



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CAPTURA Y
PROCESAMIENTO DE ACTIVIDAD NEURONAL”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A:
JESÚS MANUEL ALVAREZ LÓPEZ

D I R E C T O R D E T E S I S:
ING. ADRIÁN HERNÁNDEZ ALVA



CIUDAD UNIVERSITARIA 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS.

Quiero ofrecer mi agradecimiento a:

*La Universidad Nacional Autónoma de México
Mi Alma Mater y Mi casa de estudios tan querida.*

*A la Facultad de Ingeniería
Por darme mi formación profesional.*

A todos los profesores que contribuyeron en mi aprendizaje

*Al Dr. Ranulfo Romo
Por permitirme formar parte de su equipo de investigación,
Así como también por sus valiosas enseñanzas*

*A mis compañeros de laboratorio
Antonio Zainos, Rogelio Luna, Luis Lemus, Victor de Lafuente, Verónica Nacher
Y Sergio Méndez, por su valiosa ayuda en el laboratorio, por haberme
Brindado consejos y conocimientos, así como también por haber hecho
De mi estancia en el laboratorio un momento muy agradable, pero sobre
Todo por su amistad que nunca olvidaré, muchas gracias a todos.*

*De manera más especial
A mi maestro el Ing. Adrián Hernández Alva
Con el que siempre estaré en deuda y nunca podré terminar de agradecerle
Por creer y confiar en mi, por sus sabios consejos,
Enseñanzas y apoyo incondicional en la realización de esta tesis,
Por la amistad que me ha brindado a lo largo de este tiempo.
Por todo gracias.*

DEDICATORIAS

A ti Señor

*Tu que en silencio me has acompañado a lo largo
De mi vida y sin pedirme nada a cambio,
Hoy me regalas la alegría de ver realizado uno más
De mis sueños, guarda mi corazón y
Guíame día con día en el camino que lleva hacia Ti.*

A mis padres

*Quiero que sepan que este triunfo, es el fruto de lo que
Sembraron en mí a través de los años, porque el amor,
La justicia y el valor, siempre los he encontrado en su ejemplo.
Gracias por enseñarme a luchar y por estar conmigo en
Mis momentos de soledad y de tristeza...
...Siempre estaré orgulloso de ser su hijo*

A mis queridos hermanos

*No es fácil llegar, se necesita ahínco, lucha y deseo,
Pero sobre todo apoyo como el que he recibido
Durante este tiempo. Ahora más que nunca
Se acredita mi cariño, admiración y respeto.
Gracias por lo que hemos logrado.*

A la memoria de mis abuelos Y sobre todo a ti abuelita Luz

*A una persona muy querida y amada
A ti Blanca Armida, porque largo ha sido el camino,
Más de una vez los obstáculos parecieron infranqueables
Y siempre escuche de ti, palabras de aliento y de esperanza
Que me dieron fuerza para seguir adelante.
Por haberme brindado tu cariño,
Por apoyarme e impulsarme en todos mis anhelos
Ese incipiente y difícil destino que hoy está lleno de alegría,
Me da la certeza de alcanzar el éxito.
Por ese inmenso amor y cariño, gracias.*

A mis amigos

*(larga lista que por motivos obvios no se pone)
Al término de esta etapa de mi vida, quiero expresar
Un profundo agradecimiento a todos ellos, que con su ayuda,
Apoyo y comprensión me alentaron a lograr
Esta hermosa realidad: Mi formación profesional.*

*Y a todas esas personas que nunca podré terminar de agradecerles
Por todo lo que me han brindado, durante todo este tiempo,
Que dedicaron algunos minutos de su tiempo en escucharme y
Que mostraron interés en este proyecto, muchas gracias a todos.*



ÍNDICE

1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1	Resumen.....	4
1.2	Contexto.....	5
1.3	Objetivo.....	10
1.4	Justificación.....	11
1.5	Alcances.....	12
2	LA NEUROFISIOLOGÍA DE SISTEMAS.....	13
2.1	El objetivo de la neurofisiología.....	14
2.2	Experimentos neurofisiológicos.....	16
2.3	Sistema de adquisición de datos en neurofisiología.....	19
2.4	El análisis y la presentación de datos en neurofisiología.....	20
3	MÉTODO.....	24
4	ANÁLISIS DEL SISTEMA.....	26
4.1	Elementos del sistema.....	27
4.2	Identificación de módulos.....	30
4.3	Flujo de información entre componentes	31
4.4	Evaluación de dispositivos para adquisición de datos y herramientas de software	32
4.5	Instrumentación Virtual.....	34
4.6	Cómo se construye un instrumento virtual.....	35
5	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....	38
5.1	Módulo de adquisición de datos	39
5.1.1	Hardware (Dispositivos electrónicos).....	39



5.1.2 Software (interfaz con el usuario, funciones de control, administración de datos).....	41
5.2 Módulo de análisis de datos.....	46
5.2.1 Software (interfaz con el usuario, funciones de control, administración de datos)	46
5.3 Módulo de almacenamiento de datos.....	53
5.3.1 Software (interfaz con el usuario, funciones de control, administración de datos).....	53
5.4 Módulo de presentación de datos.....	54
5.5 Integración del sistema y pruebas.....	57
5.6 Resultados.....	60
6 CONCLUSIONES.....	68
7 BIBLIOGRAFIA.....	70



1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA



1.1 RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue el diseño y la construcción de un sistema para adquirir datos neurofisiológicos de la corteza cerebral del mono Rhesus. Estos datos se obtienen de los experimentos diseñados para estudiar los mecanismos neurales de la percepción. Los datos neuronales son adquiridos en conjunto con los eventos conductuales usados en los experimentos, analizados en tiempo real, mediante rutinas escritas en el software científico MatLab, y presentados durante la realización de los experimentos.



1.2 CONTEXTO

En este trabajo se presenta la forma en la cual se utilizan los conocimientos adquiridos al estudiar la licenciatura de Ingeniería Eléctrica y Electrónica para resolver un problema del área de Neurociencias cognitivas.

Las Neurociencias cognitivas son un conjunto de disciplinas que agrupa conocimientos y técnicas de áreas tan diversas como la Medicina, la Biología, la Psicología, y las Ingenierías Eléctrica, Mecánica y en Computación, para tratar de resolver una de las preguntas más antiguas de la humanidad, con respecto al sistema nervioso central:

¿Cómo el sistema nervioso es capaz de percibir el mundo externo y cómo esa información es transformada para dar lugar a procesos como el reconocimiento de patrones, la memoria, el lenguaje, el aprendizaje y la generación de movimientos tan complejos como el caminar?

Las Neurociencias cognitivas utilizan diversas metodologías. Entre las más conocidas se encuentran (1) el estudio de las lesiones, que trata de investigar el deterioro de una función cognitiva con reportes clínicos de daños en un área específica del cerebro, por ejemplo, lesiones en el lóbulo frontal (área de Broca) que producen deficiencia en la articulación del lenguaje en seres humanos. (2) La imagenología, que utiliza técnicas como los rayos X, la resonancia magnética nuclear y la tomografía por emisión de positrones, que permiten mediante imágenes, correlacionar la activación de ciertas áreas del cerebro con una función específica. Finalmente tenemos (3) el registro unitario extracelular que mediante la introducción de microelectrodos (80 a 100 micras de diámetro) en la corteza cerebral, permite el registro de la actividad eléctrica de una neurona para posteriormente correlacionarla con alguna función cognitiva.



Definición del problema: Contexto

Cabe mencionar, que la diferencia entre los métodos de imagenología y los microelectrodos, es la resolución que estos permiten. Con microelectrodos se puede registrar una sola neurona (la cual es, la unidad funcional básica del sistema nervioso central, encargada de transmitir e integrar la información de cualquier modalidad sensorial) (1), en cambio con los equipos de imagenología, se observa que áreas del cerebro se activan durante algún período de tiempo (involucrando grandes poblaciones de neuronas), y sin permitir estudiar dinámicas rápidas e individuales. En la Figura 1 se muestra una neurona.

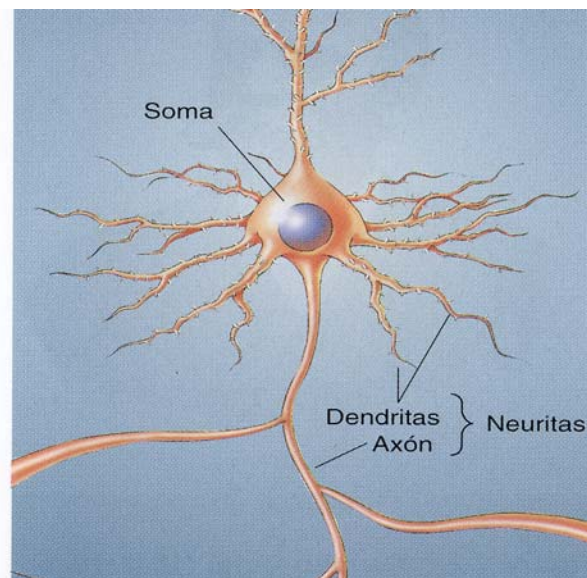


Fig.1 Neurona y sus respectivas partes

Las investigaciones enfocadas en el área de Neurociencias, utilizan la Psicofísica para estudiar la relación entre las propiedades de los estímulos físicos (frecuencia, amplitud, fuerza, velocidad, luminancia, etc.) y las reacciones que estos estímulos pueden producir en el sujeto. Posteriormente se utilizan técnicas de Neurofisiología, que correlacionan la actividad eléctrica neuronal con estas propiedades físicas, además de las reacciones psicológicas manifestadas mediante acciones motoras.



Definición del problema: Contexto

Para este fin, se enseña a sujetos (primates humanos y primates no humanos) a responder con ciertas acciones (movimientos motores) a la presentación de estímulos (visuales, sonoros, táctiles ó de cualquier modalidad sensorial) (2). A la secuencia de estímulos-respuestas se le conoce como tarea.

En el laboratorio del Dr. Ranulfo Romo del Instituto de Fisiología Celular, en la UNAM, se llevan a cabo estudios, en primates no humanos, sobre los *mecanismos neurales de la percepción*, estos mecanismos tratan de encontrar como se codifica (representa) la información del mundo exterior, hacia el interior del sistema nervioso central y como esa información se transforma en las diferentes áreas del cerebro. Para poder encontrar la explicación a estos mecanismos, se utilizan las disciplinas experimentales antes mencionadas. (La Psicofísica y la Neurofisiología). (3)

En este laboratorio se ha investigado la forma en que se representan algunos estímulos táctiles en ciertas áreas de la corteza cerebral de un primate no humano. El propósito de estos estudios ha sido descubrir los procesos neurales que permiten la representación de un estímulo táctil en el cerebro y de cómo esta representación da origen a la percepción de los mismos. (4)

También se ha tratado de establecer la forma en que las representaciones de los estímulos táctiles en la corteza cerebral son utilizadas para que un individuo sea capaz de realizar movimientos voluntarios. (5)

En la figura 2 se presenta el diagrama que propone los procesos provocados por los estímulos táctiles, desde los receptores cutáneos hasta la generación de la percepción de los mismos o de conductas mucho más complejas como son la memoria y la conducta motora voluntaria. (6).

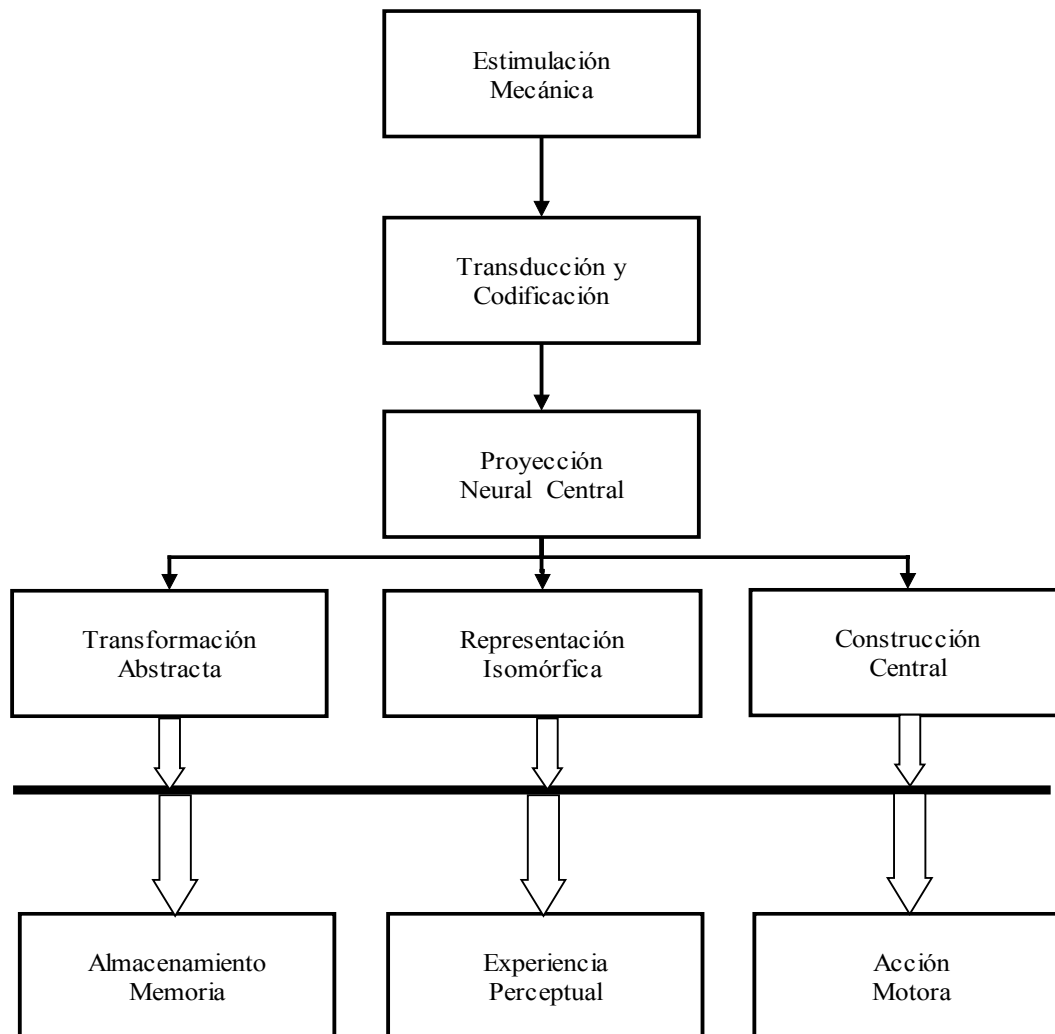


Fig.2 Procesos provocados por los estímulos táctiles

Todos estos procesos están soportados por la actividad neuronal, la cual se puede estudiar al observar los potenciales de acción. Éstos son señales eléctricas encargadas de transmitir la información entre neuronas, incluso a través de grandes distancias dentro del sistema nervioso. La neurona en reposo tiene un potencial negativo respecto al líquido extracelular de aproximadamente -65 mV.

El potencial de acción es una inversión rápida de esta situación, de modo que, por aproximadamente un milisegundo, el interior de la membrana de la neurona se vuelve positivo respecto al exterior (aproximadamente hasta $+70$ mV).



Definición del problema: Contexto

El potencial de acción frecuentemente también se le denomina espiga, impulso nervioso o descarga. (1)

Los potenciales de acción generados por una neurona tienen un tamaño y una duración similares, y no disminuyen su amplitud a medida que son conducidos por el axón. La frecuencia y el patrón de los potenciales de acción constituyen el código utilizado por las neuronas para transmitir la información de un lugar a otro.

La técnica más usada en neurofisiología, consiste en acercar la punta de un microelectrodo, al cuerpo de la neurona (soma). La señal eléctrica registrada es amplificada, filtrada y observada por medio de un osciloscopio. Sin embargo, la señal eléctrica no corresponde exclusivamente a la actividad de una neurona individual, ya que esta señal puede incluir la actividad de neuronas cercanas y ruido electrónico, que proviene de los aparatos de registro. Para identificar la actividad de una sola neurona, se utiliza un criterio de amplitud, utilizando comparadores de voltaje (discriminadores de ventana).

Todos los experimentos realizados en el laboratorio del Dr. Romo, hasta antes de la realización de este proyecto de tesis, fueron realizados introduciendo simultáneamente siete microelectrodos, todos en la misma región cerebral.



1.3 OBJETIVO

Diseñar y construir un sistema de adquisición de datos neuronales para el Laboratorio del Dr. Romo del Instituto de Fisiología Celular de la UNAM, que permita registrar dos áreas corticales simultáneamente, así como visualizar los datos en tiempo real. Los resultados permitirán correlacionar, la actividad eléctrica unitaria extracelular de dos áreas distintas de la corteza cerebral, con la conducta del primate no humano experimental y con los parámetros físicos de los estímulos.



1.4 JUSTIFICACION

Dada la complejidad y la gran cantidad de preguntas alrededor de este tipo de experimentos y considerando que para obtener resultados se requiere de largos periodos de tiempo (tres a cinco años), el Dr. Romo solicitó la construcción de un nuevo sistema de adquisición de datos, para poder registrar dos áreas distintas de la corteza cerebral simultáneamente.

El sistema que actualmente se utiliza en el laboratorio, ha sido de gran ayuda, sin embargo, este sistema está limitado a la adquisición de datos en una sola área cortical con una matriz (sistema posicionador de microelectrodos) de 7 canales.

Otro aspecto importante a considerar es el tiempo. El diseñar, programar y tener que acoplar todo el sistema nuevamente requiere de tiempo y uso del Laboratorio, pero una vez que esté instalado el sistema, el tiempo de registro se disminuirá a la mitad, ya que ahora, el registrar una sola área cerebral, lleva un tiempo aproximado de tres a cuatro meses, con el nuevo sistema, en ese mismo tiempo se registran dos áreas simultáneamente. Algo también muy importante es el costo, un sistema de adquisición de datos comercial es extremadamente caro y no es de uso específico, por lo cual puede no cumplir con todos los requerimientos del laboratorio.



1.5 ALCANCES

-Desarrollar un sistema que permita adquirir y presentar los datos de la actividad eléctrica neuronal durante la realización de los experimentos en dos áreas cerebrales.

-El sistema deberá permitir la visualización de todos los datos neuronales provenientes de 14 microelectrodos, en tiempo real.



2 LA NEUROFISIOLOGÍA DE SISTEMAS



2 LA NEUROFISIOLOGÍA DE SISTEMAS

2.1 El objetivo de la neurofisiología

El logro de la neurofisiología es que ahora existe un entendimiento sobre los mecanismos de conducción del impulso nervioso y la transmisión sináptica. Muchas investigaciones neurofisiológicas han generado descripciones detalladas de los mecanismos moleculares, acerca de la conducción del impulso nervioso y de la comunicación neuronal. Estas descripciones son el reflejo de acciones producidas en la época de Sherrington (finales del siglo XIX) que han sido extendidas por estudios electrofisiológicos de los mecanismos integradores de circuitos neurales en los distintos niveles del sistema nervioso. El estudio del cerebro por métodos electrofisiológicos, particularmente de la vía sensorial y sus áreas corticales relacionadas, dominaron los sistemas de neurofisiología en el periodo de 1930 a 1960. Como estos estudios fueron generalmente realizados en animales anestesiados y la pregunta central a responder, ¿Dónde?, que fue el centro de atención tanto en neurociencia clínica como experimental por casi un siglo (1870-1960).

Este periodo fue marcado por la unión de la neurofisiología y la neuroanatomía; de tal manera que los métodos y conceptos de estas dos disciplinas ahora forman parte de una sola. Descripciones detalladas de la topografía y de la conectividad en el cerebro fueron proveídas por primates humanos y primates no humanos.

Estas descripciones forman las bases de los avances hechos desde 1960, y de ellos se pueden proyectar las décadas posteriores. El método de análisis de una sola neurona, aplicado intensivamente en primates no humanos anestesiados, produjeron descripciones de las propiedades estáticas de los elementos neuronales del sistema sensorial y de la corteza cerebral. Las propiedades estáticas son aquellas determinadas por la presencia de conexiones neuronales, en contraste con las propiedades dinámicas determinadas por patrones temporales de impulsos eléctricos que cruzan esas redes de conexiones neuronales.



Estos estudios también produjeron evidencia de algunas teorías generales sobre la macro y micro organización del sistema nervioso central, particularmente de la corteza cerebral. La investigación de este periodo pudo estar enfocada en las preguntas *¿Dónde?* y *¿Cómo?*, al ser éstas de central importancia. Por ejemplo, los mecanismos dinámicos, mediante los cuales la información es representada, canalizada, procesada y almacenada dentro del cerebro, y cómo la actividad neuronal genera la experiencia perceptual. (7)

Cabe mencionar que el objetivo de un proyecto en el área de Neurofisiología es poder correlacionar la actividad eléctrica de una neurona o de una población de ellas con algún aspecto de la conducta o bien con los parámetros de los estímulos que se le presentan al sujeto. Aun cuando el interés está centrado en conocer el funcionamiento del cerebro humano, la tecnología actual aún no permite el registro inocuo de la actividad eléctrica del cerebro en el hombre ya que la introducción de un microelectrodo en la corteza cerebral implica un daño irreparable, por lo que se trabaja con modelos animales. Los investigadores de esta área normalmente condicionan la conducta de un primate no humano (monos Rhesus (*Macaca mulatta*), monos aulladores (del género *Alouatta*), monos macaco cangrejo (*Macaca fascicularis*), entre otros) para ejecutar una serie de acciones como respuesta a la presentación de un grupo de estímulos. A esa secuencia de estímulos y respuestas se le conoce como una tarea y es parte fundamental de los experimentos neurofisiológicos.



2.2 Experimentos neurofisiológicos

Los investigadores en el área de las neurociencias cognitivas han diseñado un gran número de tareas o experimentos, pero en general se pueden clasificar en tres grandes grupos:

DETECCIÓN: El objetivo de esta tarea es determinar la capacidad del sujeto (humano o mono) para percibir la presencia ó ausencia de un estímulo. Por lo tanto, la tarea consiste en presentarle al sujeto un estímulo (táctil, visual, auditivo o de otra modalidad sensorial) de cierta magnitud y el sujeto debe reportar si fue capaz de sentir ese estímulo; se procede a realizar en varias ocasiones o *ensayos* la misma tarea pero variando en forma controlada la magnitud del estímulo. Finalmente se realiza un análisis estadístico del experimento con el fin de determinar el “umbral de detección de la variable en cuestión”. Con experimentos de este tipo se ha determinado por ejemplo que el hombre tiene la capacidad de distinguir amplitudes de estímulos mecánicos aplicados sobre las yemas de los dedos del orden de dos a tres micras. (7)

CATEGORIZACIÓN: Su objetivo es determinar la capacidad de un sujeto para clasificar una serie de estímulos, en categorías, por ejemplo, la velocidad de un estímulo táctil (velocidades altas o bajas), o bien clasificar la dirección de un grupo de puntos (estímulo visual, en un monitor) hacia la izquierda o hacia la derecha. La tarea consiste en presentar al sujeto un estímulo para que posteriormente manifieste la categoría a la cual supuestamente pertenece, obviamente primero se le muestra como son los estímulos que pertenecen a una u otra clase. Durante las diferentes repeticiones o *ensayos* de la tarea se van presentando diferentes magnitudes del estímulo, de tal forma que existen valores de fácil clasificación, con los que el sujeto no se equivoca; sin embargo, existen otros valores que es difícil distinguir si pertenecen a una u otra categoría por lo cual el sujeto se equivoca al emitir sus juicios.

Al analizar estadísticamente esos resultados se logra determinar el “umbral de categorización para la variable bajo estudio”.



Con esta metodología se ha logrado determinar por ejemplo que los humanos poseemos un umbral de categorización de velocidades del orden de 6 mm/s.

DISCRIMINACIÓN: En esta tarea se presentan en cada ensayo dos estímulos (que pueden ser táctiles, visuales o de otra modalidad sensorial) al sujeto y él debe de compararlos para indicar cual de los dos es de mayor magnitud, o en su caso si esos estímulos son iguales o diferentes. La principal ventaja de esta tarea es que permite estudiar funciones como la memoria y la comparación. ⁽²⁾

A continuación se describe la secuencia de la tarea de discriminación utilizada en el laboratorio del Dr. Romo. La tarea se compone por cuatro clases o más, donde cada clase (par de frecuencias a ser discriminadas por el sujeto), es presentada al sujeto más de 10 veces, esto con el fin de tener un número suficiente de datos para posteriormente analizarlos mediante técnicas de estadística. Las clases se le presentan al sujeto en cada ensayo de la tarea, donde cada ensayo se compone por los eventos conductuales que se describen a continuación.

La figura 3 muestra la secuencia de la tarea que se describe a continuación.

El ensayo comienza cuando el estimulador mecánico indenta (toca) la piel en la yema de los dedos del sujeto (PD), y éste como señal de atención pone la mano contraria a la que recibe los estímulos sobre una palanca (KD). Después de un tiempo al sujeto se le presenta un primer estímulo, del cual se marcan dos eventos, el inicio del primer estímulo (SO1) y el final del primer estímulo (SF1). Después de un tiempo variable el sujeto recibe un segundo estímulo, donde se registran el inicio (SO2) y el final (SF2); ya que el sujeto recibió los dos estímulos de comparación, él a continuación quita la mano de la palanca (KU) y emite su respuesta oprimiendo uno de los dos botones que se encuentran frente al sujeto (PB). Si el sujeto acertó su respuesta, recibe como recompensa unas gotas de jugo (RW).

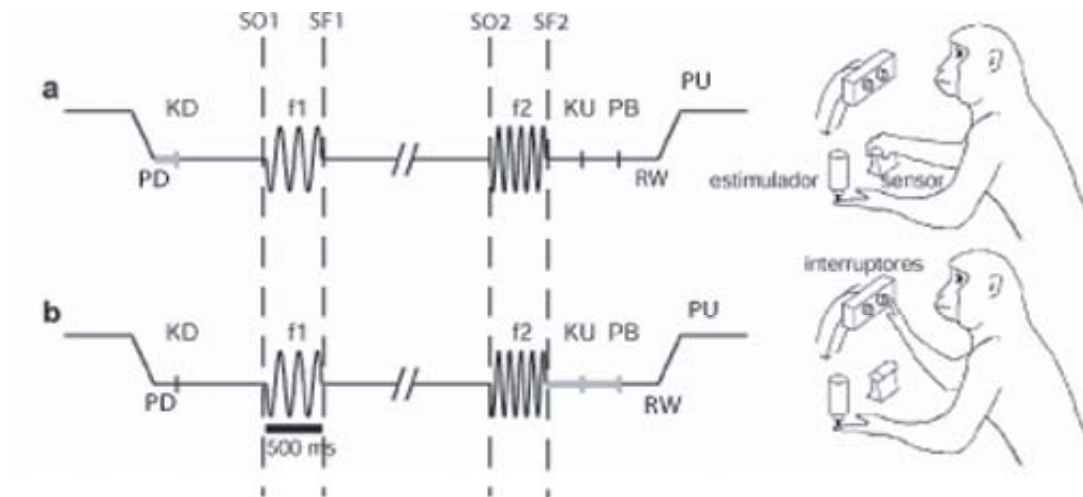


Fig. 3 Secuencia de la tarea con los respectivos eventos de interés.

La actividad de las neuronas en diversas regiones de la corteza cerebral del sujeto, que se encuentra resolviendo cierta tarea, es registrada con microelectrodos. Tanto los parámetros del estímulo como las respuestas motoras y las descargas neuronales son colectadas en tiempo real.

Es importante señalar que, si bien los estudios neurofisiológicos se realizan en primates no humanos, los investigadores primero realizan exhaustivos estudios de psicofísica en humanos a fin de determinar las mejores condiciones para realizar los experimentos neurofisiológicos de tal forma que se garantice que los monos podrán resolver la tarea y, por lo tanto, que el experimento tendrá éxito. La figura 4 muestra el acondicionamiento de un cuarto de registro.

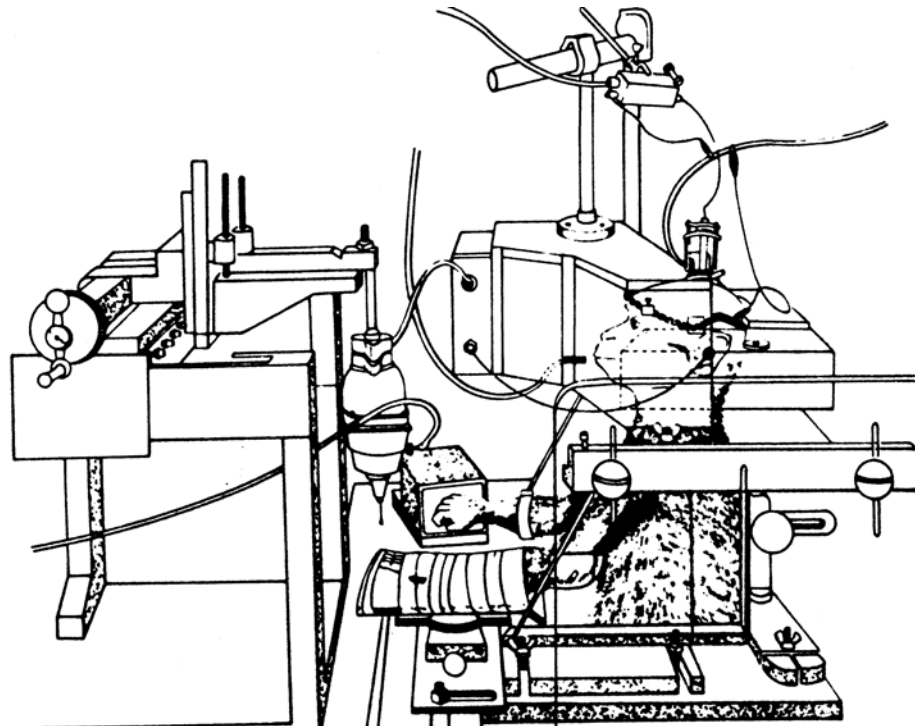


Fig. 4 Equipo de registro electrofisiológico

2.3 Sistema de adquisición de datos en neurofisiología

Un sistema de adquisición de datos neurofisiológicos es una de las herramientas más importantes del investigador en este campo, porque con base en el sistema de adquisición de datos, se desarrollan conclusiones rápidas de cómo puede ser manipulado el experimento; así como también se puede tener la opción, que el investigador decida guardar o no los datos. Al ser almacenados los datos se puede realizar un análisis estadístico al finalizar el experimento o como los investigadores le llaman comúnmente realizar un análisis fuera de línea.

El sistema de adquisición de datos, consta de amplificadores, filtros, convertidores analógicos/digitales, computadoras y los programas que se encargan de almacenar esa información.

2.4 El análisis y la presentación de datos en neurofisiología.



La Neurofisiología de sistemas

En Neurofisiología existen muchos tipos diferentes de análisis para los datos neurofisiológicos. Los diferentes análisis son función del tipo de procesamiento ó acondicionamiento que se les aplica a las señales neuronales. En Neurofisiología básicamente existen tres grupos de datos.

Uno de ellos es la señal analógica que se registra directamente de la corteza cerebral de sujeto, en esta señal se pueden apreciar los potenciales de acción que se generan en el soma de una neurona, a esta señal comúnmente se le conoce como actividad unitaria. En la figura 5 se muestra la actividad cerebral del mono Rhesus. En este registro se puede observar que existen diferentes amplitudes en los disparos de las neuronas, lo que indica que pueden ser dos o más neuronas disparando al mismo tiempo, por tal motivo a esta actividad neuronal se le llama actividad multiunitaria. De la actividad multiunitaria, se puede obtener la actividad unitaria, ya sea discriminando por amplitud y ó por la forma de onda del potencial de acción.

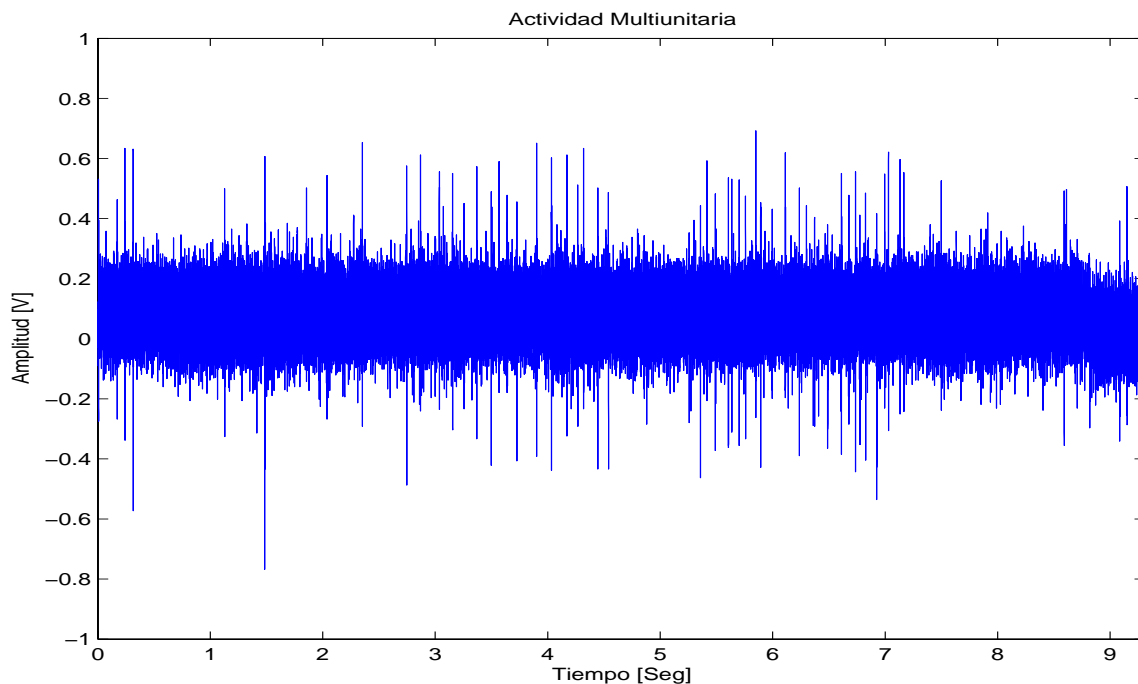


Fig. 5 Actividad multiunitaria proveniente de la corteza cerebral del mono Rhesus.

En la figura 6 se muestra un solo potencial de acción del registro anterior.

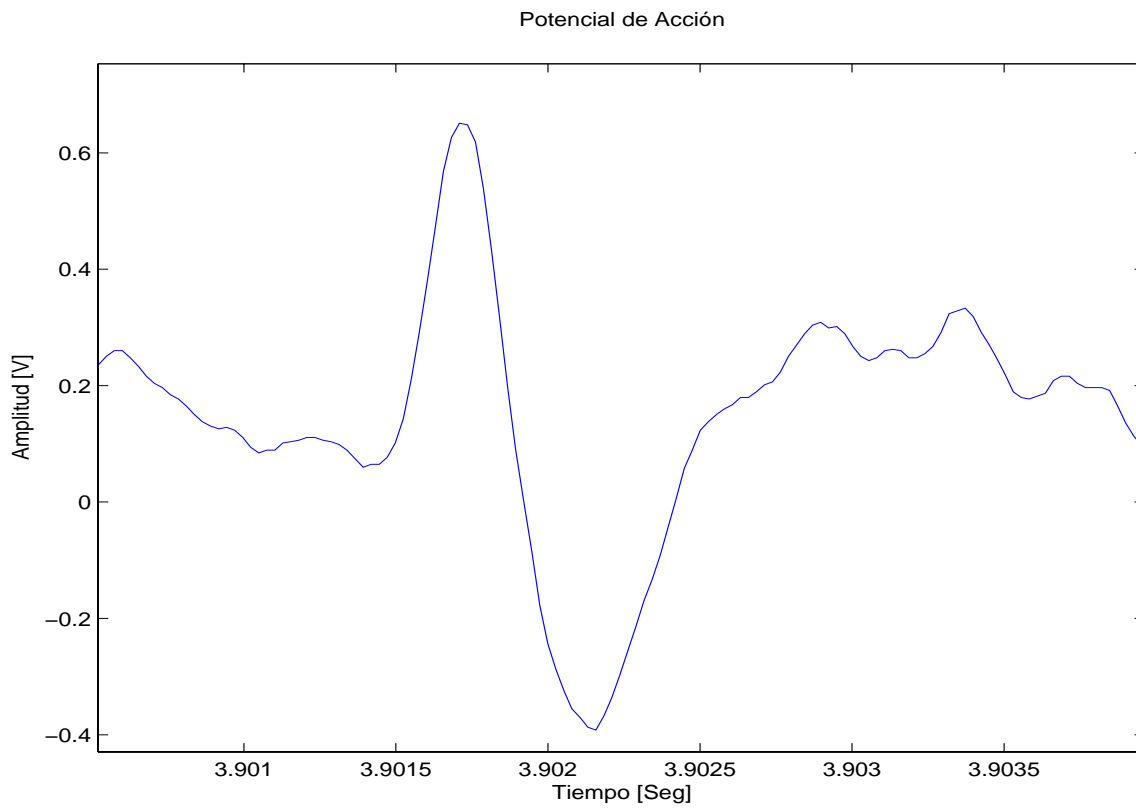


Fig. 6 Potencial de acción generado por una neurona

El otro grupo de datos que también se ocupan en neurofisiología, comúnmente son generados a partir de la señal analógica, se pueden obtener por dos métodos; uno de ellos es por hardware y otro es por software.

El grupo de datos que se obtienen de la señal analógica, son llamados Potenciales Locales de Campo (LFP) o actividad poblacional. Estos datos son señales analógicas continuas de baja frecuencia, que se obtienen al aplicar un filtro paso bajas a la señal analógica proveniente del cerebro. El filtro paso bajas mediante el cual es filtrada la señal opera en un rango de frecuencias de 20 Hz a 500 Hz. (8)

Estos datos son muy importantes en Neurofisiología ya que con estos el investigador puede observar lo que está realizando una población de neuronas y no sólo lo que hace una sola neurona. La figura 7 ilustra un potencial local de campo de un ensayo.

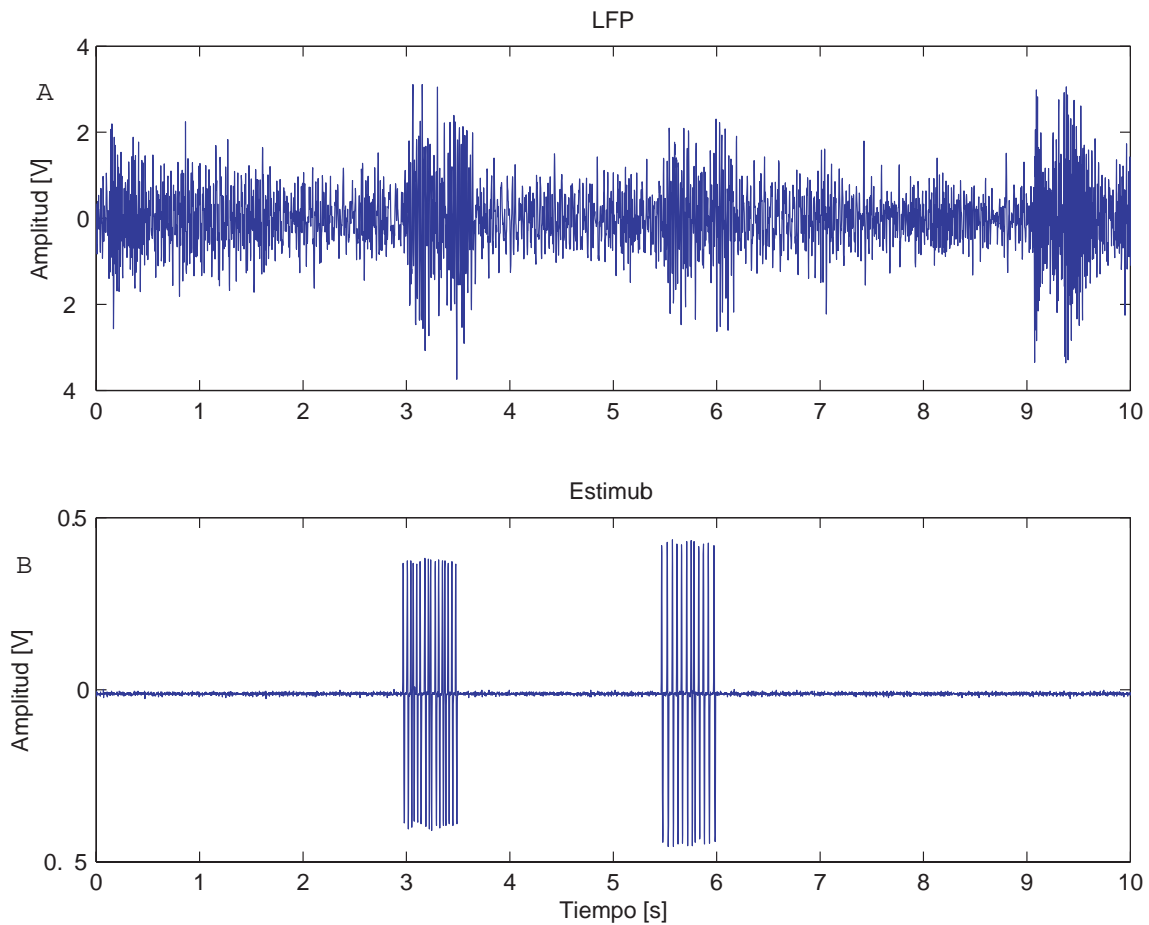


Fig. 7 A) Potencial local de campo, B) estímulos.

Otro grupo de datos que se generan a partir de la señal analógica son los rasterizados; los cuales son obtenidos mediante circuitos comparadores de voltaje (discriminadores de ventana), El sistema de comparadores se encarga de indicar mediante un pulso de voltaje (TTL, 500 microsegundos de duración), el instante en que un potencial de acción supera el umbral inferior de la ventana y no sobrepasa el umbral superior de la ventana.

Cuando se grafica el vector de tiempos, generado por el discriminador de ventana, en conjunto con los datos conductuales se obtiene lo que comúnmente se conoce como raster. Como se muestra en la figura 8.

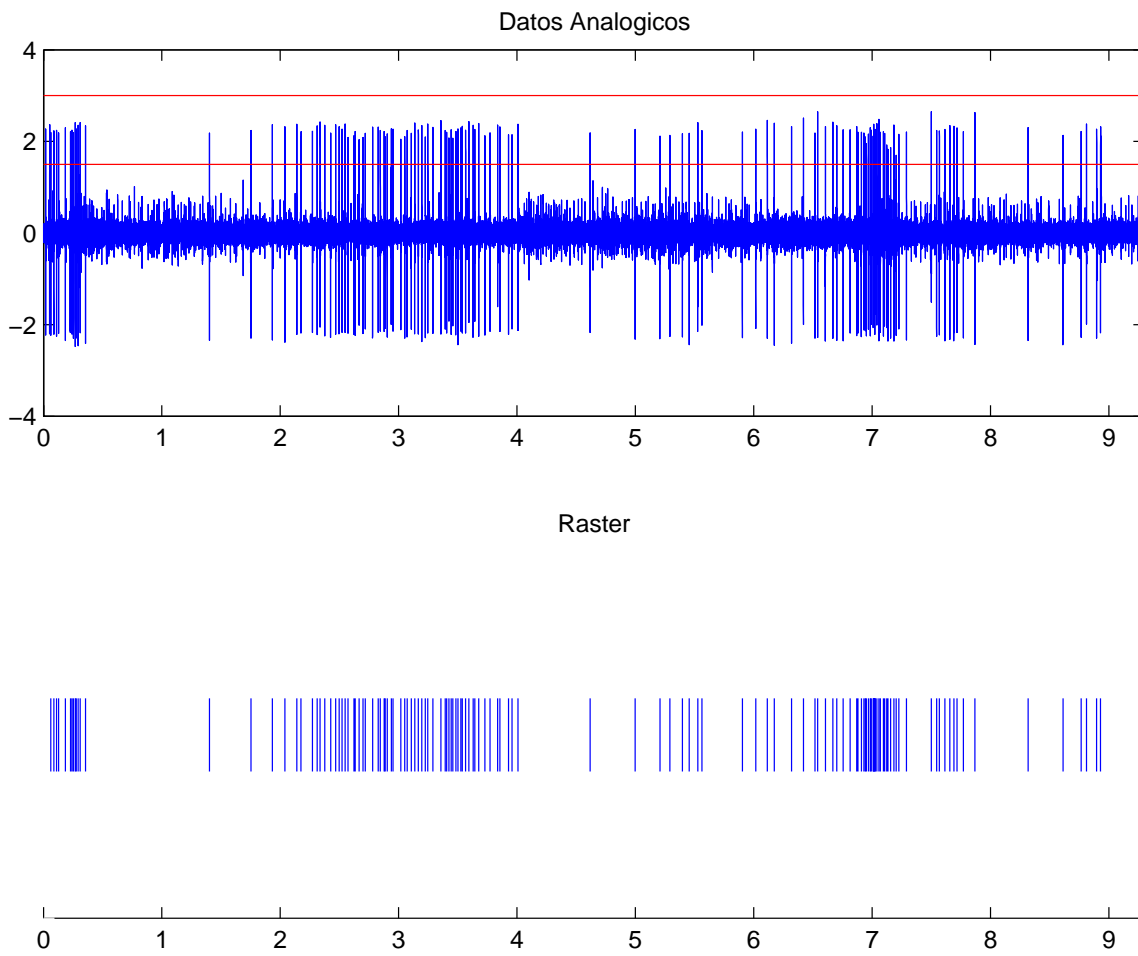


Fig. 8 Raster de un ensayo



3 MÉTODO



3 MÉTODO

Una vez que ya se habló del objetivo de la neurofisiología, de los diferentes tipos de experimentos que se pueden desarrollar en esta rama de estudio, así como del análisis y presentación de los datos, se genera un análisis del sistema de registro electrofisiológico, así como también del sistema de adquisición de datos, que se basa en la instrumentación virtual.

Para desarrollar este sistema se utilizó el método iterativo incremental (ESPIRAL) el cual consta de los siguientes pasos a seguir:

- Identificación de la parte del producto que se está desarrollando.
- Diferentes posibilidades para implementar esta parte.
- Restricciones ocasionadas por cada posibilidad.
- Evaluación de las alternativas con respecto a los objetivos y restricciones. Esto permite identificar áreas de riesgo.
- Formulación de una estrategia para resolver los riesgos.
- El siguiente paso está dado por los riesgos que quedan sin resolver.
- Cada ciclo termina con una revisión.

La principal ventaja de utilizar este método es que cada fase del desarrollo del sistema es modular y si algún módulo fallara, solamente se regresa al módulo anterior para corregir posibles errores. (9)



4 ANÁLISIS DEL SISTEMA

4 ANÁLISIS DEL SISTEMA

4.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA

A continuación menciono las principales funciones del sistema de registro, así como también los elementos de éste. El sistema debe permitir capturar los datos provenientes del cerebro, guardar los datos en el disco duro de la computadora, así como también, realizar un procesamiento para posteriormente visualizarlos.

El primer elemento del sistema de registro electrofisiológico son los transductores, los cuales son electrodos de platino-tungsteno con un aislamiento de vidrio de cuarzo y un diámetro de $20\ \mu\text{m}$ a $120\ \mu\text{m}$ aproximadamente como el que se muestra en la figura 9. (11)

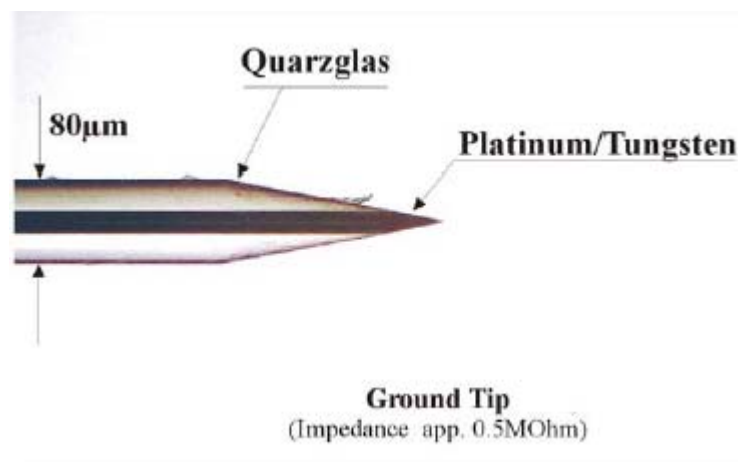


Fig. 9 Punta de un microelectrodo de tungsteno

Para el registro de la actividad neuronal, se cuenta con un sistema de insertado de microelectrodos (matriz) el cual tiene un mecanismo de motores de pasos que son controlados por una computadora. Los motores de pasos tienen una resolución de $1\ \mu\text{m}$ por paso y también cuenta con un conjunto de preamplificadores en el mismo dispositivo.

| La figura 10 muestra el dispositivo manipulador de electrodos (matriz). (12)

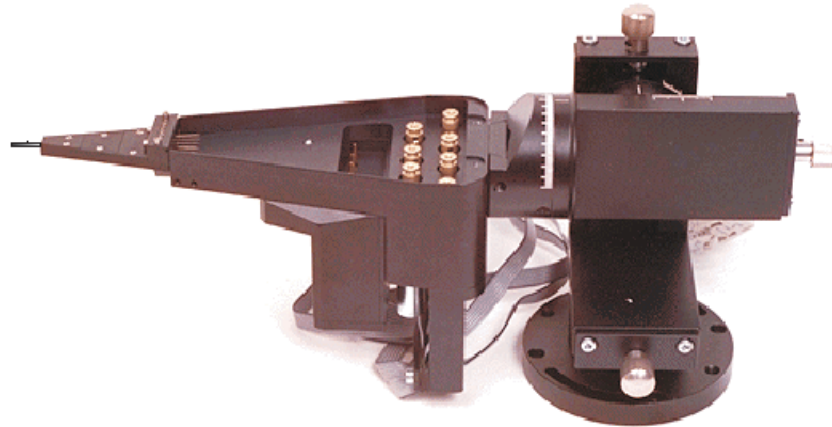


Fig. 10 Sistema que posiciona los microelectrodos en la corteza cerebral.

Otro elemento muy importante es la etapa de acondicionamiento de señales, la cual cuenta con un sistema de amplificadores y filtros para cada canal. Estos amplificadores cuentan con un sistema de ganancia ajustable por el usuario (50, 100, 250, 500, 1000, 2500, 5000, 10000), así como también cuentan con dos tipos de filtros, uno de ellos es un filtro paso bajas con frecuencias de corte variables (2, 5, 10, 20 KHz) y otro es un filtro paso altas con frecuencias de corte variables (0.5, 1, 2 KHz). Tienen un rango de voltaje de salida de $\pm 10[V]$ y una salida de corriente máxima de $\pm 10 [mA]$. En la figura 11 se muestra el sistema de acondicionamiento de señales. ⁽¹⁴⁾ En el laboratorio se trabaja con los filtros en las siguientes escalas; Filtro paso altas en 0.5 [KHz] y el filtro paso bajas en 2[KHz].



Fig. 11 Equipo de acondicionamiento de señales (amplificadores y filtros)



Análisis del sistema: Elementos

Por último, el elemento más importante y el cual es el objetivo de esta tesis, es el sistema de adquisición de datos. Este sistema es el encargado de adquirir los datos provenientes del cerebro del mono, una vez que la señal neuronal ha pasado por las etapas anteriores de acondicionamiento de señal. El sistema de adquisición de datos también es el encargado de realizar un procesamiento de los mismos, para posteriormente enviarlos a graficar en un monitor, ensayo tras ensayo. También permite guardar los datos en la computadora para posteriormente realizar un análisis detallado de las señales neuronales.



4.2 IDENTIFICACIÓN DE MÓDULOS

Una vez realizado el análisis de los elementos del sistema se genera una identificación de módulos a desarrollar. En la primera identificación de módulos, se propusieron tres:

- Módulo de adquisición de datos
- Módulo de almacenamiento de datos
- Módulo de presentación de datos

Vale la pena señalar que la nueva tendencia en neurociencias es extraer, de la señal del mismo electrodo las espigas de varias neuronas, discriminando por aspectos temporales y no sólo por la amplitud. Esto es importante porque la neurofisiología de hasta hace algunos años, dependía de ubicar la punta del microelectrodo muy cerca de la neurona, en esos casos la amplitud de la espiga es grande y el criterio de discriminación por amplitud es aplicable. Por tal motivo realicé una propuesta a mi director de tesis: adquirir tanto los datos provenientes del discriminador de ventana, como las señales analógicas de cada microelectrodo, los cuales en el laboratorio no se registraban hasta antes de este trabajo.

Una vez definidos los módulos que se debían desarrollar, se realizó un diagrama de flujo de información entre los componentes del sistema, que se muestra en la figura 12.

4.3 Flujo de información entre componentes

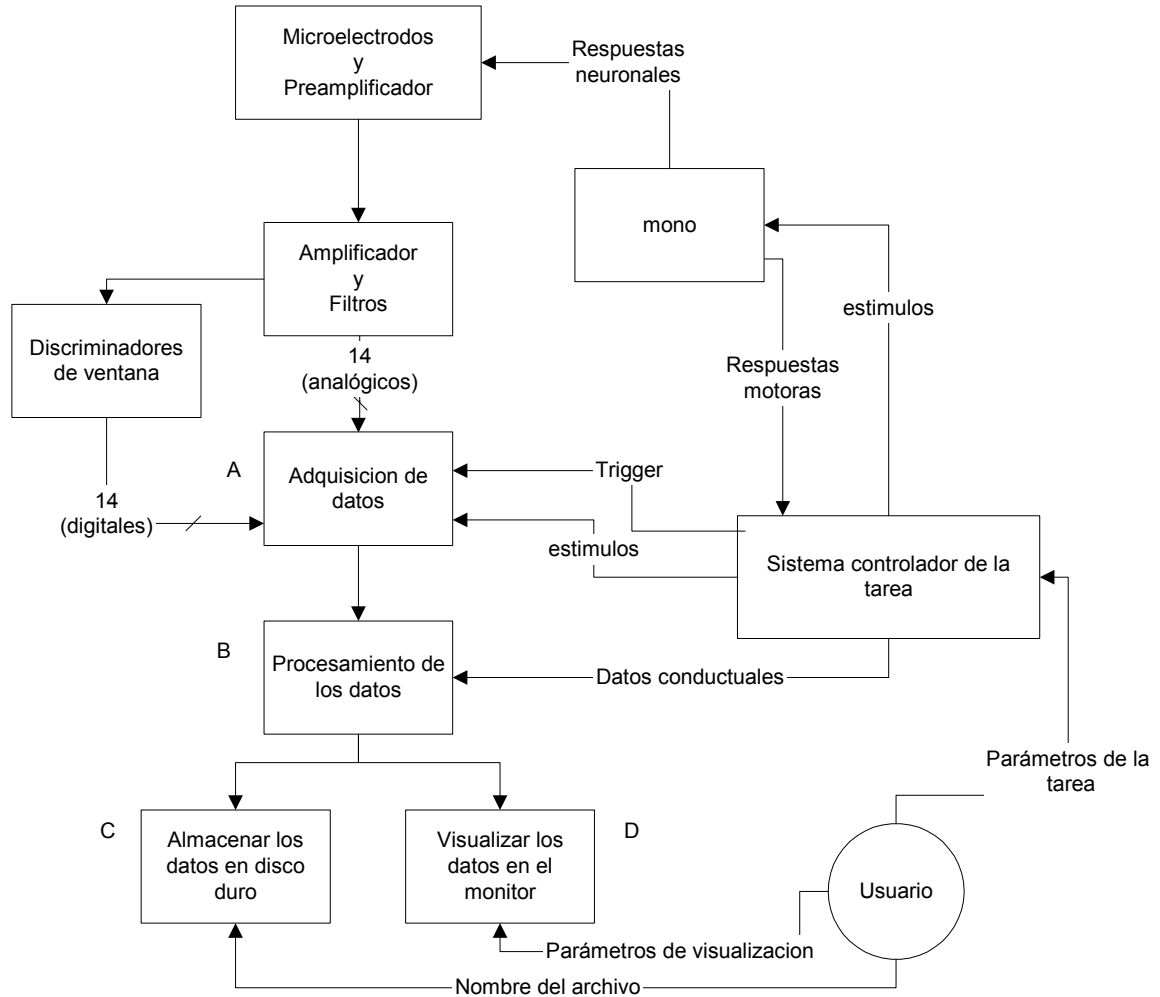


Fig. 12 Diagrama de flujo de información. A, B, C y D módulos a desarrollar

El módulo A, debe ser un dispositivo electrónico con frecuencia de muestreo y resolución adecuada para poder recuperar las señales confiablemente.

B, C y D son programas que se ejecutan en una computadora digital.

El módulo B debe generar un estructura de datos que contenga, tanto la información conductual del mono como los datos neuronales.



Esta estructura debe ser adecuada para que los procesos de almacenamiento y visualización se realicen en tiempo real.

El almacenamiento y visualización de los datos no deben interferir con la adquisición de los datos del siguiente ensayo. Estos procesos deben ser transparentes para el investigador y para el mono que está ejecutando la tarea. No se deben incluir retardos significativos en la ejecución del experimento.

4.4 Evaluación de dispositivos para adquisición de datos y herramientas de software

En un principio se deseaba diseñar un hardware específico de adquisición de datos basado en un microprocesador, pero al llevar a cabo una evaluación de los dispositivos existentes en el mercado, me percate que estos dispositivos se comunican solamente vía puerto serie y paralelo con la computadora, por lo cual la aplicación podría no funcionar eficientemente con este tipo de dispositivos por su velocidad de transmisión.

Posteriormente se pensó construir una interfaz USB para transferir los datos del microprocesador, pero al evaluarlo con mi director de tesis, concluimos que la programación de esta interfase de comunicación implicaría un largo periodo de tiempo y se alejaba del objetivo principal del proyecto, por tal motivo estudié otras soluciones para la adquisición de datos y fue cuando revisé otro hardware: Las tarjetas de adquisición de datos.

En el mercado existen diferentes compañías que producen tarjetas de adquisición de datos, sin embargo en el laboratorio del Dr. Romo se utilizan tarjetas de la compañía National Instruments. Dado las buenas experiencias con estos productos respecto a la confiabilidad y facilidad para obtener información técnica, y con el propósito de mantener un estándar en el laboratorio, se decidió seguir utilizando las tarjetas de la misma compañía.



Análisis del sistema: Evaluación de dispositivos

Por tal motivo decidí realizar una búsqueda de las tarjetas de adquisición de datos que podrían ser útiles para la aplicación. Fue cuando, después de revisar a detalle diferentes tipos de tarjetas, decidí utilizar una tarjeta de entrada analógica, modelo PCI-6071 la cual cuenta con 64 entradas analógicas, 2 salidas analógicas, 8 líneas digitales de entrada salida, 2 contadores de 24 bits, una frecuencia de muestreo de 1.25MS/s y una resolución de 12 bits. (17)

Una vez teniendo un hardware para trabajar, y siguiendo el método del espiral para el diseño y desarrollo de sistemas, realicé la búsqueda de diferentes herramientas de software.

En esta revisión encontré que existen distintos tipos de software para poder poner en funcionamiento a las tarjetas de adquisición de datos, a continuación menciono algunos de ellos.

- Borland C
- Visual C/C++
- Lab View
- MatLab

Estos programas de aplicación, funcionan en conjunto con el controlador propio de la tarjeta, que en el caso de las tarjetas de National Instrument. El controlador es el programa llamado NI-DAQ, el cual es el encargado de realizar la comunicación entre el hardware y el software.

Al realizar una revisión del software antes mencionado decidí llevar a cabo tanto la programación de la tarjeta, así como también las funciones de control y despliegue de los datos en el software MatLab, ya que este software cuenta con funciones que facilitan el procesamiento de los datos así como también funciones para poner en funcionamiento tarjetas de adquisición de datos. Incluida la tarjeta PCI-6071 (15)



El motivo de utilizar MatLab, fue que en el laboratorio se cuenta con este software, que todos los datos que se tienen de registros anteriores se encuentran en un formato para ser procesados por MatLab, que ya se cuenta con muchas funciones de análisis y así poder utilizarlas directamente en los nuevos datos que se van a adquirir.

4.5 Instrumentación Virtual

Mucho se conoce sobre la "instrumentación virtual" y sus beneficios. El concepto de instrumentación virtual nace a partir del uso de una computadora personal (PC) como "instrumento" de medición de señales como:

- temperatura
- presión
- caudal
- corrientes iónicas
- etc.

Es decir, la computadora comienza a ser utilizada para realizar mediciones de fenómenos físicos representados en señales de corriente (Ej. 4-20mA) y/o voltaje (Ej. (0-5Vdc).

Sin embargo, el concepto de "instrumentación virtual" va más allá de la simple medición de corriente o voltaje. También involucra el procesamiento, análisis, almacenamiento, distribución y despliegue de los datos e información relacionados, con la medición de una o varias señales específicas. Es decir, el instrumento virtual no se conforma con la adquisición de la señal, sino que también involucra la interfaz hombre-máquina, las funciones de análisis y procesamiento de señales, las rutinas de almacenamiento de datos y la comunicación con otros equipos.

Como un ejemplo se puede mencionar: el osciloscopio tradicional, el cual tiene una funcionalidad ya predefinida desde la fábrica donde lo diseñan, producen y



ensamblan. Es decir, la funcionalidad de este tipo de instrumento es definida por el fabricante del equipo, y no por el usuario mismo.

El término "virtual" nace precisamente a partir del hecho de que cuando se utiliza la computadora como "instrumento", es el usuario mismo quién, a través del software, define su funcionalidad y "apariciencia" y por ello se dice que se "virtualiza" el instrumento, ya que su funcionalidad puede ser definida una y otra vez por el usuario y no por el fabricante.

El instrumento virtual se define como una capa de software y hardware que se le agrega a una computadora en tal forma que permite a los usuarios interactuar con la computadora como si estuviesen utilizando su propio instrumento electrónico "hecho a la medida".⁽¹⁰⁾

4.6 Cómo se construye un instrumento virtual

Para construir un instrumento virtual sólo se requiere de una computadora, una tarjeta de adquisición de datos con acondicionamiento de señales (PCMCIA, ISA, XT, PCI, etc.) y el software apropiado. Estos son los tres elementos clave en la conformación de un instrumento virtual, teniendo un chasis de acondicionamiento de señales como elemento opcional.

Se dice que el "acondicionamiento de señales" es opcional, porque dependiendo de cada señal y/o aplicación, se puede o no requerir amplificación, atenuación, filtraje, aislamiento, etc. Si la señal está en el rango de los $\pm 5V_{dc}$ y no se requiere de aislamiento o filtraje, la misma puede ser conectada directamente a la tarjeta de adquisición de datos.



Análisis del sistema: Como se construye un instrumento virtual

En un instrumento virtual, el software es la clave del sistema, a diferencia del instrumento tradicional, donde la clave es el hardware. Con el sistema indicado anteriormente (los tres elementos de un instrumento virtual), se podría construir un osciloscopio "personalizado", con la interfaz gráfica que uno desee, agregándole inclusive más funcionalidad.

Sin embargo, este mismo sistema puede también ser utilizado en la medición de temperatura, o en el control de arranque/parada de una bomba centrífuga.

Es allí donde radica uno de los principales beneficios del instrumento virtual, su flexibilidad. Este instrumento virtual no sólo permite visualizar la señal, sino que a la vez permite graficar su espectro de potencia en forma simultánea.

Para finalizar un pequeño preámbulo sobre la instrumentación virtual, agrego la siguiente tabla (ver tabla 1) que indica algunas de las principales diferencias entre el instrumento convencional o tradicional, y el instrumento virtual:

Instrumento Tradicional	Instrumento Virtual
Definido por el fabricante	Definido por el usuario
Funcionalidad específica, con conectividad limitada.	Funcionalidad ilimitada, orientado a aplicaciones, conectividad amplia.
Hardware es la clave.	Software es la clave
Alto costo/función	Bajo costo/función, variedad de funciones, reusable.
Arquitectura "cerrada"	Arquitectura "abierta".
Lenta incorporación de nuevas tecnologías.	Rápida incorporación de nuevas tecnologías, gracias a la plataforma PC.
Bajas economías de escala, alto costo de mantenimiento.	Altas economías de escala, bajos costos de mantenimiento.

Tabla 1: Instrumentos Tradicionales vs. Virtuales



Análisis del sistema: Como se construye un instrumento virtual

La flexibilidad, el bajo costo de mantenimiento, la posibilidad de reutilizar, la personalización de cada instrumento, la rápida incorporación de nuevas tecnologías, el bajo costo por función, el bajo costo por canal, etc... son algunos de los beneficios que ofrece la instrumentación virtual.

Las técnicas utilizadas normalmente para evaluar las características de medición de un multímetro digital (DMM o Digital Multi-Meter) pueden ser utilizadas para evaluar las características de medición de un instrumento virtual (VMM o Virtual Multi-Meter).

(10)

Entre dichas características se encuentran las siguientes: ver tabla 2

	DMM	VMM con tarjeta especializada	VMM con tarjeta de propósito general
<i>Hardware utilizado</i>	HP 34401 A DMM	DAQCard 4050	PCI-MIO-16XE-10
<i>No. De Canales</i>	1	1	16 (Diferencial)
<i>Resolución (convertidor de 16-bits)</i>	61/2 - 41/2 dígitos	51/2 dígitos	41/2 dígitos
<i>Rango de entrada (ACV)</i>	100 mV - 750 V	20 mV – 250 V	100mV - 250 V (con acondicionamiento SCXI)
<i>Sensibilidad (ACV)</i>	0.1 uV	0.1 uV	1.5 uV
<i>Rango de Entrada (DCV)</i>	100 mV - 1000 V	20 mV – 250 V	100 mV - 250 V
<i>Sensibilidad (DCV)</i>	0.1 uV	0.1 uV	1.5 uV
<i>NMRR</i>	60 dB	80 dB	variable (80-120 dB)
<i>CMRR</i>	70 dB (AC), 140 dB (DC)	90 dB (AC), 30 dB (DC)	variable (80-120 dB)
<i>Velocidad de medición (lecturas/seg.)</i>	5-1 K lecturas/seg	10, 50 , 60 K lecturas/seg	100 K lecturas/seg

Tabla 2 Características de un instrumento virtual



5 Diseño y construcción del sistema



5 Diseño y construcción del sistema

En el nuevo diseño del sistema, además de permitir guardar los datos pasterizados, registrados de dos áreas cerebrales distintas y presentarlos en línea, tiene la ventaja de poder guardar los datos de la señal analógica de los catorce microelectrodos para posteriormente realizar un análisis fuera de línea (off-line). Esta ventaja es sumamente importante, ya que como se ha mencionado, estos datos nunca se han almacenado en el laboratorio y con base en estos datos, se podrían diseñar nuevos análisis o se podrían calcular nuevos rasters fuera de línea, tanto discriminando por amplitud o por la forma de la onda del potencial de acción.

5.1 Módulo de adquisición de datos

Las señales adquiridas son tanto analógicas, como digitales (provenientes del discriminador de ventana). El espectro de las señales analógicas está limitado por el sistema de filtrado (filtro paso bajas, 2 KHz). y tienen una amplitud máxima de +/- 10V. Las señales digitales corresponden a niveles de voltaje TTL. El módulo de adquisición de datos cuenta con dos partes, una parte es el software y la otra es el hardware (Dispositivos electrónicos).

5.1.1 HARDWARE (Dispositivos electrónicos)

Consta de:

- a) la tarjeta de adquisición de datos modelo PCI-6071,
- b) un conector terminal modelo SCB-100
- c) un cable blindado para comunicar la tarjeta con el conector terminal.

La configuración de la tarjeta, para que fuera reconocida y controlada por el software, fue realizada automáticamente por el software proporcionado por el fabricante (NIDAQ). Por lo tanto, información como el rango de direcciones entrada/salida y el número de interrupción no tuvieron que ser definidos manualmente. El número de canales, la ganancia, la frecuencia de muestreo, el tipo de disparo (trigger) y demás características fueron configurados en las funciones que se ejecutan en MatLab y se describirán más adelante.

A continuación muestro las imágenes de algunos dispositivos de este hardware antes mencionado mediante el cual se llevó a cabo la construcción del sistema de adquisición de datos.



Fig.13 Tarjeta de adquisición de datos.



Fig. 14 Bloque conector de las señales.

Otra parte del hardware muy importante en este tipo de sistemas neurofisiológicos son los cables de conexión que existen entre la parte de amplificación y la tarjeta de adquisición de datos, ya que mediante estos podrían existir señales no deseadas, como ruido electrónico o señales de radio.



Para interconectar los amplificadores con el sistema, utilicé cables coaxiales de aproximadamente 3 metros de longitud con terminal BNC, los cuales fabriqué en el laboratorio con las herramientas necesarias para que fueran de la medida exacta. Cabe mencionar que este tipo de cables son de un calibre 20 y son muy manipulables.

5.1.2 SOFTWARE

Mis primeras pruebas al programar en MatLab, mostraron que no era posible que la adquisición, procesamiento, almacenamiento y visualización pudieran realizarse simultáneamente dentro de una sola sesión de MatLab, ya que al trabajar estas cuatro funciones en la misma sesión de MatLab, en ocasiones el programa quedaba bloqueado por la visualización y no permitía adquirir los datos del siguiente ensayo.

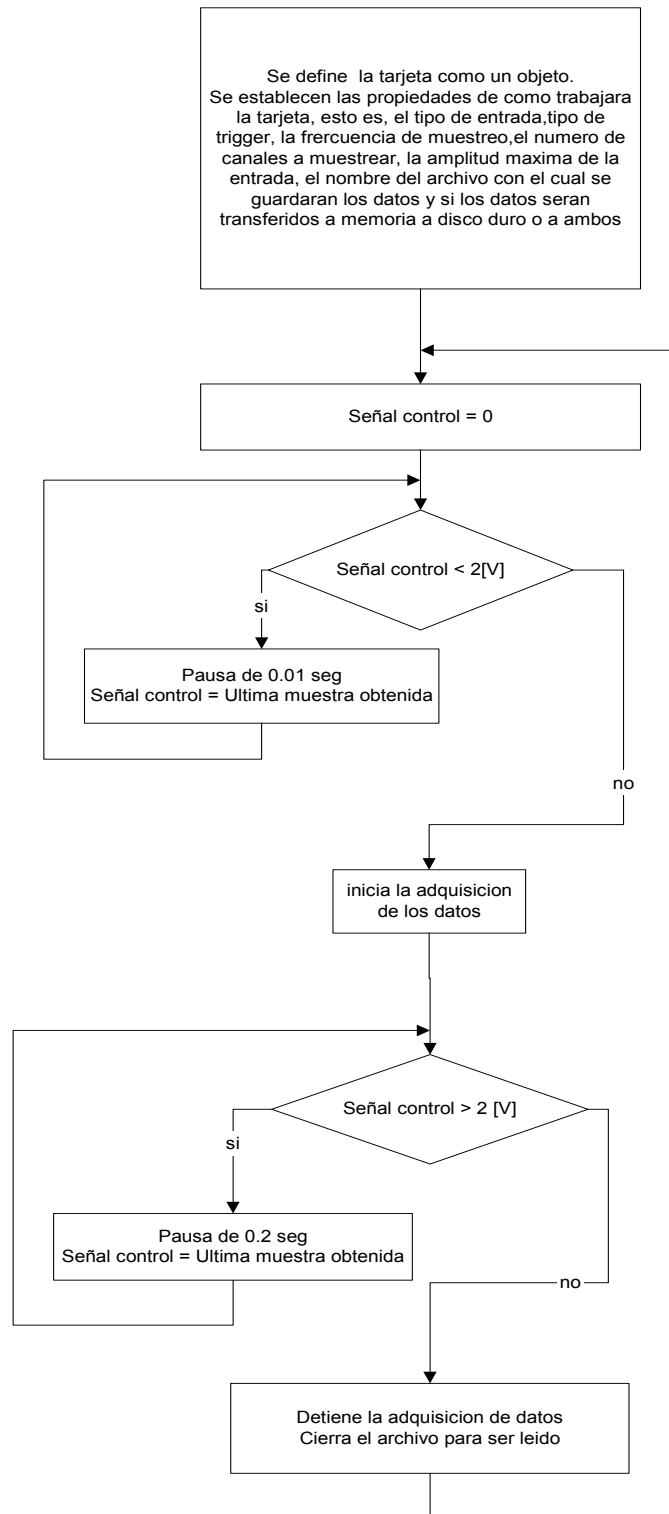
La función de adquisición de datos corre en una sesión de MatLab (sesión 1), esto porque las instrucciones de esta función se encuentran dentro de un ciclo infinito (while), el cual mantiene la sesión 1 de MatLab ocupada y por esta razón, las funciones de procesamiento de los datos y graficación no pueden ser procesadas en la sesión 1. Por lo tanto las funciones de procesamiento, graficación y almacenamiento de los datos corren en otra sesión de MatLab (sesión 2), totalmente independiente de la primera.

En la sesión 1 se definen los parámetros de funcionamiento de la tarjeta, la cual se indica: el tipo de entrada (entrada analógica referenciada a tierra), la amplitud máxima de la entrada, el trigger, la frecuencia de muestreo, el número de canales que serán muestreados, el nombre del archivo y el tipo de transferencia (ya sea directo a memoria o al disco duro).

En esta función los datos de cada ensayo son guardados en disco duro con un formato establecido por MatLab, para posteriormente, ser leído este archivo por la sesión 2.



El siguiente diagrama de flujo muestra como está programada la función de adquisición de datos





En esta función se muestrean 30 canales independientes con una frecuencia de muestreo de 40 [KHz/canal], esto porque las señales analógicas tienen una frecuencia máxima de 3[KHz], por tal motivo elegí esa frecuencia de muestreo para poder reconstruir las señales fielmente y también por cumplir la frecuencia de Nyquist.

Se adquieren 14 canales con las señales analógicas, así como también 14 canales con señales del tipo TTL, las cuales indican el momento en el que se inicia un potencial de acción y este pulso TTL tiene una duración de 500[μ s]. Otro canal que se muestrea es el de los estímulos; así como también el canal de trigger, que es el encargado de iniciar o detener la adquisición de datos.

En la figura 15 muestro como se distribuye la configuración de los pines de la tarjeta y menciono el número de pines que utilicé para el sistema.

Los pines utilizados fueron del Pin número 1 al Pin número 18, así como también del Pin número 51 al Pin número 65.

El siguiente índice muestra la forma de como quedaron conectados los pines con sus respectivas señales.

- Pin1 Tierra del sistema
- Pin2 Tierra del sistema
- Pin3 Señal de control de la adquisición de datos (Trigger)
- Pin4 Canal digital 7
- Pin5 Señal del estimulador
- Pin6 Canal analógico 1
- Pin7 Canal digital 1
- Pin8 Canal analógico 2
- Pin9 Canal digital 2
- Pin10 Canal analógico 3



- Pin11 Canal digital 3
- Pin12 Canal analógico 4
- Pin13 Canal digital 4
- Pin14 Canal analógico 5
- Pin15 Canal digital 5
- Pin16 Canal analógico 6
- Pin17 Canal digital 6
- Pin18 Canal analógico 7
- Pin51 Canal digital 8
- Pin52 Canal analógico 9
- Pin53 Canal digital 9
- Pin54 Canal analógico 10
- Pin55 Canal digital 10
- Pin56 Canal analógico 11
- Pin57 Canal digital 11
- Pin58 Canal analógico 12
- Pin59 Canal digital 12
- Pin60 Canal analógico 13
- Pin61 Canal digital 13
- Pin62 Canal analógico 14
- Pin63 Canal digital 14
- Pin65 Canal analógico 8



AIGND	1	51	ACH16
AIGND	2	52	ACH24
ACH0	3	53	ACH17
ACH8	4	54	ACH25
ACH1	5	55	ACH18
ACH9	6	56	ACH26
ACH2	7	57	ACH19
ACH10	8	58	ACH27
ACH3	9	59	ACH20
ACH11	10	60	ACH28
ACH4	11	61	ACH21
ACH12	12	62	ACH29
ACH5	13	63	ACH22
ACH13	14	64	ACH30
ACH6	15	65	ACH23
ACH14	16	66	ACH31
ACH7	17	67	ACH32
ACH15	18	68	ACH40
AISENSE	19	69	ACH33
DAC0OUT1	20	70	ACH41
DAC1OUT1	21	71	ACH34
EXTREF2	22	72	ACH42
AOGND	23	73	ACH35
DGND	24	74	ACH43
DIO0	25	75	AISENSE2
DIO4	26	76	AIGND
DIO1	27	77	ACH36
DIO5	28	78	ACH44
DIO2	29	79	ACH37
DIO6	30	80	ACH45
DIO3	31	81	ACH38
DIO7	32	82	ACH46
DGND	33	83	ACH39
+5V	34	84	ACH47
+5V	35	85	ACH48
SCANCLK	36	86	ACH56
EXTSTROBE*	37	87	ACH49
PFI0/TRIG1	38	88	ACH57
PFI1/TRIG2	39	89	ACH50
PFI2/CONVERT*	40	90	ACH58
PFI3/GPCTR1_SOURCE	41	91	ACH51
PFI4/GPCTR1_GATE	42	92	ACH59
GPCTR1_OUT	43	93	ACH52
PFI5/UPDATE*	44	94	ACH60
PFI6/WFTRIG	45	95	ACH53
PFI7/STARTSCAN	46	96	ACH61
PFI8/GPCTR0_SOURCE	47	97	ACH54
PFI9/GPCTR0_GATE	48	98	ACH62
GPCTR0_OUT	49	99	ACH55
FREQ_OUT	50	100	ACH63

Fig. 15 Configuración de pines de la tarjeta



5.2 Módulo de análisis de datos

5.2.1 SOFTWARE

El módulo de análisis de datos consta de una función que permite construir los vectores de los tiempos, estos tiempos indican el momento en que suceden los potenciales de acción. Para calcular estos vectores, realicé una función específica de procesamiento que corre en la sesión 2 de MatLab. Esta función se encuentra dentro del programa principal, en el cual están contenidas las funciones de almacenamiento y presentación de datos.

Esta función lee el archivo que se acaba de adquirir mediante la función de adquisición de datos que se encuentra en la sesión 1 de MatLab, pero solamente lee un fragmento de este archivo (lee 15 canales) que contiene las señales digitales (TTL) que generan los amplificadores. En la figura 16, se muestran los datos que se adquirieron de un canal durante un ensayo. Estos datos, son los que recibe la tarjeta, provenientes de los amplificadores.

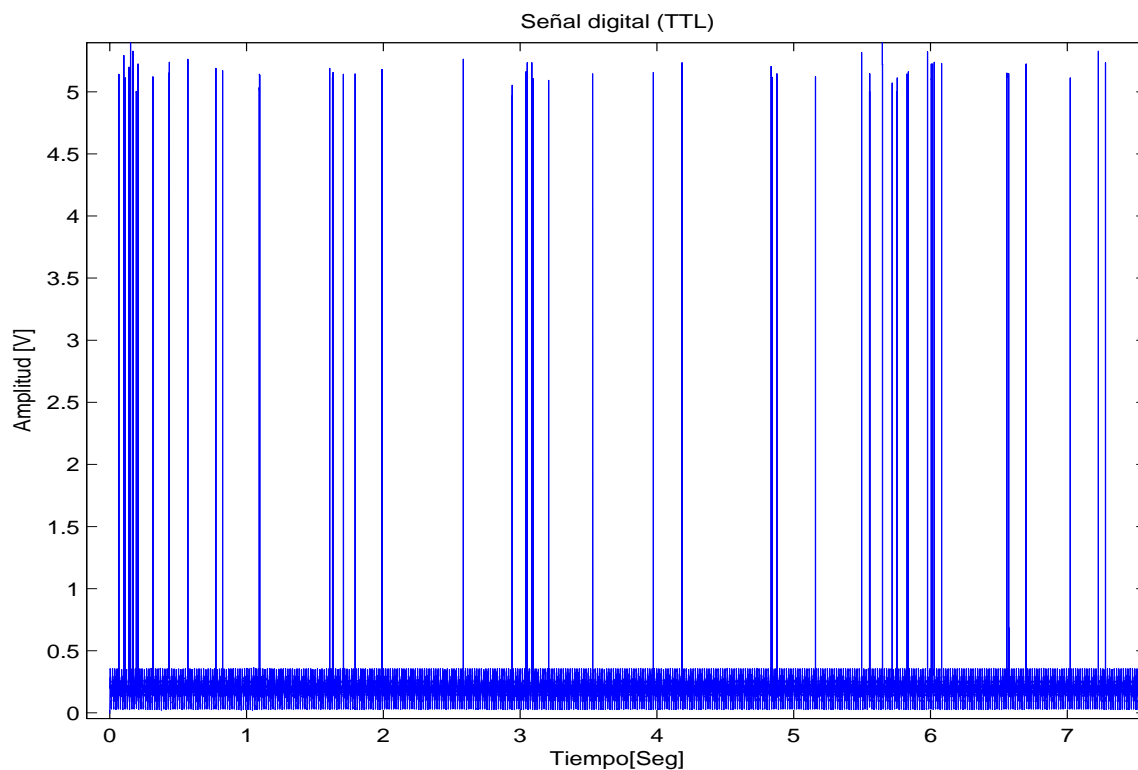


Fig. 16 Señal TTL proveniente del discriminador de ventana



Diseño y construcción del sistema: análisis de datos

Para corregir la pequeña variación en amplitud de los datos digitales que se observan en la figura 16, realicé una discriminación por software mediante un comparador. Esta corrección se realizó con el fin de tener una señal TTL ideal y poder discriminar los flancos de subida. A continuación se muestra la figura 17, la cual es una señal TTL ideal después de aplicar el comparador.

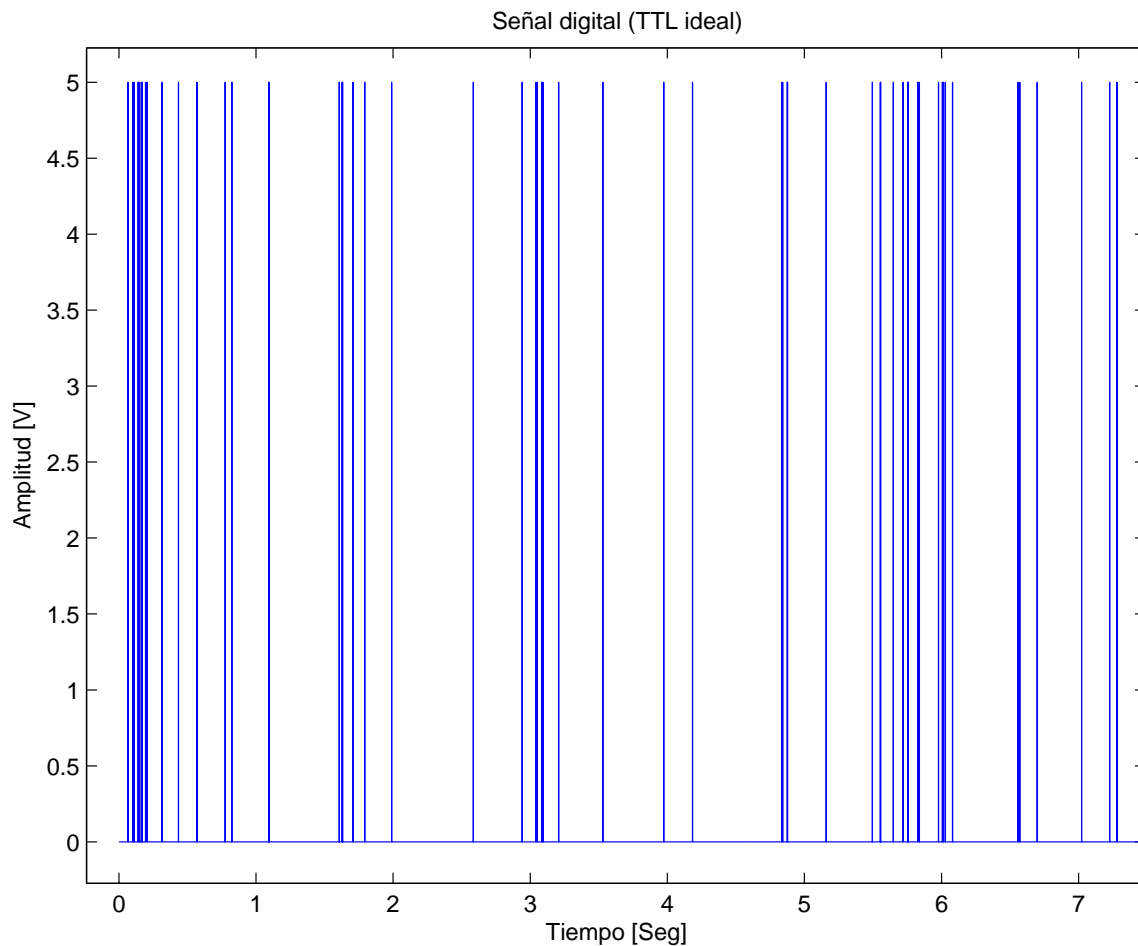


Fig. 17 Señal TTL después de someterla a un comparador.

En la figura 18 se muestra una ampliación de la imagen anterior para hacer notar los pulsos TTL que fueron adquiridos y discriminados mediante el comparador.

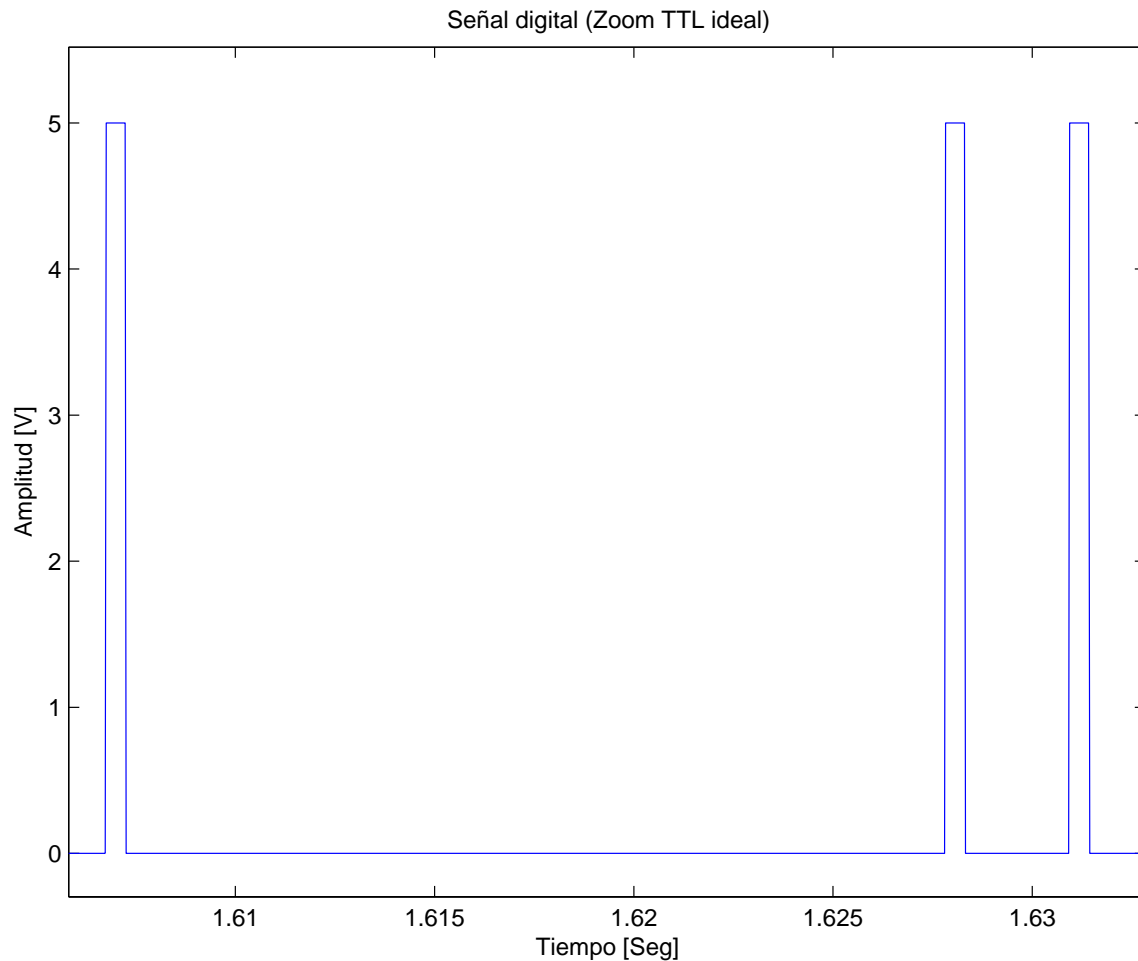


Fig. 18 Ampliación de la señal TTL ideal.

Una vez que se tienen los datos digitales (pulsos TTL) se necesitan obtener los tiempos en que ocurren estos pulsos, pero solamente un dato por pulso, esto es, obtener el dato cuando inicia un pulso (detectarlo por flanco de subida).

Para poder detectar el flanco de subida de la señal TTL se calcula la derivada de las señales TTL, para así obtener un impulso y con éste conocer cuando inicia el potencial de acción.

A continuación se muestra la figura 19, que es la derivada de la señal TTL

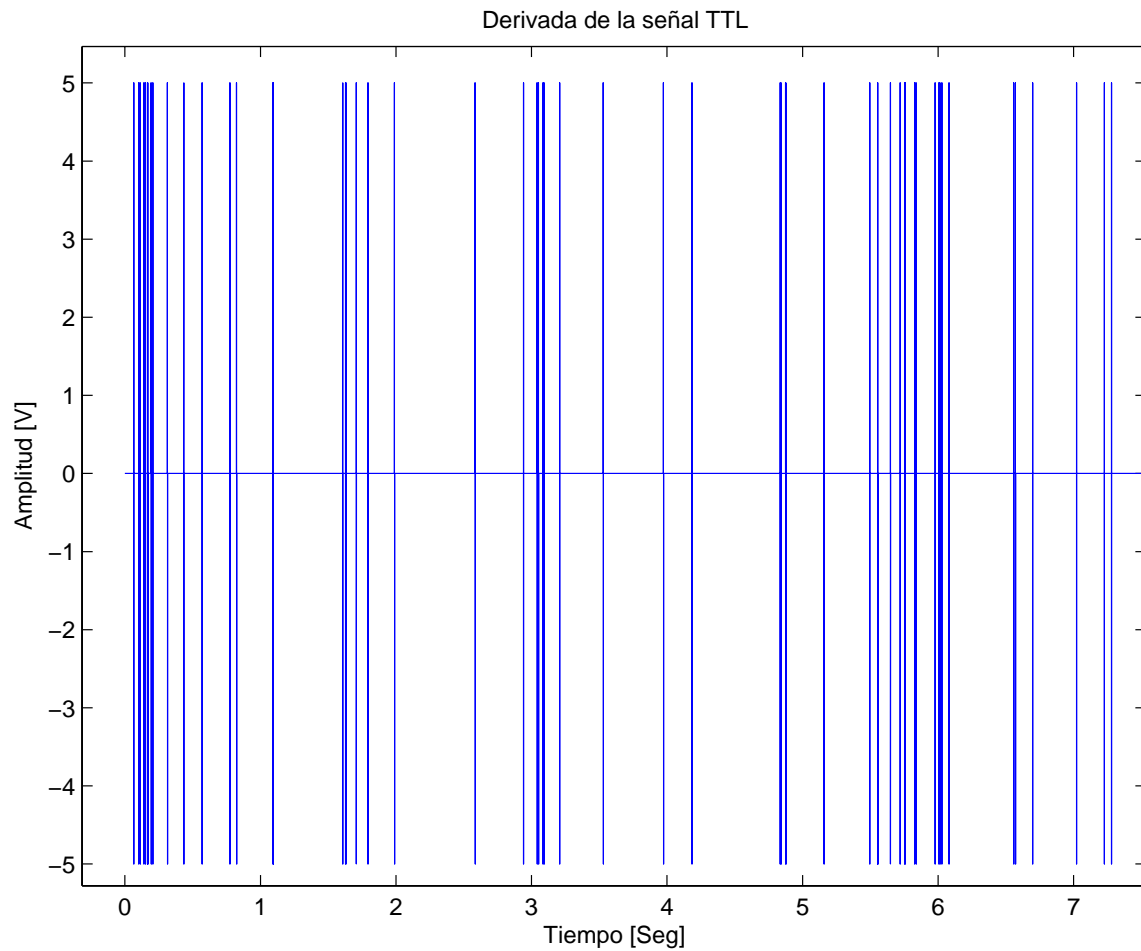


Fig. 19 Derivada de la señal TTL ideal.

La figura 20 ilustra una ampliación de la imagen anterior (fig. 19) para visualizar que se obtuvieron dos impulsos.

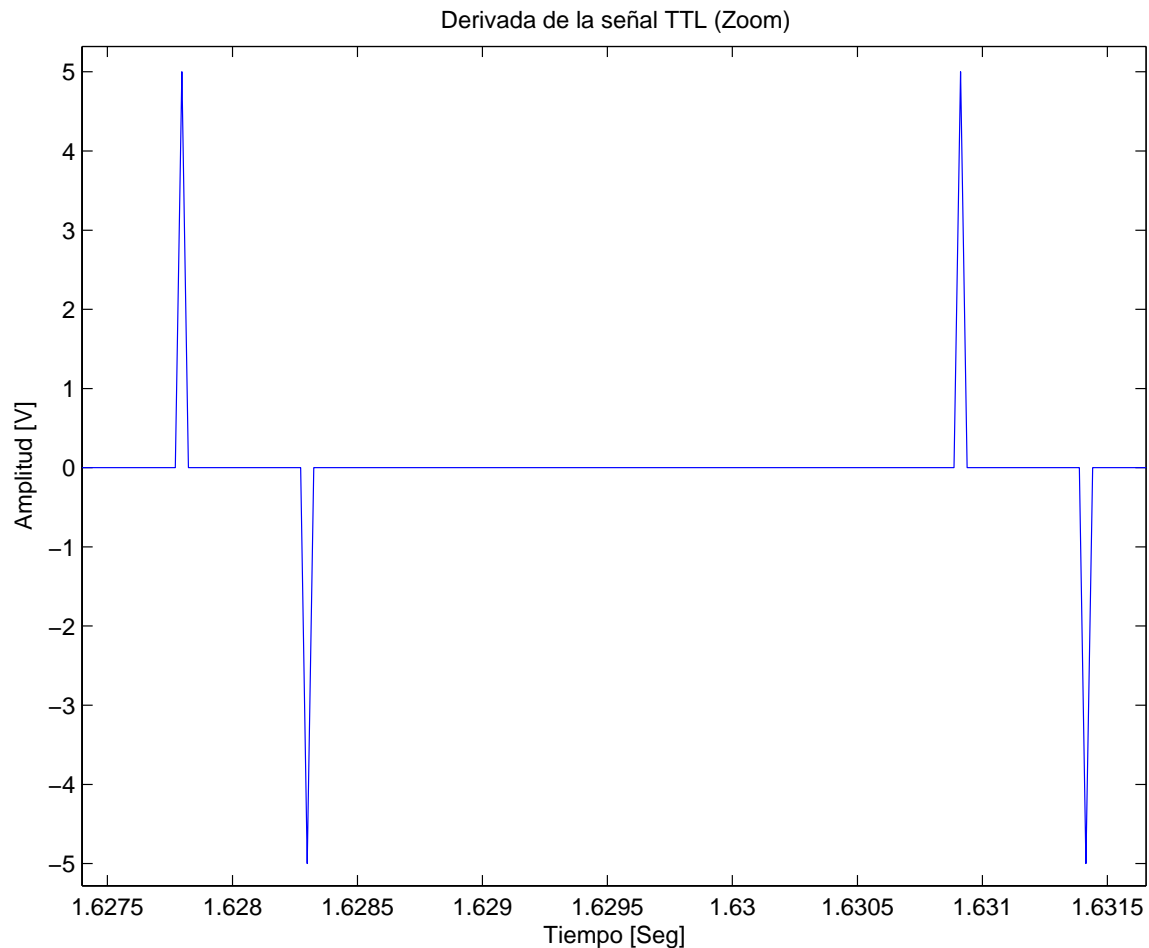


Fig. 20 Ampliación de la señal TTL.

En la figura 19, se puede apreciar que la señal tiene dos amplitudes (+5V y -5V). Las amplitudes positivas corresponden a los flancos de subida y las negativas a los flancos de bajada, por lo que se realizó otro procesamiento para solamente tener las amplitudes positivas, ya que éstas son las de interés.

La figura 21 muestra las señales impulso después de haber sido sometidas al procesamiento antes mencionado (para obtener los flancos de subida).

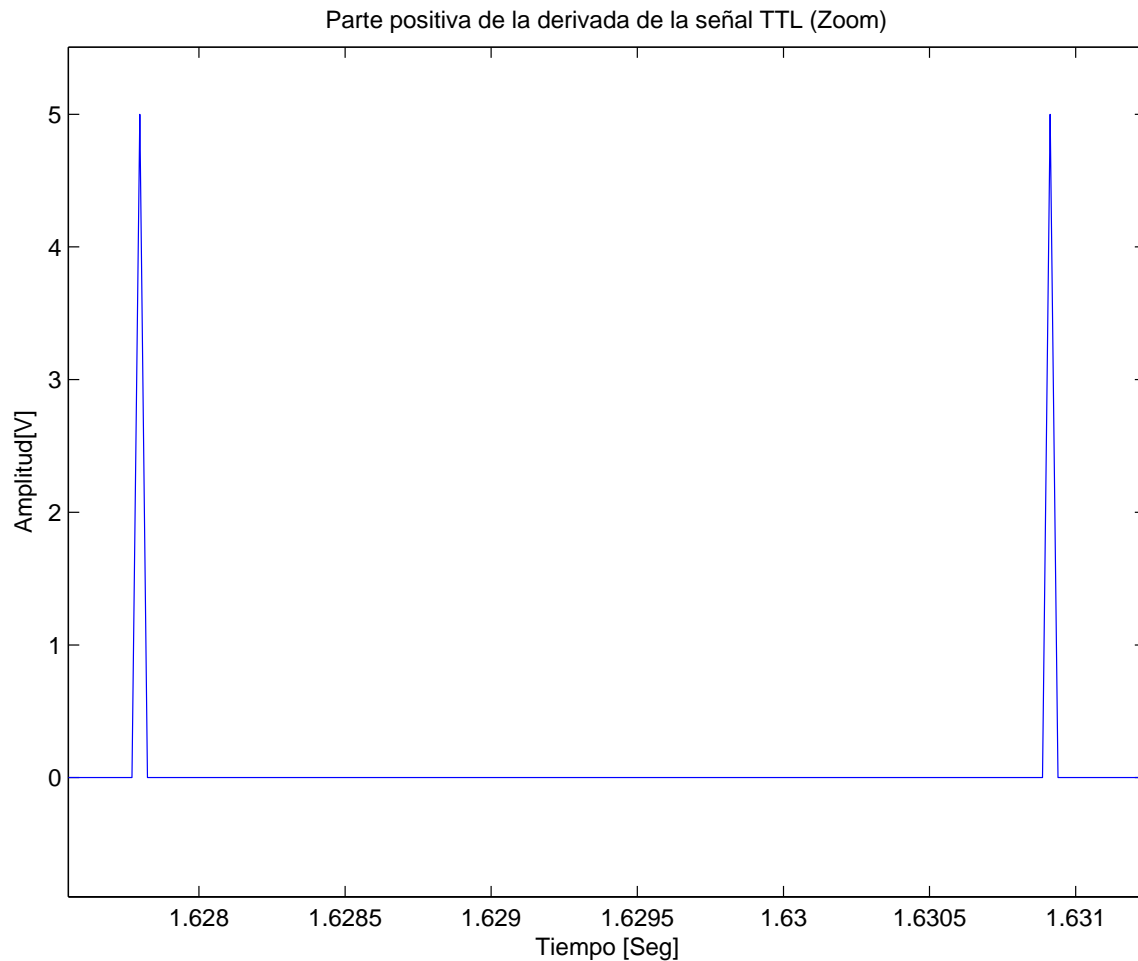
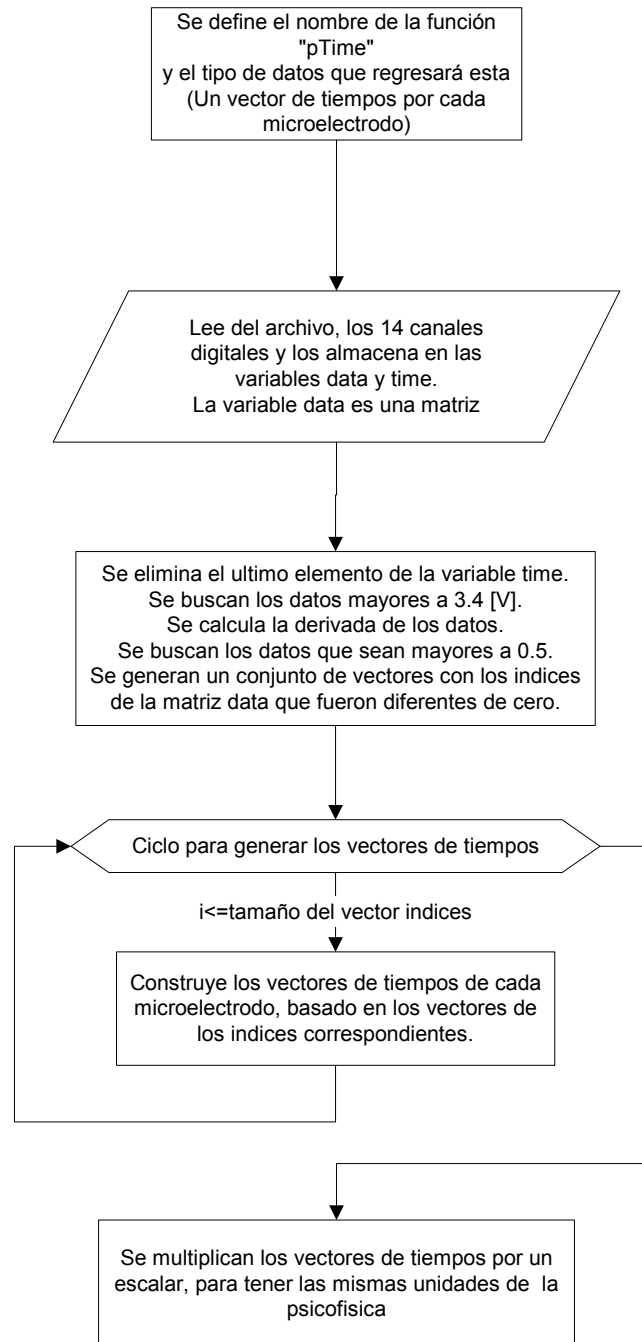


Fig. 21 Parte positiva de la derivada de la señal TTL.

De cada una de estas señales se obtiene el tiempo correspondiente en el cual ocurrió el potencial de acción y este tiempo es almacenado en un vector que contiene todos los tiempos de cada ensayo.

En el siguiente diagrama de flujo muestro como esta construida la función de análisis de datos.





5.3 Módulo de almacenamiento de datos

5.3.1 SOFTWARE

Este módulo esta construido por diferentes fragmentos de código para permitir guardar los datos, estas secciones de código trabajan en la función principal de la sesión 2 de MatLab.

Ya que son almacenados tanto los datos de la señal analógica, como los digitales. Los datos de la señal analógica son archivos con un formato específico de MatLab y tienen una extensión “archivo.daq”, los datos digitales o rasterizados, están contenidos en una variable estructural tipo celda, en conjunto con los datos conductuales, los cuales son generados por las computadoras controladoras de la tarea, y al ser guardada esta variable, el archivo tiene una extensión “.mat”.

La secuencia de guardado se describe a continuación. Inmediatamente después de calcular los vectores de tiempos correspondientes a los disparos de las neuronas, el archivo que contiene los datos de la señal analógica, es guardado en el disco duro con el nombre del ensayo correspondiente en una carpeta específica.

Con los datos conductuales que llegan de las computadoras controladoras de la tarea hacia la máquina de adquisición de datos y con los vectores de tiempos que se tienen en memoria se construye la variable estructural tipo celda e inmediatamente esta variable es guardada con un nombre temporal, para evitar que los datos se pierdan. Cada vez que transcurre un ensayo, los datos que genera, son agregados a la variable estructural tipo celda en el siguiente renglón y así sucesivamente. Así es como se construye el archivo con los datos rasterizados.

La tabla 3 muestra los datos que contiene esta variable estructural.

clase	ensayo	Hit	f1	f2	electrodos	PD	KD	SO1	SO2	SF1	SF2	KU	PU	PB	RW	A1	T1	A2	T2
-------	--------	-----	----	----	------------	----	----	-----	-----	-----	-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Tabla. 3 Eventos conductuales e información de los electrodos (datos digitales).



Cuando se termina un conjunto de ensayos, la máquina controladora de la tarea manda a la máquina de adquisición de datos un archivo con el nombre que se desean guardar los datos y con este archivo el programa principal de la sesión 2 de MatLab agrega encabezados a la variable estructural tipo celda y se guarda en la carpeta específica donde se encuentran las datos analógicos, después esta carpeta se renombra con el nombre del archivo deseado y se crea nuevamente la carpeta específica para guardar los datos del nuevo set de ensayos que se ejecutará.

5.4 Módulo de presentación de datos

Este módulo es una de las partes más importantes del sistema, ya que mediante la presentación de los datos, el investigador puede tomar una decisión de cómo llevar a cabo el experimento con base en la visualización de los datos neuronales.

La presentación de los datos se realiza después de ser adquiridos los datos, de ser procesados y ser guardados. Cabe mencionar que este procesamiento se realiza en línea.

Como los ensayos aparecen de una manera aleatoria, esto es para que el mono no pueda predecir el ensayo que le llegará y en realidad poder decir que el mono está discriminando entre los dos estímulos, se realizó una función que se encarga de ordenar los datos para así poder tener la facilidad de graficarlos.

La forma en que se presentan los datos es de acuerdo al tipo de clase, cada clase contiene dos estímulos diferentes para ser comparados por el mono.

Los datos neuronales son presentados respecto al tiempo, en conjunto con las marcas de la psicofísica (conducta del sujeto) y son alineados con respecto a un evento psicofísico de interés. Los datos neuronales son visualizados de un color cuando el mono acierta en su respuesta y de otro color cuando el mono se equivoca, esto es para poder diferenciar las respuestas cuando son graficadas.

Este módulo cuenta con una interfaz grafica de usuario amigable y sencilla de utilizar.



Diseño y construcción del sistema: Presentación de datos

El primer campo de esta interfaz gráfica, permite cambiar de un canal a otro, esto es, que permite estar visualizando diferentes neuronas conforme transcurre el experimento. El segundo campo nos permite escoger un evento psicofísico para alinear, esto es, que los datos neuronales pueden ser alineados con respecto a cada uno de estos eventos.

El tercer campo tiene la capacidad de indicar el tiempo total que se desea visualizar y el cuarto campo permite cambiar el tiempo previo de visualización con respecto al evento psicofísico con el cual se esta alineando.

La figura 22 muestra un raster alineado con el final del primer estímulo (sf1), con un tiempo total de visualización de 12 segundos y un tiempo previo de 5 segundos.

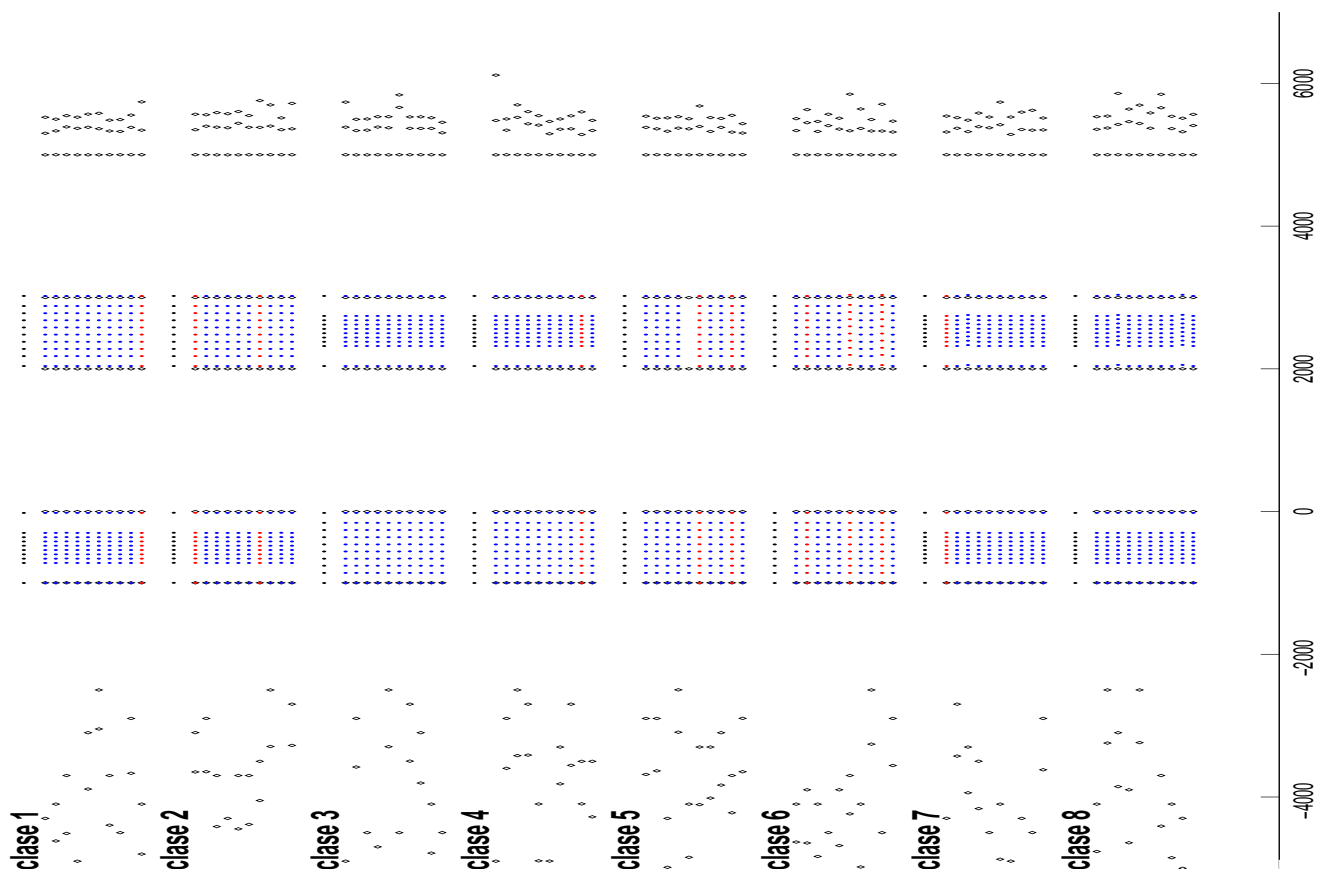


Fig. 22 Raster alineado con el final del primer estímulo (SF1)



Diseño y construcción del sistema: Presentación de datos

La figura 23 muestra la imagen del raster anterior pero alineado cuando se oprime el botón (PB), con un tiempo total de visualización de 11 segundos y un tiempo previo de 10 segundos.

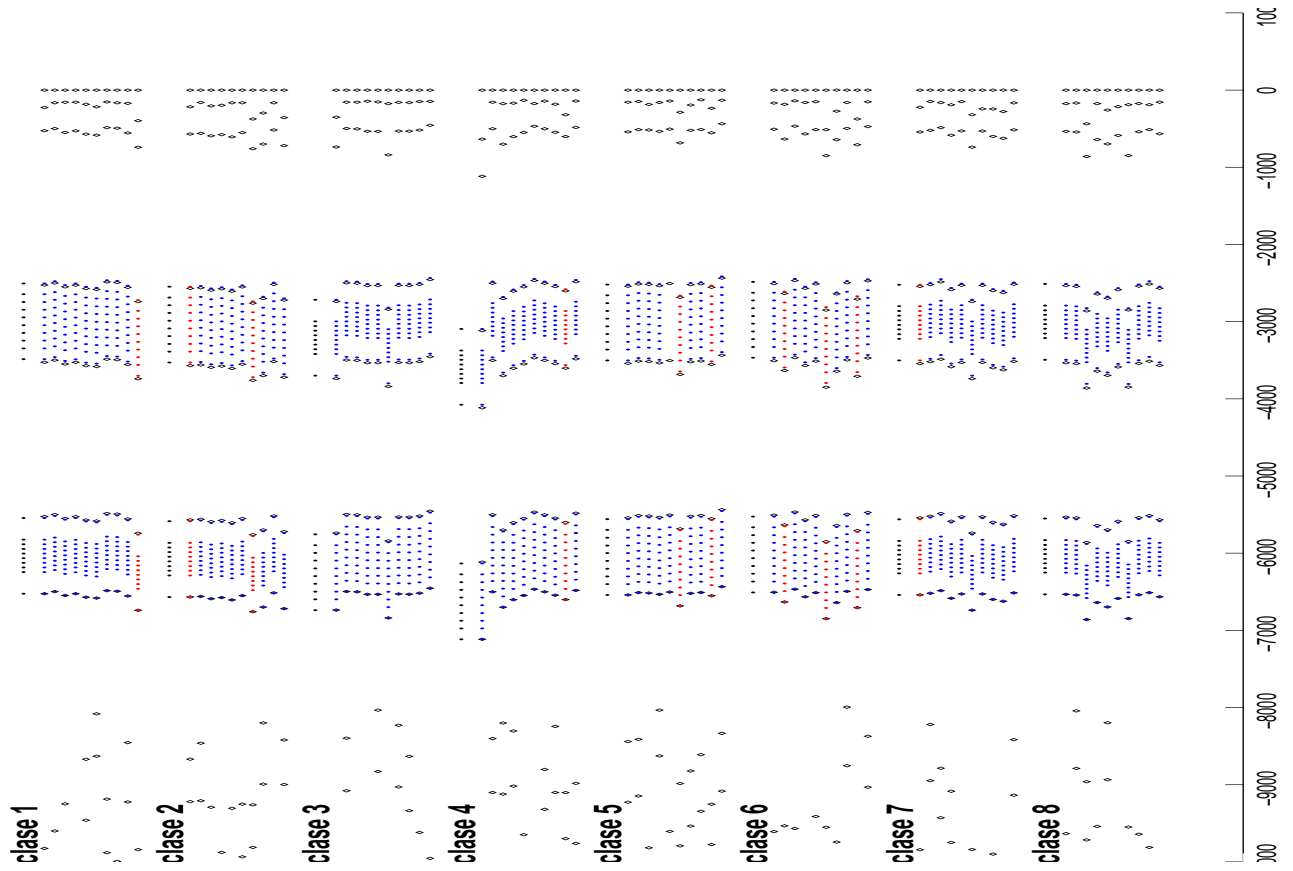


Fig. 23 Raster alineado al instante en el que el mono oprime el botón (PB)



5.5 Integración del sistema y pruebas

Como ya he señalado, el sistema está formado por cuatro módulos principales y cada módulo está formado por rutinas. Por lo que en la programación se realizaron pruebas en las rutinas. Una vez terminadas cada una de estas rutinas, se procedió a realizar la integración de cada una de ellas para que trabajaran en conjunto. Una vez que se integraron las rutinas, solamente se tienen dos funciones de MatLab. Para que estas dos funciones, se pudieran comunicar y sincronizar se intento realizar un intercambio dinámico de datos (dynamic data exchange, DDE), tecnología que permite a las aplicaciones de Microsoft Windows, comunicarse una con otra por medio del intercambio de datos.

Al intentar establecer una comunicación DDE entre las dos sesiones de MatLab no fue posible que éstas se pudieran comunicar. Por lo que se decidió utilizar otra técnica para sincronizar las dos aplicaciones de MatLab así como también sincronizar éstas, con las computadoras que controlan la tarea.

La sincronización completa del sistema se realiza mediante la escritura y lectura de archivos de texto, esto es, para que una rutina pueda funcionar pregunta si existe algún archivo determinado y esta rutina a su vez pueda utilizar la información de este archivo. Cuando la rutina termina de utilizar el archivo, esta borra del disco duro el archivo, para que pueda ser escrito nuevamente en el siguiente ensayo. En la fase de sincronización, se realizaron pruebas del tiempo mínimo que se necesita para escribir y leer el archivo. Con base en estas pruebas, se colocaron retardos de tiempo para que se pudiera escribir completamente el archivo y no se intentara leer cuando se estuviera escribiendo. Esta forma de sincronización del sistema resultó muy estable cuando se conocen los parámetros y los tiempos de lectura y escritura de los archivos. La prueba de los programas es la técnica de confirmación del sistema, que se debe realizar antes de entregarlo al usuario. Las pruebas consisten en ejercitar el sistema utilizando datos similares a los reales y observar los resultados e interpretar estos para detectar errores o insuficiencias en el sistema. Es importante comprender que las pruebas nunca demuestran que un programa está correcto; es probable que existan errores, aún después de la prueba más completa.

Una vez terminado el sistema se hicieron varias pruebas para revisar que cumpliera con los requerimientos establecidos.

El figura 24 muestra como quedó integrado el sistema y se describe el flujo de información entre las computadoras.

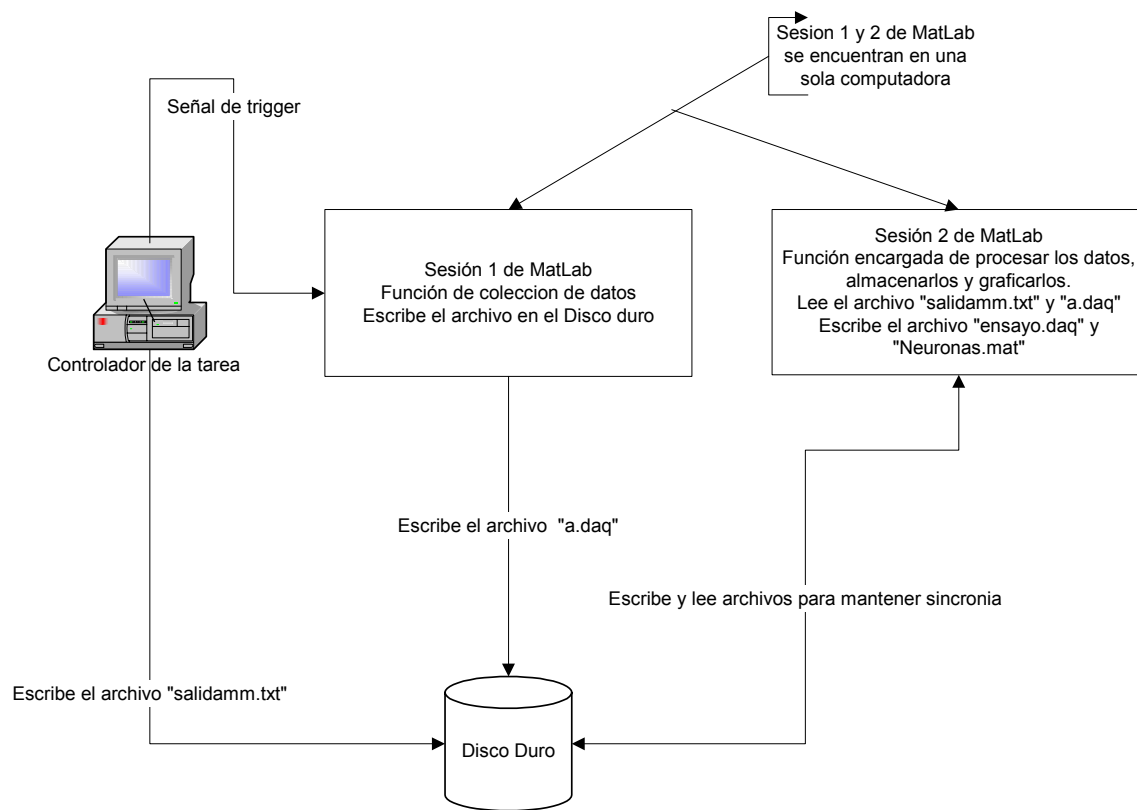


Fig. 24 Flujo de información entre componentes del sistema.

El diagrama de estados de la figura 25, muestra la sincronía de lectura y escritura de archivos.



Diseño y construcción del sistema: Integración del sistema y pruebas

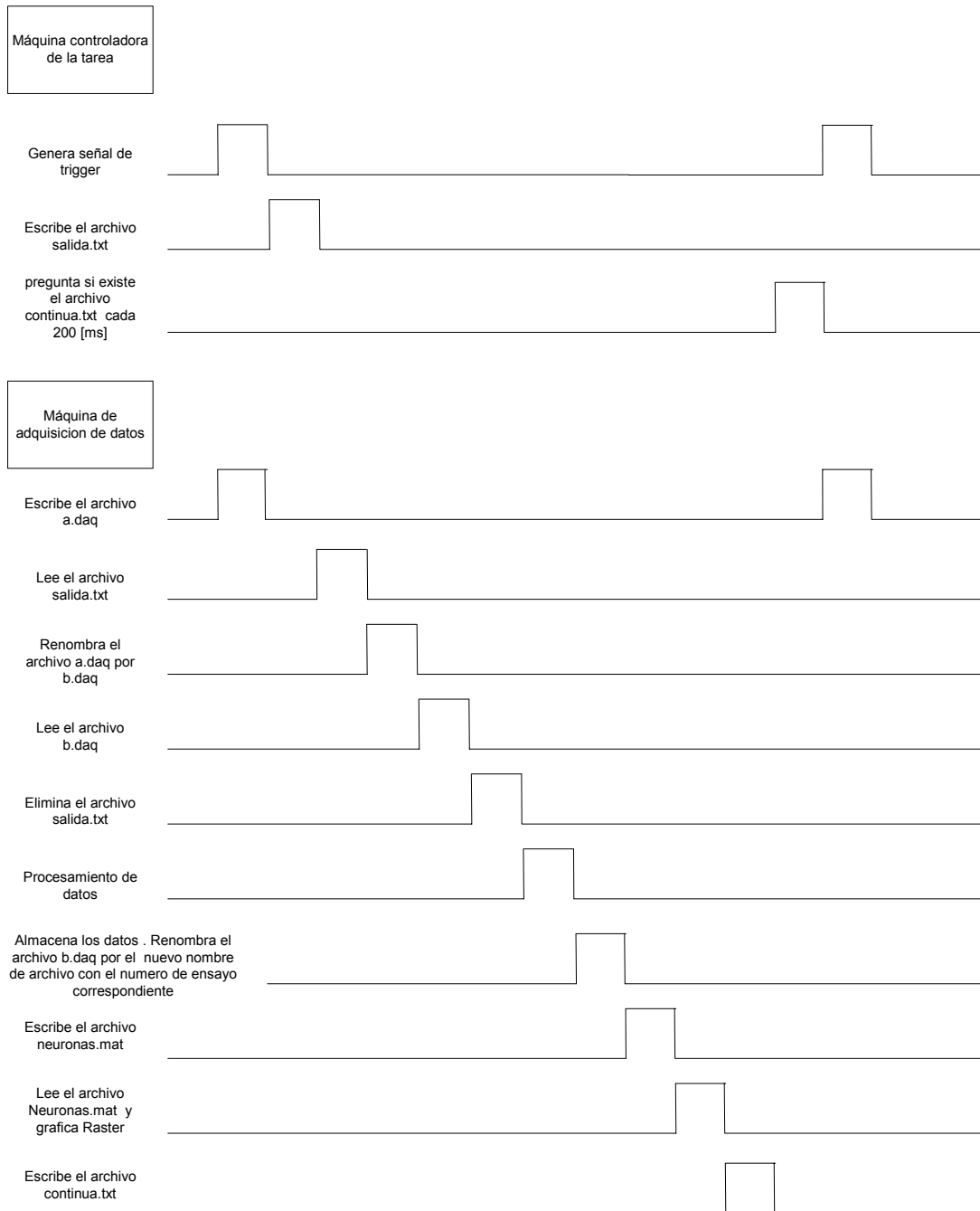


Fig. 25 Diagrama de estados para sincronizar el sistema.

5.6 Resultados

Para ejemplificar los resultados que se obtienen con el sistema, presento una corrida de un set de 80 ensayos, mostrando como se presenta la visualización del sistema ensayo tras ensayo, así como también se muestra la interfaz grafica de usuario. En esta corrida se puede observar que las clases que le son presentadas al mono las recibe de manera aleatoria y el sistema es el encargado de ordenarlas para presentar los datos. Para diferenciar los aciertos de los errores, los aciertos los pinto en color azul y los errores en color rojo.

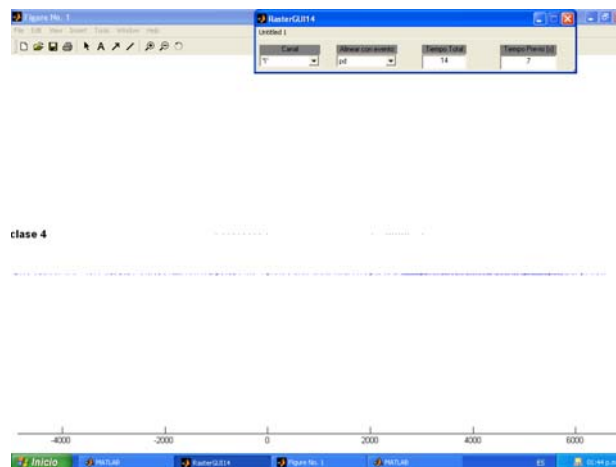


Fig. 26 Visualización de los datos de un solo ensayo

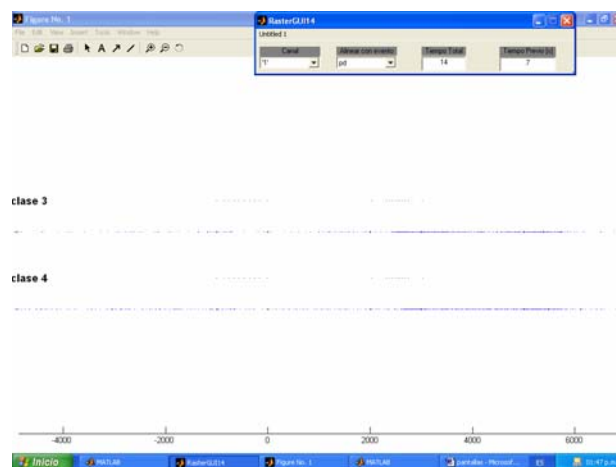


Fig. 27 Visualización de los datos de dos ensayos

Diseño y construcción del sistema: Resultados

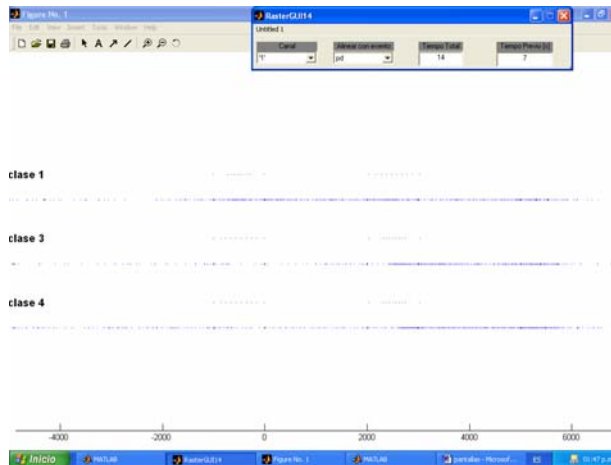


Fig. 28 Visualización de tres ensayos

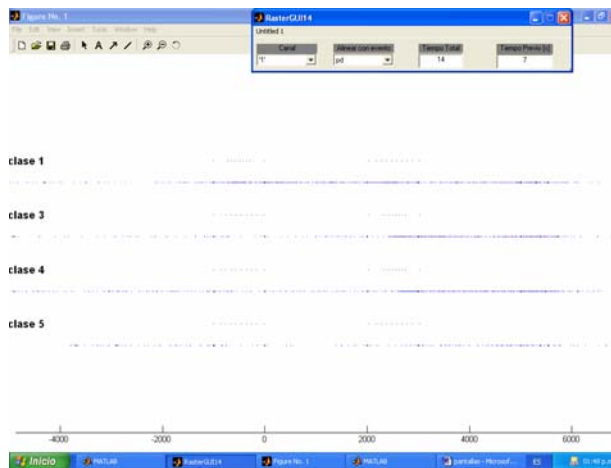


Fig. 29 Visualización de cuatro ensayos

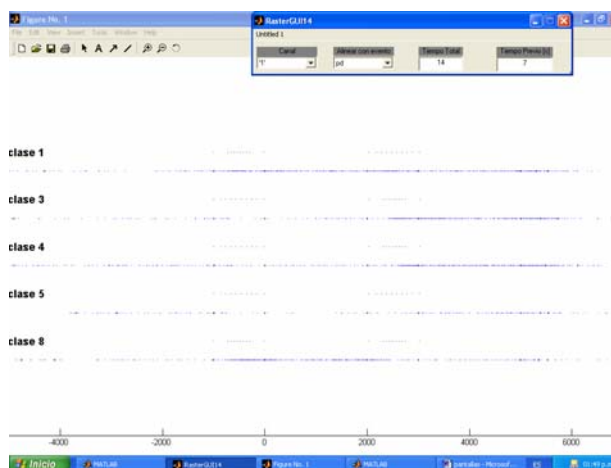


Fig. 30 Visualización de cinco ensayos.

Diseño y construcción del sistema: Resultados

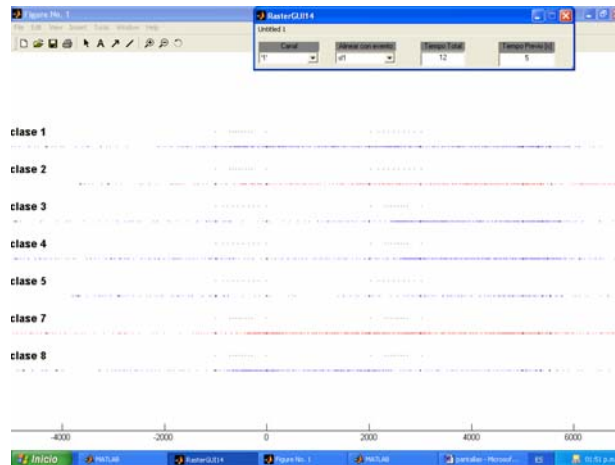


Fig. 34 Visualización de siete ensayos.

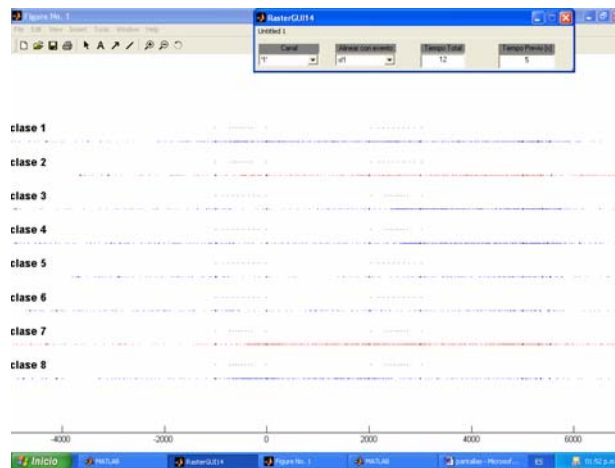


Fig. 35 Visualización de ocho ensayos.

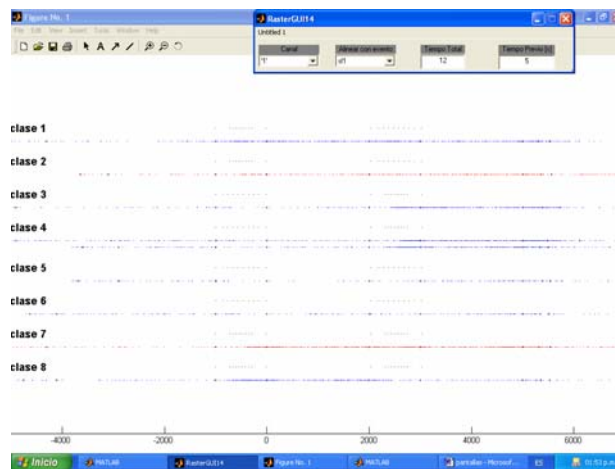


Fig. 36 Visualización de nueve ensayos.

Diseño y construcción del sistema: Resultados

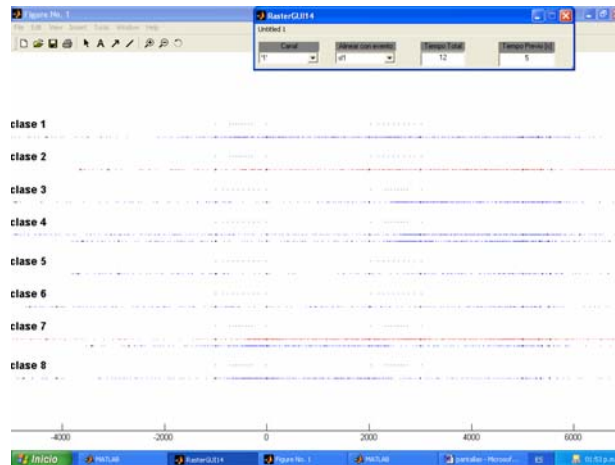


Fig. 37 Visualización de diez ensayos.

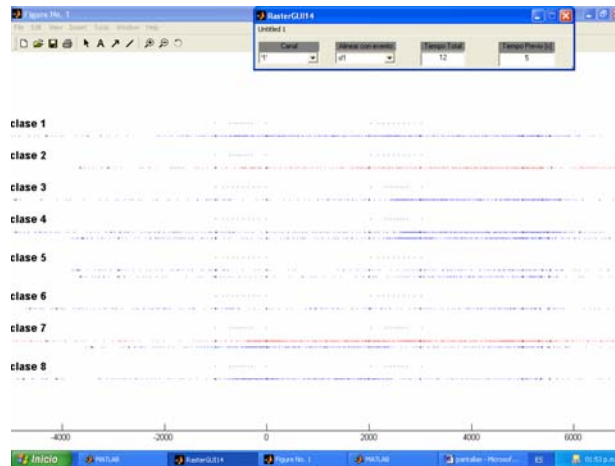


Fig. 38 Visualización de once ensayos.

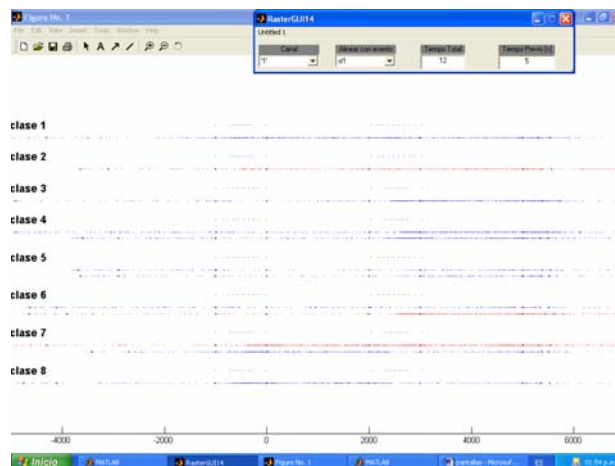


Fig. 39 Visualización de doce ensayos.

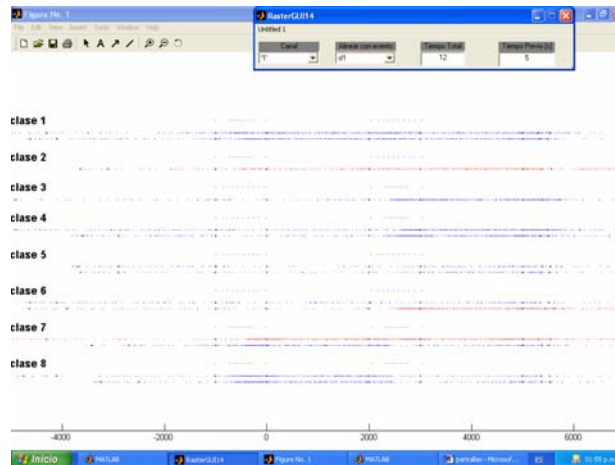


Fig. 40 Visualización de catorce ensayos.

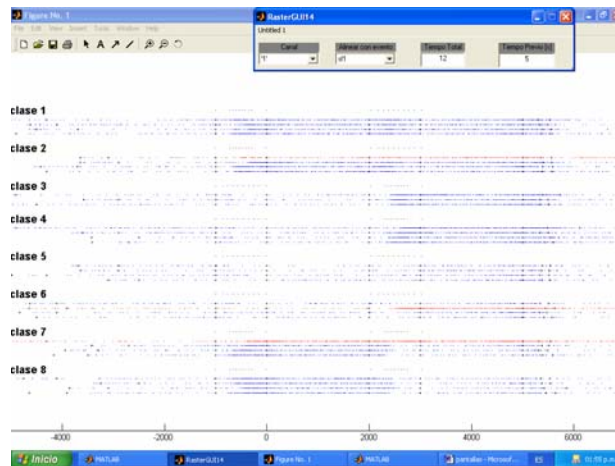


Fig. 41 Visualización de treinta y un ensayos, cada clase tiene cuatro ensayos, excepto la clase 3.

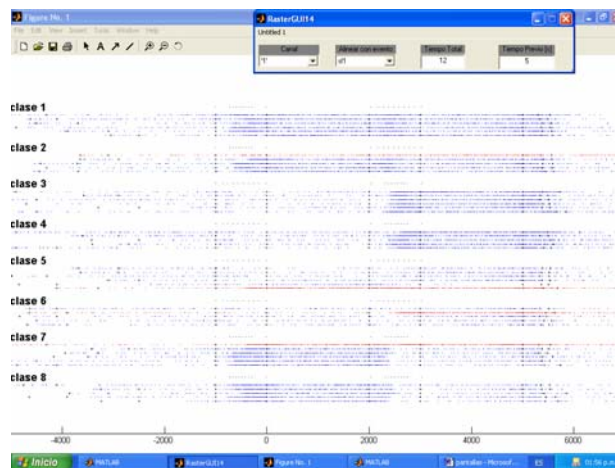


Fig. 42 Visualización de cuarenta y cuatro ensayos.

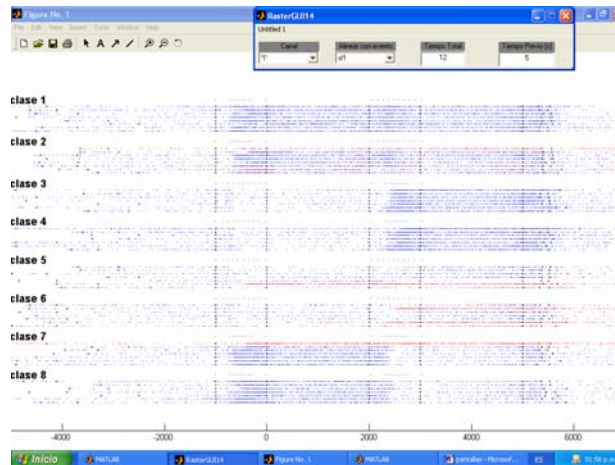


Fig. 43 Visualización de cincuenta y ocho ensayos.

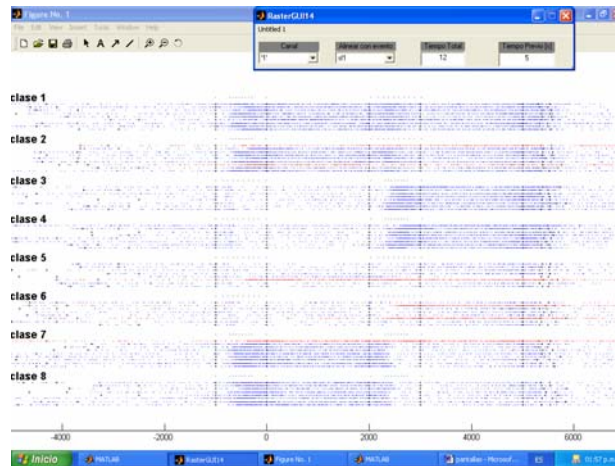


Fig. 44 Visualización de sesenta y cinco ensayos.

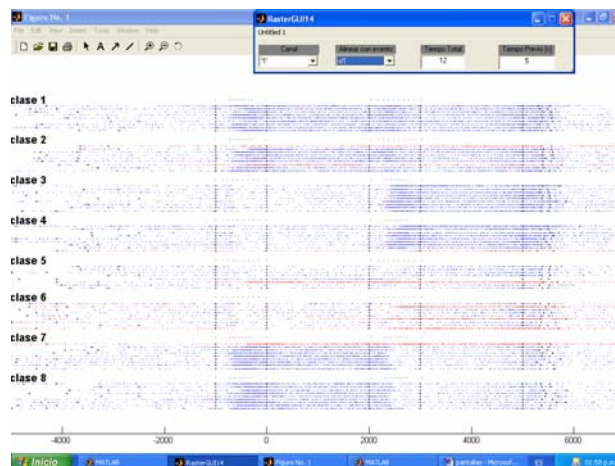


Fig. 45 Visualización de sesenta y nueve ensayos.

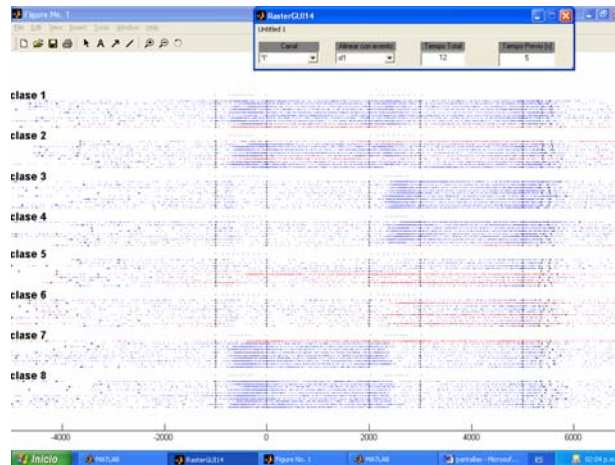


Fig. 46 Visualización de setenta y dos ensayos.

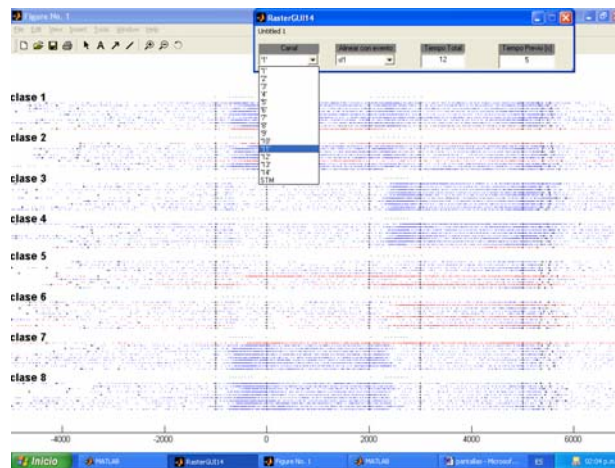


Fig. 47 Visualización de setenta y siete ensayos.

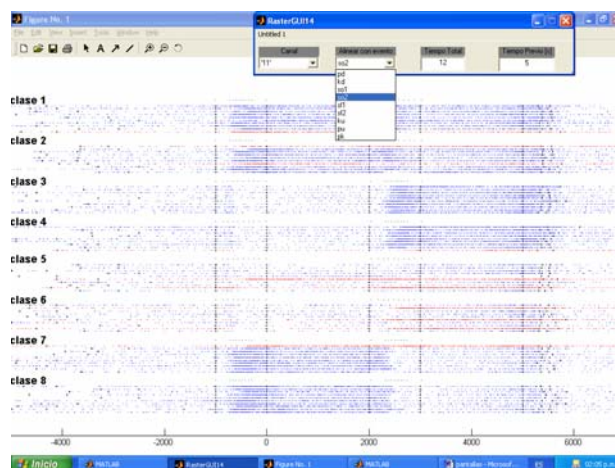


Fig. 48 Visualización de ochenta ensayos.



6 CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

El sistema que he diseñado e implementado, cumple con los requerimientos establecidos por el investigador. Con este sistema, la visualización y el almacenamiento de los datos pueden realizarse en línea (Tiempo real). Además este sistema de adquisición de datos puede ser utilizado por cualquiera de los miembros del laboratorio sin requerir de ellos un conocimiento profundo del mismo.

Se consiguió que el sistema adquiera y despliegue los datos provenientes de dos áreas distintas del cerebro del mono Rhesus, así como también permite almacenar los datos de la señal analógica. Anteriormente no se tenían registros de esta señal en el laboratorio. Mediante esta señal se pueden diseñar y realizar nuevos análisis para generar nuevos resultados.

Al construir este sistema me di cuenta de la importancia de conocer y seguir una metodología de desarrollo de Sistemas, ya que me permitió establecer claramente los requerimientos y llevar un orden en cuanto al desarrollo de éste, evitando así ocupar tiempo importante en cosas no necesarias.

Conocí la instrumentación y los equipos de uso común en la industria y en el medio científico, como son las tarjetas de adquisición de datos, así como también el software y hardware necesario para que estas trabajen. Aprendí a manejarlas, sus ventajas, desventajas y costos.

Aprendí nuevos conceptos de la ingeniería biomédica (Neurociencias), como son nombres de las diferentes áreas de la corteza cerebral del mono, los principales conceptos de la psicofísica, así como también, el análisis que se realiza a los datos neuronales.

A partir del 1 de Marzo del 2004, un año después de iniciar este proyecto, se inicio el registro en una preparación biológica (cerebro del mono Rhesus), lo cual muestra que este sistema se encuentra actualmente en operación y ha permitido el registro de más de 1500 neuronas, en diferentes áreas del cerebro del mono Rhesus.



7 BIBLIOGRAFIA



BIBLIOGRAFIA

- (1) Mark F. Bear, Barry W. Connors, Michael A. Paradiso.
Neurociencia Explorando el cerebro
Ed. Masson – Williams & Wilkins, Barcelona, España. 1998.
- (2) Adrián Hernández, Emilio Salinas, Rafael García, & Ranulfo Romo
Discrimination in the sense of flutter: New psychophysical measurements in monkeys
J. Neuroscience. Agosto 15, 1997
- (3) Ranulfo Romo, Emilio Salinas, Adrián Hernández, Antonio Zainos, Luis Lemus, Victor de Lafuente, Rogelio Luna.
Códigos neurales para la percepción, Rev Neurol. 2002
- (4) Ranulfo Romo, Salvador Ruiz., Patricia Crespo., Antonio Zainos and Hugo Merchant.
Representation of tactile signals in primate supplementary motor area.
J. Neurophysiol. 1993.
- (5) Ranulfo Romo, Salvador Ruiz S, Patricia Crespo., & Stive Hsiao.
A tactile stimulator for studying motion processing in the somatic sensory system of primates
J. Neuroscience. Methods 46:139-146 1993
- (6) Ranulfo Romo, Salvador Ruiz., and Patricia Crespo.
Cortical representation of touch. Neuroscience: from Neural networks to artificial intelligence
- (7) Vernon B. Mountcastle.
Perceptual Neuroscience THE CEREBRAL CORTEX
Harvard University Press Cambridge, Massachusetts, and London, England
1998
- (8) NK. Logothetis, J. Pauls, M. Augath, T. Trinath, A. Oeltermann.
Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal
Nature. 2001 Jul 12;412(6843):150-7.
- (9) Kenneth E. Kendall & Julie E. Kendall. Análisis y Diseño de Sistemas.
Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. Mexico D.F. México 3ª Ed. 1997.



Bibliografía

- (10) "Why VMMS work smarter", National Instruments.
- (11) "*Microelectrodes (manual)*". Thomas Recording GmbH Germany 2003.
- (12) "*7-/28-Channel Eckhorn System Microelectrode Recording System (manual)*". Thomas Recording GmbH Germany 2003.
- (13) "*Multi-Unit-Activity MUA Filter-/Amplifier System (manual)*" Thomas Recording GmbH Germany 2003
- (14) MATLAB Application Program Interface Guide
The Math Works Inc.
- (15) DAQ PCI- 6601 User Manual
- (16) Data Acquisition Toolbox For Use with MATLAB The Math Works Inc.
- (17) DAQ PCI E Series User Manual (PCI-6071E)