la persona y su reacción a estímulos visuales.

No se incluyeron pacientes o controles que presentaran trastornos por dependencia a alcohol u otras sustancias, antecedente de trauma craneoencefálico que haya producido pérdida de conciencia o enfermedades neurológicas.

Para el segundo y tercer ítem, se tuvo en cuenta el historial clínico y la preselección hecha por el psiquiatra encargado de los pacientes.

### **7.2.5 Evaluación Inicial**

La selección de los casos se realizó en el servicio de consulta externa del Hospital Psiquiátrico San Camilo. Se seleccionaron pacientes que habían recibido diagnóstico de Esquizofrenia independiente del subtipo clínico y se les invitó a participar en el estudio. Posteriormente el psiquiatra confirmó el diagnóstico mediante un modelo de entrevista estructurada basada en los criterios del Manual Diagnóstico y Estadístico de Enfermedades Mentales (cuarta edición) de la Sociedad Psiquiátrica Americana<sup>45</sup>.

En las entrevistas se incluyeron los diagnósticos de Trastorno Depresivo Mayor, Trastorno Bipolar tipo I, Trastorno Esquizoafectivo y Esquizofrenia. Las entrevistas tuvieron una duración de 30 minutos aproximados. Durante la entrevista se registraron los datos de identificación, sociodemográficos, medicamentos que recibían y la dosis respectiva. Una vez confirmado el diagnóstico, los pacientes fueron enviados para realizar la toma de las señales electrooculográficas.

A las personas que participaron como controles poblacionales se les realizó también la entrevista psiquiátrica con el fin de descartar la presencia de esquizofrenia.

---

<sup>45</sup> FIRST MB, SPITZER R, GIBBON M, WILLIAMS JB. Entrevista clínica estructurada para los trastornos del eje I del DSM-IV (versión clínica). Barcelona. Masson, 1999

A las personas que participaron en el estudio se les hizo una valoración optométrica integral para descartar enfermedades visuales que alteraran el funcionamiento normal del sistema oculomotor.

Cada uno de los participantes en el estudio (paciente y persona no familiar del paciente) firmaron un documento donde daban su consentimiento para que se les tomaran los exámenes que se incluían en el estudio (Ver Anexo B y Anexo C).

### **7.2.6 Toma de Señales Electrooculográfica**

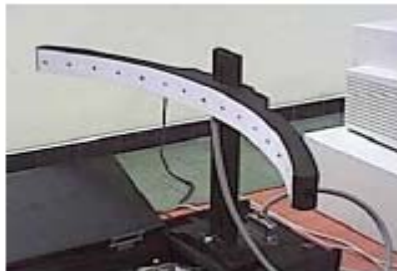
La señal electrooculográfica fue tomada de acuerdo a la metodología que se describe en los siguientes apartados.

#### **a) Equipos e Implementación**

Los equipos e implementos utilizados para la toma de la señal electrooculográfica fueron los siguientes:

- BIOPAC MP30 v3.6.5 (1997-2005 BIOPAC Systems, Inc California U.S.A): Equipo de adquisición de la señal.
- Computador con software de adquisición de la señal BSL PRO v 3.6.5 (1997-2005 BIOPAC Systems, Inc California U.S.A)
- Cables de adquisición de la señal.
- Electroestimulador: Equipo para guiar el movimiento ocular de las personas que intervienen en el estudio Figura 65.

**Figura 65. Electroestimulador**



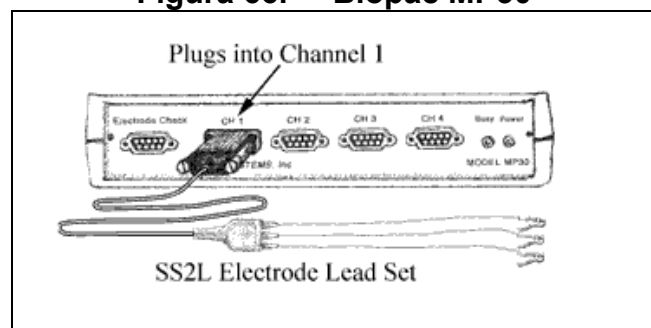
- 3 electrodos por persona
- Microporo

- Alcohol
- Algodón

## b) Procedimiento

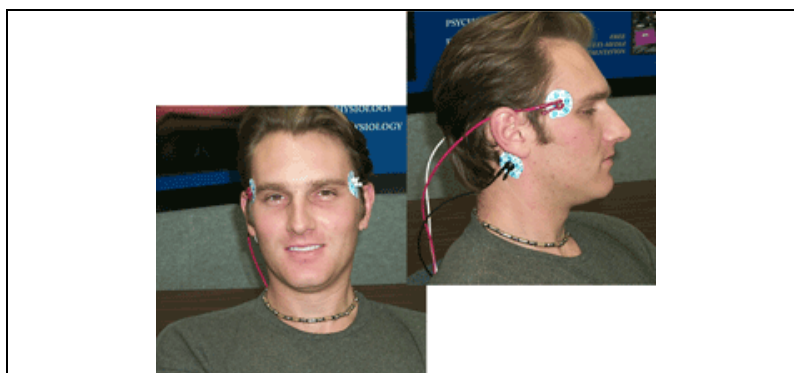
- Se le pidió a la persona que se despojara de todos los elementos metálicos que llevara consigo (celular, anillos, reloj, pulseras, aretes, cadenas, monedas, etc), para evitar interferencias durante la toma de la señal. Además se le dieron las siguientes indicaciones:
  - Durante la realización de la toma de la señal la persona no debía hablar ni sonreír.
  - No debía mover la cabeza, ni parpadear.
  - Debía estar lo más relajada posible.
  - Se debía despojar de objetos metálicos y celulares.
- Con un trozo de algodón impregnado de alcohol se limpiaba la superficie de la cara donde se colocariann los electrodos para evitar que el exceso de grasa o suciedad despeguen los mismos.
- Para la adquisición de la señal se utilizó el canal 1 del BIOPAC, al que se conectaban los cables SS2L de adquisición como se indica en la figura 66.

**Figura 66. Biopac MP30**



- Posteriormente se colocaban los electrodos como se indica en la figura 67 y eran adheridos con microporo para que no se desprendieran durante la toma. Los cables se conectaban de la siguiente manera:
  - El cable rojo al electrodo ubicado en el lado derecho
  - El cable blanco al electrodo del lado izquierdo.
  - El cable negro al electrodo ubicado detrás del oído del lado derecho (polo a tierra).

**Figura 67. Colocación de electrodos para la toma de señales electrooculográficas**



- La persona debía ubicarse sentada frente al electroestimulador y situar el mentón en el soporte destinado para ello como se indica en la figura 68.


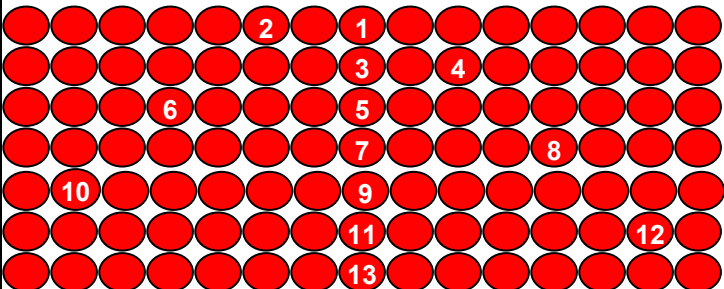
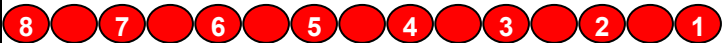



**Figura 68. Ubicación de la persona frente al electroestimulador**



- Se seleccionaba el recorrido que realizarían los leds en el electroestimulador con los switches correspondientes y la velocidad del encendido de los mismos con el selector de velocidad. Durante el transcurso de los recorridos, es decir, el encendido y apagado de los leds, la persona debía dirigir la mirada de acuerdo a las instrucciones que se le dieron, sin mover la cabeza.
- Se realizaron 6 tipos de recorridos como se muestra en la figura 69. Cada led estaba espaciado  $5^\circ$  entre sus vecinos y la numeración colocada sobre los leds, como se ve en cada figura, indica el orden en que se encendieron. Además se les pidió a las personas hacer algunos movimientos antisacádicos en los cuales la persona debía mirar el lado contrario y simétrico al del led que se encendía, a 10 y 20 grados de amplitud visual.

- Se iniciaba el software de adquisición de la señal BSL PRO v 3.6.5 que permitía la captura de la señal.

**Figura 69. Recorridos del electroestimulador**

Número de Secuencia	Secuencia de Recorrido	Tiempo Total de Recorrido (Segundos)	Tiempo de Encendido Entre leds (segundos)
R1V4		30	2
R4V4S		26	2
R3V4S		16	2
R3V4SI		16	2
ANT 10 (tarea de antisacada)		3	1.5
ANT20 (tarea de antisacada)		3	1.5

- Al tiempo que se activaron los leds para iniciar los recorridos se debía oprimir el botón de inicio del software del BIOPAC para que empezara la adquisición de la señal.
- Era importante que antes de empezar a adquirir la señal, se realizara una calibración del equipo, tomando una señal de prueba por unos diez segundos y observando la calidad de la señal. Si la señal era correcta se podía parar la toma de la señal actual y empezar a tomar la señal según el tiempo determinado para cada recorrido, pero si la señal no era lo que se esperaba, se debía revisar en que parte del

proceso se encontraba el origen de la señal incorrecta para volver a realizar la calibración de los instrumentos.

- La señal adquirida se guardaba en un archivo “.txt” cuyo nombre era la identificación de la persona a la cual se le estaba tomando la señal unido al identificador del recorrido que estaba realizando con la mirada.

Importante mencionar que cada una de las señales era tomada dos veces, una por cada evaluador, para realizar un posterior análisis inter-evaluador

### **7.3 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA**

Los datos de los formatos de recolección de información de cada persona se almacenaron diariamente en la base de datos MySQL y las señales tomadas se grabaron en medio magnético como archivos “identificacion\_Persona+recorrido+velocidad.txt”, para luego relacionarlas con la base de datos por medio de su identificación (cédula de ciudadanía) y el registro hecho de cada persona en los formatos de recolección de información.

Todos los datos de las personas participantes del estudio se digitaron por duplicado de forma independiente en dos bases de datos MySQL para detectar errores de digitación que se corrigieron de acuerdo a los formatos de recolección de información. Se sacaron copias de las señales tomadas grabándolas en medios magnéticos diferentes como previsión ante posible pérdida o daños que sufriera alguno de los archivos.

Mediante la herramienta EOGEST se filtraron y se caracterizaron las señales de todos los participantes del estudio. De igual forma, en el software diseñado se implementaron las funciones y métodos estadísticos que permitieron realizar el análisis estadístico de los diferentes parámetros de las señales guardadas en los archivos.

### **7.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Una vez obtenidos los parámetros de las señales electrooculográficas de los diferentes grupos en los cuales se dividió la población de estudio, se determinaron medidas de tendencia central y de dispersión de cada parámetro estudiado de la señal para cada grupo.

Para el análisis estadístico de los resultados finales, en el software EOGEST se tiene la opción de utilizar el método paramétrico ANOVA, el cual consiste de un análisis de varianzas de los datos obtenidos para diferentes poblaciones. Para este método se comprobó la normalidad de los datos utilizando la prueba de normalidad de Lilliefors. Además del ANOVA como método paramétrico para el análisis estadístico, se puede hacer en forma paralela un análisis de los valores sin normalizar por medio de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. La herramienta Software también permite un análisis estadístico de múltiple comparación de medias por medio del método Bonferroni.

## 7.5 VALIDACIÓN DEL ESTUDIO

Como se mencionó, por separado cada uno de los dos investigadores asociados tomó las señales electrooculográfica a cada una de las personas con los recorridos especificados anteriormente. Esto con el objetivo de aplicar una prueba de reproducibilidad Inter-evaluador al estudio.

Además los resultados que arrojó el estudio fueron comparados con resultados obtenidos en estudios similares realizados en Colombia y en el exterior.

## 7.6 RESULTADOS

A continuación se presentan las tablas de resultados del estudio de casos y controles. Por cada recorrido utilizado en el estudio, se presentan dos tablas, una por cada evaluador.

Se realizaron las pruebas de ANOVA y KRUSKAL-WALLIS, de acuerdo a la Normalidad o no Normalidad que presentaron los valores obtenidos, para determinar si la hipótesis nula **Ho:No hay diferencias entre las medias de los casos y los controles**, se rechazaba o no.

Se hizo la prueba correspondiente para cada sacada de cada recorrido y por cada uno de los parámetros, indicando si la hipótesis nula era rechazada(R), o no rechazada (NR).

Tabla 5. **Resultados Recorrido R1V4 Evaluador 1**

IDE. RECORRIDO	R1V4													
IDE. SACADA	S1 5°	S2 10°	S3 15°	S4 20°	S5 25°	S6 30°	S7 35°	S8 40°	S9 45°	S10 50°	S11 55°	S12 60°	S13 65°	S14 70°
Amplitud(°)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Amplitud(mV)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Duración	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ganancia	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Latencia	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R	R	R	R	R	R
Velocidad Pico	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Tabla 6. **Resultados Recorrido R1V4 Evaluador 2**

IDE. RECORRIDO	R1V4													
IDE. SACADA	S1 5°	S2 10°	S3 15°	S4 20°	S5 25°	S6 30°	S7 35°	S8 40°	S9 45°	S10 50°	S11 55°	S12 60°	S13 65°	S14 70°
Amplitud(°)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Amplitud(mV)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Duración	R	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ganancia	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Latencia	NR	NR	NR	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Velocidad Pico	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Tabla 7. **Resultados Recorrido R3V4S Evaluador 1**

IDE. RECORRIDO	R3V4S						
IDE. SACADA	S1 10°	S2 10°	S3 10°	S4 10°	S5 10°	S6 10°	S7 10°
Amplitud(°)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Amplitud(mV)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Duración	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ganancia	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Latencia	NR	NR	NR	R	R	R	R
Velocidad Pico	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Tabla 8. **Resultados Recorrido R3V4S Evaluador 2**

IDE. RECORRIDO	R3V4S						
IDE. SACADA	S1 10°	S2 10°	S3 10°	S4 10°	S5 10°	S6 10°	S7 10°
Amplitud(°)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Amplitud(mV)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Duración	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ganancia	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Latencia	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Velocidad Pico	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Tabla 9. **Resultados Recorrido R3V4SI Evaluador 1**

IDE. RECORRIDO	R3V4SI						
IDE. SACADA	S1 10°	S2 10°	S3 10°	S4 10°	S5 10°	S6 10°	S7 10°
Amplitud(°)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Amplitud(mV)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Duración	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ganancia	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Latencia	R	NR	R	NR	NR	R	R
Velocidad Pico	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Tabla 10. **Resultados Recorrido R3V4SI Evaluador 2**

IDE. RECORRIDO	R3V4SI						
IDE. SACADA	S1 10°	S2 10°	S3 10°	S4 10°	S5 10°	S6 10°	S7 10°
Amplitud(°)	R	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Amplitud(mV)	R	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Duración	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ganancia	R	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Latencia	NR	NR	NR	NR	NR	R	R
Velocidad Pico	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Tabla 11. **Resultados Recorrido R4V4S Evaluador 1**

IDE. RECORRIDO	R4V4S											
IDE. SACADA	S1I 10°	S1CD 10°	S1D 10°	S1CI 10°	S2I 20°	S2CD 20°	S2D 20°	S2CI 20°	S3I 30°	S3CD 30°	S3D 30°	S3CI 30°
Amplitud(°)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Amplitud(mV)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Duración	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ganancia	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Latencia	NR	R	R	R	NR	R	R	R	R	R	R	R
Velocidad Pico	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Tabla 12. **Resultados Recorrido R4V4S Evaluador 2**

IDE. RECORRIDO	R4V4S											
IDE. SACADA	S1I 10°	S1CD 10°	S1D 10°	S1CI 10°	S2I 20°	S2CD 20°	S2D 20°	S2CI 20°	S3I 30°	S3CD 30°	S3D 30°	S3CI 30°
Amplitud(°)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Amplitud(mV)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Duración	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ganancia	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Latencia	NR	NR	NR	R	NR	R	R	R	R	R	NR	R
Velocidad Pico	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Tabla 13. **Resultados Recorrido ANT10 Evaluador 1**

<b>DE. RECORRIDO</b>	<b>ANT10</b>
<b>IDE. SACADA</b>	<b>AS1 10°</b>
Amplitud(°)	NR
Amplitud(mV)	NR
Duración	NR
Ganancia	NR
Latencia	R
Velocidad Pico	NR

Tabla 14. **Resultados Recorrido ANT10 Evaluador 2**

<b>IDE. RECORRIDO</b>	<b>ANT10</b>
<b>IDE. SACADA</b>	<b>AS1 10°</b>
Amplitud(°)	NR
Amplitud(mV)	NR
Duración	NR
Ganancia	NR
Latencia	R
Velocidad Pico	NR

Tabla 15. **Resultados Recorrido ANT20 Evaluador 1**

<b>IDE. RECORRIDO</b>	<b>ANT20</b>
<b>IDE. SACADA</b>	<b>AS1 20°</b>
Amplitud(°)	NR
Amplitud(mV)	NR
Duración	NR
Ganancia	NR
Latencia	R
Velocidad Pico	NR

Tabla 16. **Resultados Recorrido ANT20 Evaluador 1**

<b>IDE. RECORRIDO</b>	<b>ANT20</b>
<b>IDE. SACADA</b>	<b>AS1 20°</b>
Amplitud(°)	NR
Amplitud(mV)	NR
Duración	NR
Ganancia	NR
Latencia	R
Velocidad Pico	NR

## CONCLUSIONES

Luego de la culminación de este proyecto de grado se pueden obtener diferentes aportes y conclusiones. La primera de ellas es que se hicieron aportes en el campo de la electrooculografía, al determinar algunas relaciones matemáticas entre los parámetros característicos de las sacadas. Estas relaciones, que no se encontraban descritas en la literatura, son importantes a la hora de hallar valores más precisos de los parámetros.

La determinación de algunas características en frecuencia de las señales electrooculográficas, permitió la elección y utilización de las diferentes técnicas de filtrado que más se adaptaran a la naturaleza de las señales electrooculográficas. Aparte del uso de la Transformada de Wavelet, método que ya ha sido utilizado en el filtrado de señales biológicas, se implementó el uso del algoritmo de Parks-McClellan, y se ha encontrado que este algoritmo, aunque tiene un mayor costo computacional, es más eficiente en el filtrado de la señal electrooculográfica, ya que con él, la morfología de la señal es menos alterada, que con la aplicación de la Transformada Wavelet para el filtrado.

Otro de los avances que se realizó en materia de electrooculografía, fue el diseño de un algoritmo que identificara de manera rápida y efectiva la localización de las sacadas en una señal electrooculográfica. Este algoritmo le dio una aplicación nueva a las Wavelets, que en la mayoría de las veces están orientadas únicamente como herramientas de filtrado.

En el campo de la informática y la ingeniería de software, se implementó una aplicación muy completa y sencilla de utilizar en el tratamiento y análisis estadístico de señales electrooculográficas.

Las características estructurales de la base de datos que se integra a la interfaz, permite que la aplicación pueda ser usada en estudios que tengan el análisis de señales electrooculográficas como tema central de estudio. Esta base de datos está diseñada para que se puedan registrar y almacenar grandes volúmenes de información, como ocurrió en el estudio de casos y controles al que sirvió como soporte, ya que se debieron almacenar más de 100.000 registros pertenecientes a los valores de los parámetros de cada una de las sacadas que se registraban en las señales EOG tomadas a los pacientes.

Aparte de los adelantos que se generaron en materia de software, también se avanzó en la adecuación de los equipos utilizados en la toma de la señal electrooculográfica, pues al equipo Electroestimulador se le acondicionaron nuevas funcionalidades que permiten generar estímulos de 6 maneras distintas, a 4 velocidades diferentes; de esta manera se pueden obtener señales electrooculográficas de varias formas, para su análisis y caracterización.

Como resultado del estudio de posible asociación entre alteración de los movimientos oculares sacádicos y esquizofrenia, podemos destacar varios aspectos, de acuerdo con los resultados del análisis estadístico de los datos recolectados:

- En la realización de los movimientos sacádicos no existen diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de los parámetros que se midieron para las sacadas presentes en las señales electrooculográficas de cada grupo poblacional. El único parámetro en el cual existen diferencias significativas es el correspondiente a la variable de latencia.
- Comparando los resultados obtenidos por cada evaluador para el recorrido denominado R1V4 (movimientos sacádicos), se puede observar que el análisis de la varianza de los tiempos de latencia, difiere para sacadas de amplitudes menores de  $45^\circ$ , pero que para sacadas de mayor amplitud, los resultados rechazan la hipótesis nula de no diferencia. Esto indica con alguna certeza que los pacientes con esquizofrenia tienden a demorar la reacción ante estímulos que impliquen desplazamiento visual de amplitudes medianas y grandes. Este hecho es observado en los resultados obtenidos para el recorrido denominado R4V4S, en donde se encontró que el análisis de la varianza realizado por ambos evaluadores, arroja diferencias significativas en los tiempos de latencia de las sacadas con amplitudes mayores o iguales a  $20^\circ$ , al rechazar la hipótesis nula.
- Para movimientos sacádicos en los cuales se realizan desplazamientos visuales cortos de  $10^\circ$  aproximadamente, como los generados por los recorridos denominados R3V4S y R3V4SI, no presentan diferencias estadísticamente significativas en sus parámetros, salvo en el tiempo de latencia de sacadas ubicadas al final del recorrido. Esta diferencia se presenta igual en la valoración hecha por cada evaluador del recorrido R3V4SI, pero no se presenta de la misma manera en el recorrido R3V4S, lo que puede estar indicando una mayor dificultad de los pacientes esquizofrénicos para reaccionar a estímulos ubicados en el extremo derecho de su campo visual. Lo anterior se pudo presentar debido a la dominancia hemisférica de las personas, por ejemplo si la

persona es diestra o zurda, esto puede ser un factor que haya influido en los resultados que se encontraron.

- En el análisis de la varianza para los movimientos antisacádicos, por parte de ambos evaluadores, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas únicamente en el parámetro de latencia. Esta diferencia en el tiempo de latencia es independiente de la amplitud del movimiento antisacádico, pues se presentó tanto en el recorrido ANT10 como en el ANT20, cuyas amplitudes son de 10 y 20 grados respectivamente. Este retraso en el tiempo de reacción se debe a lo que se describe en la literatura como una dificultad que presentan los pacientes esquizofrénicos de inhibir la reacción al estímulo presentado, con el fin de dirigir la mirada hacia el lado contrario.

Los resultados señalados en los párrafos anteriores concuerdan con los de diversos estudios realizados en otras poblaciones, es decir, que los pacientes con diagnóstico de esquizofrenia presentaban alteraciones en el desarrollo de tareas antisacádicas.

Durante el análisis de las señales, se pudo observar que en las señales electrooculográficas de los pacientes, se presentaban un gran número de sacadas que no correspondían al estímulo visual que se les proporcionaba en ese instante, por ejemplo se hallaron sacadas dentro de intervalos de tiempo correspondientes a los momentos de fijación. Otra observación que se hizo, es que en algunos pacientes se hallaban sacadas con más de dos cortes, cosa que no se presentó en las señales de los controles. Las observaciones descritas anteriormente, pudieron haberse presentado a causa de la falta de concentración. Este déficit de atención, hace que el paciente no pueda centrarse en una sola actividad, y pierda el hilo de la tarea que está realizando en un determinado instante. Otra causa puede ser el tipo de medicamentos con los cuales el paciente trata la enfermedad, ya que algunos de estos fármacos, pueden causar que la persona presente movimientos bruscos que no son capaces de controlar.

Las conclusiones y observaciones que se han descrito en este apartado, nos sugieren que el análisis de los movimientos oculares registrados por medio del electrooculograma, puede ser una herramienta que sirva de apoyo en el diagnóstico de la esquizofrenia, ya que se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos participantes del estudio. Además de estas diferencias estadísticas, se pudieron observar otras diferencias de tipo descriptivo en la morfología de la señal, en cuanto al número de sacadas que presentaron los casos con respecto a los controles.

Como resultado general de la realización de este proyecto, se puede mostrar un mejoramiento de la plataforma para la realización de estudios electrooculográficos desarrollada en el grupo de Investigación en Ingeniería

Biomédica. Estas mejoras deben ser el punto de partida de nuevas propuestas para avanzar hacia la consolidación de la Electrooculografía como rama importante de la biomedicina aplicada al mejoramiento de la salud de las personas.

## **RECOMENDACIONES**

Para futuros trabajos acerca del tratamiento de la señal electrooculográfica, se proponen las siguientes recomendaciones, con el objetivo de plantear mejoras a lo que hay hasta el momento:

Mejoras al Electroestimulador, en cuanto a su parte de metal que sirve de soporte. Esto con el fin de reducir al mínimo cualquier tipo de interferencia que el metal pueda producir en las señales. También se pueden hacer cambios en la programación del microcontrolador, para agregarle funcionalidades al electroestimulador.

Desarrollo de una nueva versión del software, en la que este pueda detectar y sacar valores de las secciones correspondientes a las fijaciones, y evaluar otros tipos de parámetros que pueda tener la señal. Orientar la utilización del software desarrollado hacia el diagnóstico clínico.

Continuar con el estudio de la Transformada de Wavelet no solo en su utilización para el filtrado de señales, sino también para la caracterización de estas, haciendo énfasis en su propiedad de detectar frecuencias indicando el instante en que se presentan.

Profundizar más en el estudio de métodos estadísticos, debido a su utilidad al momento de analizar los resultados que se obtengan de los estudios que se realicen en el futuro.

## BIBLIOGRAFIA

BELLANGER Maurice. Digital Processing of Signals: Teory and Practice. Segunda Edición. Ed. John Wiley & Sons. 1994;1-388.

BUSTAMANTE B, Jairo. Neuroanatomía Funcional y Clínica –Atlas del Sistema Nervioso Central. Tercera Edición Colombia. Editorial Celsus 2001. 523 Páginas.

CALKINS Monica, IACONO William, CURTIS Clayton. Smooth Pursuit and Antisaccade Performance Evidence Trait Stability in Schizophrenia Patients and Their Relatives. International Jurnal of Psychophysiology 2003;49:139-146.

Diccionario de Medicina-Oceano Mosby. Cuarta Edición del original en ingles 2004 España. Editorial Oceano. 1504 páginas.

ETTINGER, Ulrich. KUMARI, Veena. ZACHARIAH, Elizabeth. GALEA, Adrian. CRAWFORD, Trevor J. CORR, Philip J. TAYLOR, David. DAS, Mrigendra. SHARMA, Tonmoy. Effects of Procyclidine on Eye Movements in Schizophrenia. Neuropsychopharmacology 2003;28,2199-2208.

FREEDMAN R. Schizophrenia. New England Journal of Medicine 2003; 349: 1738-49.

JACOBSON, Ivar. BOOCH, Grady. RUMBAUGH, James. (Racional Software Corporation). El Proceso Unificado de Desarrollo de Software. Editorial Addison Wesley, Edición en Español por Editorial Pearson Educación, S.A 2000, Madrid-España. 438 Páginas

JACOBSON, Ivar. BOOCH, Grady. RUMBAUGH, James. (Racional Software Corporation). El Lenguaje Unificado de Modelado. Editorial Addison Wesley Iberoamericana, Madrid-España 1999. 432 Páginas.

LENCER Rebekka, MALCHOW Carsten, TRILLENBERG-KRECKER Katia, SCHWINGER Eberhard, AROLT Volker. Eye-Tracking Dysfunction (ETD) in Families With Sporadic and Familial Schizophrenia. Biol Psychiatry 2000; 47:391-401.

MATLAB 7 release 14 (help guide)

MONTGOMERY, Douglas C. RUNGER, George C. Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería. Editorial McGraw-Hill México 1996. 1094 Páginas.

ORFANIDIS Sophocles. Introduction to Signal Processing. Ed. Prentice Hall.1996;1-798.

PAGANO, Marcelo. GAUVREAU, Kimberlee. Fundamentos de Bioestadística. Segunda Edición. Editorial Thomson Learning México 2001. 525 Páginas.

PROAKIS, John. MANOLAKIS, Dimitris. Tratamiento Digital de Señales: Principios, Algoritmos y Aplicaciones. Tercera Edición. Ed. Prentice Hall. 1996;1-976.

RORABAUGH, C. Britton. DSP Primer. Editorial McGraw Hill. EEUU. 540 páginas. En <http://site.ebrary.com/lib/bibliouis/Doc?id=10015310&ppg=289>

SAAVEDRA MEJIA Ana Jimena C., VILLAR TORRES Julieta. Algoritmo Computacional que Permita Caracterizar y Analizar los Parámetros de la Señal Electrooculográfica del Movimiento Sacádico en Personas Sanas del Área Metropolitana de Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2004;1-101 Páginas.

SADOCK B, SADOCK V. Kaplan & Sadock's Comprehensive Textbook of Psychiatry. Seventh Edition. Philadelphia PA. Lippincott Williams & Wilkins 2000

SCHMULLER, Joseph. Aprendiendo UML en 24 Horas. Prentice Hall España (Pearson Educacion, S.A.) 2001. 423 Páginas.

SPIEGEL, Murray R. Estadística. Segunda Edición. Editorial McGraw-Hill España 1997. 556 Páginas.

STRUM Robert D., KIRA Donald E. First Principles of Discrete Systems and Digital Signal Processing. Editorial Addison-Wesley Publishing Company. EEUU 1989. 848 páginas.

THAKER Guntant, ROSS David, CASSADY Shawn, ADAMI Helene, MEDOFF Deborah, SHER Jay. Saccadic eye movement abnormalities in relatives of patients with schizophrenia. Schizophrenia Research 2000;45: 235–244.

WALDO Merilyne, ADLER Lawrence, LEONARD Sherry, OLINCY Ann, ROSS Randal, HARRIS Josette, FREEDMAN Robert. Familial Transmission of Risk Factors in the First-Degree Relatives of Schizophrenic People. Biol Psychiatry 2000;47:231-239.

WILLIAMS, Charles S. Designing Digital Filters. Ed. Prentice Hall 1986;1-349.

World Health Organization. The world health report 2001: Mental health: new understanding, new hope. Geneva; 2001.

- <http://alumnat.upv.es/pla/visfit/2578/AAAGNXAAXAAAD5iAA8/pfgsoo.doc>
- <http://apuntes.rincondelvago.com/estadistica-no-parametrica.html>
- <http://atenea.ucauca.edu.co/~gramirez/archivos/AnotacionesRUP.pdf>
- <http://aula.el-mundo.es/aula/noticia.php/2004/05/20/>
- <http://aula1084984374.html>
- <http://biosalud.saber.ula.ve/semiologia/exfisico/parIII.html>
- <http://butler.cc.tut.fi/~malmivuo/bem/bembook/00/co.htm>
- [http://cursosgratis.emagister.com/frame.cfm?id\\_user=98320530910200618536770675070535&id\\_centro=27422070033149505256526748524548&id\\_curso=51538020050251695657704948664550&url\\_frame=http://www-gris.det.uvigo.es/~avilas/UML/UML.html](http://cursosgratis.emagister.com/frame.cfm?id_user=98320530910200618536770675070535&id_centro=27422070033149505256526748524548&id_curso=51538020050251695657704948664550&url_frame=http://www-gris.det.uvigo.es/~avilas/UML/UML.html)
- [http://edison.upc.edu/curs/llum/luz\\_vision/p1.html](http://edison.upc.edu/curs/llum/luz_vision/p1.html)
- [http://edison.upc.es/curs/llum/luz\\_vision/p\\_visual.html](http://edison.upc.es/curs/llum/luz_vision/p_visual.html)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje\\_Unificado\\_de\\_Modelado](http://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje_Unificado_de_Modelado)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Nervio\\_%C3%B3ptico](http://es.wikipedia.org/wiki/Nervio_%C3%B3ptico)
- <http://escuela.med.puc.cl/Publ/ManualSemiologia/OjoMovEstrabt.html>
- <http://gidis.ing.unlpam.edu.ar/downloads/pdfs/IntroduccionUML.PDF>
- [http://hcpc.uth.tmc.edu/spanish\\_schizophrenia.htm](http://hcpc.uth.tmc.edu/spanish_schizophrenia.htm)
- [http://hcpc.uth.tmc.edu/spanish\\_schizophrenia.htm#types](http://hcpc.uth.tmc.edu/spanish_schizophrenia.htm#types)
- <http://healthgate.partners.org/browsing/LearningCenter.asp?fileName=121173.xml&title=Nistagmus>
- <http://healthinmind.com/Spanish/drugpagespanish.htm>
- <http://hechosdelajusticia.org/sexta/DELINCUENTE%20NATO.pdf>
- <http://images.google.com.co/imgres?imgurl=http://biblia.com/maravillas/images/ojo14.gif&imgrefurl=http://biblia.com/maravillas/ojo.htm&h=267&w=330&sz=14&hl=es&start=679&tbnid=HtpcZIRfJNbhNM:&tbnh=96&tbnw=119&prev=/images%3Fq%3Dojo%2B%26start%3D660%26ndsp%3D20%26svnum%3D10%26hl%3Des%26lr%3D%26sa%3DN>
- <http://infecepi.unizar.es/pages/ratio/formC/formCb2.htm>

- [http://issemym.edomex.gob.mx/ISSEMYM/Servicios\\_Salud/MedicinaPr eventiva/vista\\_estrabismo.htm](http://issemym.edomex.gob.mx/ISSEMYM/Servicios_Salud/MedicinaPr eventiva/vista_estrabismo.htm)
- [http://patoral.umayor.cl/~benjamin.martinez/anestbas/est\\_nopara.ht](http://patoral.umayor.cl/~benjamin.martinez/anestbas/est_nopara.ht)
- [http://pdf.rincondelvago.com/analisis-de-la-varianza\\_1.html](http://pdf.rincondelvago.com/analisis-de-la-varianza_1.html)
- <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/167/16720111.pdf> –
- <http://serdis.dis.ulpgc.es>
- <http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicalnteractiva/OptGeometrica/Instrumentos/ollo/ollo.htm>
- <http://trevinca.ei.uvigo.es/~ebalonso/asignaturas/esx/guiones/esxClase8.pdf-ResultadoSuplementario>
- <http://usuarios.lycos.es/ooopere/uml.htm>
- [http://w3.cnice.mec.es/eos/MaterialesEducativos/mem2000/cuerpo/programa/html/textos-sentidos/musculos\\_del\\_ojo.htm#musculo\\_recto\\_superior](http://w3.cnice.mec.es/eos/MaterialesEducativos/mem2000/cuerpo/programa/html/textos-sentidos/musculos_del_ojo.htm#musculo_recto_superior)
- <http://webvision.med.utah.edu/spanish/otrascel.html>
- <http://www.alcmeon.com.ar>
- [http://www.americasistemas.com.pe/noticiero\\_digital/omg.htm](http://www.americasistemas.com.pe/noticiero_digital/omg.htm)
- <http://www.angelfire.com/scifi/jzavalar/apuntes/IngSoftware.html#ProcUnificado>
- <http://www.aplushosting.com/spanish/tutorials/mysql.phtml>
- [http://www.binarea.net/descargas/binarea\\_introduccion\\_proceso\\_unificado.pdf](http://www.binarea.net/descargas/binarea_introduccion_proceso_unificado.pdf)
- <http://www.binasss.sa.cr/poblacion/esquizofrenia.htm>
- <http://www.biopac.com>
- <http://www.cc.uah.es/ssalonso/LaboratorioTecnologia/Casos%20de%20Uso%20UML.pdf>
- <http://www.ccee.edu.uy/ensenian/licest/estnpar/material.htm>
- [http://www.cepmalaga.com/actividades/interedvisual/ftp\\_p\\_/res\\_ocul\\_comunes\\_joser.pdf](http://www.cepmalaga.com/actividades/interedvisual/ftp_p_/res_ocul_comunes_joser.pdf)
- <http://www.cfnavarra.es/salud/anales/textos/vol20/n2/revis2a.html>
- <http://www.clikear.com/manuales/uml/>
- [http://www.clinano.com.ar/publicaciones/atprim\\_1.htm](http://www.clinano.com.ar/publicaciones/atprim_1.htm)
- <http://www.creangel.com/uml/diagramas.php#>
- <http://www.cs.ualberta.ca/~pfiguero/soo/uml/>
- <http://www.ctv.es/USERS/mharto/preguntas/Estrabismo.htm>
- <http://www.dcc.uchile.cl/~psalinas/uml/introduccion.html>
- <http://www.diariosalud.com/enfermedades.php?op=contenido&sid=486>
- [http://www.drscope.com/pac/mg/b4/mgb4\\_p25.htm](http://www.drscope.com/pac/mg/b4/mgb4_p25.htm)
- <http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/OP00305M.pdf>
- <http://www.encuentros.uma.es/encuentros90/esquizofrenia.htm>
- [http://www.e-pfb.com/ebimetria/pfb\\_teb/tecnicas\\_y\\_casos/te14.pdf](http://www.e-pfb.com/ebimetria/pfb_teb/tecnicas_y_casos/te14.pdf)

- <http://www.esquizofreniabrelaspuertas.com>
- <http://www.eumed.net/tesis/mggs/2n.htm>
- [http://www.fairview.org/healthlibrary/content/ma\\_amitript\\_sm.htm](http://www.fairview.org/healthlibrary/content/ma_amitript_sm.htm)
- <http://www.fing.edu.uy/inco/cursos/numerico/ed/intromat.pdf>
- <http://www.fisterra.com/mbe/investiga/index.asp>
- <http://www.fmed.uba.ar/depto/anatomia1/semneu6.pdf>
- <http://www.geocities.com/fabianroch/funciojo.html>
- <http://www.geocities.com/txmetsb/UML-Use-cases.htm>
- <http://www.gratistodogratias.com.ar/sitios/cienciaytecnologia/estadistica/>
- [http://www.healthsystem.virginia.edu/UVAHealth/peds\\_growth\\_sp/vispr\\_obs.cfm](http://www.healthsystem.virginia.edu/UVAHealth/peds_growth_sp/vispr_obs.cfm)
- <http://www.horusgo.com/elojo.htm>
- <http://www.icesi.edu.co/>
- [http://www.iit.upco.es/palacios/matlab/curso\\_matlab.pdf](http://www.iit.upco.es/palacios/matlab/curso_matlab.pdf)
- <http://www.iladiba.com/upr/1997/No71997/htm/esquiz.asp>
- <http://www.iladiba.com/upr/1997/No71997/htm/esquiz.asp>
- <http://www.iladiba.com/upr/1997/No71997/htm/esquiz2.asp>
- <http://www.iladiba.com/upr/1997/No71997/htm/esquiz3.asp>
- <http://www.iladiba.com/upr/1997/No71997/htm/esquiz4.asp>
- <http://www.inaoep.mx/~rincon/ojo.html>
- <http://www.inf.udec.cl/~eossesa/DSIS/docs/3>
- [http://www.lfp.uba.ar/moreno/TErrores2004/Chi\\_cuadrado.pdf](http://www.lfp.uba.ar/moreno/TErrores2004/Chi_cuadrado.pdf)
- <http://www.liv.ac.uk>
- <http://www.mcghealth.org/Greystone/speds/eye/eyeant.html>
- <http://www.microsoft.com>
- <http://www.monografias.com>
- <http://www.monografias.com/trabajos5/ojo/ojo.shtml>
- <http://www.multikulti.org.uk/es/health/understanding-schizophrenia/>
- <http://www.mysql.com/>
- <http://www.mysql-hispano.org>
- <http://www.nami.org/Template.cfm?Section=Helpline1&Template=/ContentManagement/ContentDisplay.cfm&ContentID=4633>
- <http://www.neurology.arizona.edu/Training/c10.html>
- [http://www.objectsbydesign.com/tools/umltools\\_byPrice.html](http://www.objectsbydesign.com/tools/umltools_byPrice.html)
- <http://www.oftalmo.com/estrabologia/>
- <http://www.oftalmo.com/estrabologia/rev-97/97-01.htm>
- <http://www.oftalmologia.org.mx/oaf.html>
- <http://www.osmosislatina.com/lenguajes/uml/actividad.htm>
- <http://www.osmosislatina.com/lenguajes/uml/casos.htm>
- <http://www.pdipas.us.es/a/aquijim/79-visual-S-I-1.ppt>

- [http://www.programacion.com/bbdd/tutorial/mysql\\_basico/1/](http://www.programacion.com/bbdd/tutorial/mysql_basico/1/)
- <http://www.programacion.com/tutorial/uml/3/>
- <http://www.psicoadictiva.com/esquizof.htm>
- <http://www.psicologia-online.com/ciopa2001/actividades/50/index.html>
- <http://www.psicologia-online.com/colaboradores/esther/esquizofrenia1/index.shtml>
- <http://www.psicologia-online.com/ebooks/general/neurotransmisores.htm>
- [http://www.puc.cl/sw\\_educ/neurociencias/html/190.html](http://www.puc.cl/sw_educ/neurociencias/html/190.html)
- [http://www.siste.com.ar/ojo\\_humano.htm](http://www.siste.com.ar/ojo_humano.htm)
- <http://www.smo.org.mx/revista/pdf/8001/2006-80-1-30-36.pdf>
- [http://www.solocursos.net/curso-MatriculaShow.cfm?id\\_curso=47467020062257496557574865524566&id\\_centro=57953030052957564866666952674548&Nombre=monica&Mail=monica\\_blanco\\_diaz@yahoo.es&Pais=4&Provincia=173](http://www.solocursos.net/curso-MatriculaShow.cfm?id_curso=47467020062257496557574865524566&id_centro=57953030052957564866666952674548&Nombre=monica&Mail=monica_blanco_diaz@yahoo.es&Pais=4&Provincia=173)
- <http://www.tarso.com/Anatomia.html>
- <http://www.tupediatra.com/temas/tema187.htm>
- [http://www.uam.es/personal\\_pdi/economicas/eva/pdf/anova.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/economicas/eva/pdf/anova.pdf)
- [http://www.uam.es/personal\\_pdi/psicologia/travieso/web\\_percepcion/sistemav.html](http://www.uam.es/personal_pdi/psicologia/travieso/web_percepcion/sistemav.html)
- <http://www.ub.es/oftalmo/clases/lec24/lec24.htm>
- [http://www.uc.cl/sw\\_educ/neurociencias/html/190.html](http://www.uc.cl/sw_educ/neurociencias/html/190.html)
- [http://www.udc.es/dep/mate/estadistica2/secres\\_1.html](http://www.udc.es/dep/mate/estadistica2/secres_1.html)
- [http://www.um.es/analesps/v20/v20\\_1/11-20\\_1.pdf](http://www.um.es/analesps/v20/v20_1/11-20_1.pdf)
- [http://www.uned.es/eyemovements-lab/links/tipos\\_movimientos.htm](http://www.uned.es/eyemovements-lab/links/tipos_movimientos.htm)
- [http://www.universas.com/matlab/index.php?\\_p=docs.php](http://www.universas.com/matlab/index.php?_p=docs.php)
- <http://www-etsi2.ugr.es/depar/ccia/mia/guide.html>

## **ANEXOS**

## **ANEXO A**

### **ASPECTOS ÉTICOS**

La realización del presente trabajo se adecua a las recomendaciones para investigación biomédica de la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial. Los procesos de la investigación serán llevados a cabo por personas calificadas y competentes desde el punto de vista clínico. La responsabilidad del estudio recae en los investigadores principales, quienes cuentan con los recursos técnicos y científicos para hacerlo clínicamente competentes. Ninguno de los informantes va a ser sometido a intervenciones experimentales.

El estudio pretende determinar la asociación entre alteración de movimientos oculares y esquizofrenia. La participación del sujeto de estudio implica la participación en una entrevista psiquiátrica estructurada de 30 minutos para confirmar y tipificar el subtipo de esquizofrenia, realizar un examen oftalmológico para descartar enfermedades oculares y la realización de un oculograma para definir las características de los movimientos oculares sacádicos. En todo momento de la investigación se tomarán las medidas necesarias para respetar la privacidad de los informantes.

Quienes participen en la presente investigación permitiendo que se les realice el electrooculograma, la evaluación oftalmológica y la entrevista psiquiátrica lo harán de forma voluntaria para lo cual será necesario que den su autorización mediante un consentimiento informado por escrito, previa explicación de las características de la investigación. (Anexo B, Anexo C).

Se espera que la presente investigación beneficie a las personas que sufren de esquizofrenia al producir un mejor conocimiento acerca de la relación causal entre los movimientos oculares y esta enfermedad. Además permitirá en caso de encontrar una relación significativa que el oculograma se establezca como examen de tamizaje en pacientes con riesgo de desarrollar la enfermedad.

La información de los participantes obtenida durante la conducción de esta investigación será confidencial. Los resultados serán publicados en revistas de índole académico y científico, preservando la exactitud de los mismos y haciendo referencia a datos globales y no a individuos particulares.

## ANEXO B

### CONSENTIMIENTO INFORMADO (Casos)

Yo, \_\_\_\_\_ he sido informado que el Grupo de Investigación en Psiquiatría Clínica, el Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica pertenecientes a la Universidad Industrial de Santander en conjunto con el Grupo Interdisciplinario de Investigaciones Epidemiológicas en el Sistema Visual perteneciente a la Universidad de Santo Tomas están realizando un estudio para establecer la existencia de alguna relación entre un tipo de movimiento ocular (sacádico) y la esquizofrenia.

Entiendo que he sido invitado a participar en el estudio por presentar el diagnóstico de esquizofrenia y comprendo que durante mi participación en este estudio se me realizarán los siguientes procedimientos:

1. Una entrevista psiquiátrica cuya duración será de 30 minutos en la que se explorarán diversos aspectos de mi enfermedad y que será realizada por un médico psiquiatra
2. Un examen optométrico integral cuya duración será de dos horas aproximadamente, ejecutado en dos sesiones en distinta fecha cada una, realizado por estudiantes de últimos semestres de la carrera de optometría y supervisado por profesionales de la Universidad Santo Tomás.
3. Un examen conocido como electrooculograma que permite definir algunas características de los movimientos de los ojos y que tiene una duración aproximada de 30 minutos. Este examen consiste en la observación de unas luces en movimiento. Durante el seguimiento de las luces se me pondrán unos electrodos adheridos a la piel que permitirán medir el movimiento de los ojos. Se me ha informado que este procedimiento es indoloro y que no conlleva ningún riesgo para mi salud.

Yo he decidido participar en la investigación. Entiendo que mi participación en el estudio es completamente voluntaria, que puedo negarme a contestar cualquier pregunta y que puedo retirarme en cualquier momento sin que esto ocasione una mala atención por el médico o la institución que me atiende.

Entiendo que participar en el estudio no conlleva riesgo alguno y que se espera que los beneficios sean recibidos por otras personas mediante el conocimiento ganado a partir de la presente investigación. Se me ha informado que no obtendré ningún beneficio económico directo y que el único beneficio es el de conocer los resultados de las evaluaciones optométrica y psiquiátrica. En caso que durante estas evaluaciones se me detecte alguna condición que requiera atención se me informará y se me entregará una remisión para buscar la ayuda necesaria.

Entiendo que la información obtenida de mí será tratada de forma confidencial y bajo ninguna circunstancia mi nombre será hecho público y que no voy a ser personalmente identificado en los resultados del estudio.

En este momento se me ha preguntado si tengo alguna duda acerca del estudio. Sé que si en el futuro tuviera alguna duda del mismo, puedo contactar al Dr. Alexander Pinzón Amado (apinzon@uis.edu.co) en el Departamento de Salud Mental (Teléfono 6704381) o al Ingeniero Alfonso Mendoza (amendoza@uis.edu.co) en el Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica de la Universidad Industrial de Santander (Teléfono 6344000 Extensión 2476).

\_\_\_\_\_  
Firma del entrevistado

CC

\_\_\_\_\_  
Firma del investigador

CC

## ANEXO C

### CONSENTIMIENTO INFORMADO (Controles)

Yo, \_\_\_\_\_ he sido informado que el Grupo de Investigación en Psiquiatría Clínica, el Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica pertenecientes a la Universidad Industrial de Santander en conjunto con el Grupo Interdisciplinario de Investigaciones Epidemiológicas en el Sistema Visual perteneciente a la Universidad de Santo Tomás están realizando un estudio para establecer la existencia de alguna relación entre un tipo de movimiento ocular (sacádico) y la esquizofrenia.

Entiendo que he sido invitado a participar en el estudio de forma voluntaria y comprendo que durante mi participación en este estudio se me realizarán los siguientes procedimientos:

1. Una entrevista psiquiátrica cuya duración será de 30 minutos en la que se descartará presencia de esquizofrenia y que será realizada por un médico psiquiatra.
2. Un examen optométrico integral cuya duración será de dos horas aproximadamente, ejecutado en dos sesiones en distinta fecha cada una, realizado por estudiantes de últimos semestres de la carrera de optometría y supervisado por profesionales de la Universidad Santo Tomás.
3. Un examen conocido como electrooculograma que permite definir algunas características de los movimientos de los ojos y que tiene una duración aproximada de 30 minutos. Este examen consiste en la observación de unas luces en movimiento. Durante el seguimiento de las luces se me pondrán unos electrodos adheridos a la piel que permitirán medir el movimiento de los ojos. Se me ha informado que este procedimiento es indoloro y que no conlleva ningún riesgo para mi salud.

Yo he decidido participar en la investigación. Entiendo que mi participación en el estudio es completamente voluntaria, que puedo negarme a contestar cualquier pregunta y que puedo retirarme en cualquier momento sin que esto ocasione una mala atención por el médico o la institución que me atiende.

Entiendo que participar en el estudio no conlleva riesgo alguno y que se espera que los beneficios sean recibidos por otras personas mediante el conocimiento ganado a partir de la presente investigación. Se me ha informado que no obtendré ningún beneficio económico directo y el único beneficio es el de conocer los resultados de las evaluaciones optométrica y psiquiátrica que se me realizarán. En caso que durante estas evaluaciones se me detecte alguna condición que requiera atención se me informará y se me entregará una remisión para buscar la ayuda necesaria.

Entiendo que la información obtenida de mí será tratada de forma confidencial y bajo ninguna circunstancia mi nombre será hecho público y que no voy a ser personalmente identificado en los resultados del estudio.

En este momento se me ha preguntado si tengo alguna duda acerca del estudio. Sé que si en el futuro tuviera alguna duda del mismo, puedo contactar al Dr. Alexander Pinzón Amado (apinzon@uis.edu.co) en el Departamento de Salud Mental (Teléfono 6704381) o al Ingeniero Alfonso Mendoza (amendoza@uis.edu.co) en el Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica de la Universidad Industrial de Santander (Teléfono 6344000 Extensión 2476).

\_\_\_\_\_  
Firma del entrevistado

CC

\_\_\_\_\_  
Firma del investigador

CC

## ANEXO D Diagrama General EOGEST

