



**Universidad
de Valparaíso**
CHILE

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL BIOMÉDICA

DESARROLLO DE UN EQUIPO DE ESTIMULACIÓN PARA EL ESTUDIO DE LA RESONANCIA ESTOCÁSTICA EN EL SISTEMA TÁCTIL HUMANO

POR

RODOLFO GONZÁLEZ MORALES
SEBASTIÁN GONZÁLEZ RODÓ

TRABAJO DE TÍTULO REALIZADO
PARA OPTAR AL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL BIOMÉDICO

PROFESOR GUÍA: MSc. GUILLERMO AVENDAÑO
PRFESOR CO-GUÍA: LUIS TOGO ARREDONDO

ENERO, 2014

Dedicatoria

A la Universidad de Valparaíso, en especial al Departamento de Ingeniería Biomédica, por entregarnos las bases y conocimientos que han permitido desarrollarnos como ingenieros del área de la salud en Chile.

Agradecimientos

Sebastián:

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi esposa, Ruby, la mujer más maravillosa de este mundo. Nada hubiese sido posible sin ella.

A mis padres, Alejandro y Cecilia, por ser el pilar fundamental en mi desarrollo profesional, por la constante preocupación y apoyo en los años que estuve fuera de mi hogar. Hoy puedo decir que soy un profesional gracias a ellos.

A mi familia y amigos, por acompañarme en cada paso de mi carrera profesional.

Por último lugar, y no menos importante, a mis profesores Guillermo Avendaño y Luis Togo Arredondo que permitieron el desarrollo de esta tesis. Gracias por toda su paciencia y dedicación.

Rodolfo:

A todas aquellas personas que han participado tanto en mi desarrollo intelectual como emocional durante toda mi vida y a dios por convertirse en mi plaza fuerte tanto en momentos de felicidad como de tristeza.

A personas en particular, quisiera destacar a mis padres que de pequeño me han enseñado lo importante de lograr las cosas con esfuerzo y sacrificio, además de apoyarme incondicionalmente permitiendo lograr objetivos tan importantes como terminar mi enseñanza universitaria.

También a mis amigos y familiares que me han seguido y acompañado, a través de los cuales puedo canalizar mis experiencias de vida y que llevo muy bien plasmadas en mi memoria.

Finalmente a los profesores que hacen posible que exista universidad, que exista una carrera y más importante que se desarrollen profesionales. Dentro de ellos menciono a Guillermo Avendaño y Luis Togo Arredondo, parte fundamental de nuestro último proceso como estudiantes que es el desarrollo de la tesis.

Gracias a todos por estos maravillosos años de dedicación, paciencia y de inmensa felicidad.

Palabras claves: Resonancia estocástica, protocolo, software y hardware.

Resumen: El objetivo principal del proyecto es desarrollar un equipo de estimulación táctil que permite estudiar el fenómeno de la Resonancia Estocástica y como esta incide de manera constructiva en sistemas no lineales como el sistema Táctil Humano. Para ello, el proyecto se dividió en tres grandes etapas: Creación de un protocolo experimental, creación de un software o interfaz de usuario y creación de un hardware o estimulador. Para el protocolo experimental se optó por llevar a cabo un método adaptable, específicamente el procedimiento tipo escalera, en el cual se describe el objetivo del estudio, las características del sujeto a prueba y procedimiento que el investigador debe seguir para llevar las pruebas a cabo correctamente. Por otro lado, el software es una plataforma que permite al investigador realizar las pruebas de: determinación del umbral táctil, determinación del umbral táctil respecto al ruido, determinación del umbral vibrotáctil, determinación del nivel de ruido óptimo y la incerteza espacial. El investigador puede modelar los resultados de cada prueba a través de las gráficas que provee el software y obtener así los resultados. Para facilitar el trabajo del experimentador, se programó opciones para ingresar, cargar y guardar datos del sujeto, permitiendo exportarlos a un archivo Excel. El Hardware fue implementado en una etapa circuital y una estructural para el soporte de los estimuladores piezoeléctricos, la etapa electrónica incluye amplificación y filtrado de la señal.

En los resultados se obtiene de manera operativa cada una de las etapas de implementación, donde se presenta un protocolo muy bien estructurado que permite a cualquier experimentador realizar las pruebas del equipo de estimulación. También se presenta el software con todas las interfaces diseñadas especialmente para cada prueba con un menú de inicio que permite acceder de manera rápida a cada una de ellas. Además se muestra cada señal de salida del software, la que representa la señal de estimulación en formato digital. En la parte del software se presentan los resultados de la implementación tanto de la parte circuital como la estructural de los dispositivos piezoeléctricos. Finalmente, se observa las mediciones realizadas en sujetos experimentales para cada una de las pruebas diseñadas en el protocolo; cabe destacar que se reserva el nombre de los sujetos por confidencialidad de sus datos.

A modo de conclusión se describe que el uso de tecnología facilita y apoya la labor del experimentador, proporcionándole una herramienta validada y rápida en la obtención de resultados, lo que ayuda a obtener más resultados en menos tiempo. El sistema está implementado de manera modular pensando en el constante desarrollo tecnológico, es decir, puede ser reemplazado completamente un subsistema y el sistema sigue siendo compatible con otros módulos. Dentro de las cosas propuestas para futuros trabajos se propone la mejora del soporte físico para los dispositivos piezoeléctricos, donde la fuerza que se ejerce sobre el dedo índice sea mejor controlada. También se propone la implementación de nuevas pruebas psicofisiológicas que estudien otros efectos en el sistema táctil humano.

Tabla de Contenidos

<u>INTRODUCCIÓN</u>	11
OBJETIVO GENERAL	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
<u>ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA</u>	13
ESTADO DEL ARTE	13
PROBLEMÁTICA GENERAL	15
PROBLEMÁTICA ESPECÍFICA	15
<u>DESARROLLO DE LA PROPUESTA</u>	16
MARCO TEÓRICO	16
PROTOCOLO	16
RECEPTORES MECANORRECEPTIVOS	16
RESONANCIA ESTOCÁSTICA	16
MÉTODOS PSICOFISIOLÓGICOS	18
MÉTODO DE LOS LÍMITES	18
MÉTODO DE LOS ESTÍMULOS CONSTANTES	18
PROCEDIMIENTOS ADAPTABLES	18
SOFTWARE	20
DIAGRAMAS DE FLUJO	20
HARDWARE	21
FILTROS	21
DISEÑO DE LA PROPUESTA	23
IMPLEMENTACIÓN	24
<u>RESULTADOS</u>	28
PROTOCOLO EXPERIMENTAL	28
DIAGRAMAS DE FLUJO	28
SOFTWARE	28
HARDWARE	34
PRUEBAS REALIZADAS	34
<u>DISCUSIÓN</u>	35
<u>CONCLUSIÓN</u>	36
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	37
<u>ANEXOS</u>	38
ANEXO 1. DIAGRAMAS DE FLUJO	38
ANEXO 2. CONVERTOR DIGITAL-ANÁLOGO NI 9263	41
ANEXO 3. OSCILOSCOPIO DSO NANO	45
ANEXO 4. CIRCUITO DE FILTRADO Y AMPLIFICACIÓN	47
ANEXO 5. DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS	52
ANEXO 6. PIVOTE PARA SOPORTE DE SENSORES PIEZOELÉCTRICOS	54
ANEXO 7. PLATAFORMA PARA SOPORTE DE PIEZOELÉCTRICOS	57
ANEXO 8. PROTOCOLO DE EXPERIMENTACIÓN	59
ANEXO 9. CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE	64

Desarrollo de un equipo de estimulación para el estudio de la resonancia estocástica en el sistema táctil humano

Rodolfo González Morales y Sebastián González Rodó
Escuela de Ingeniería Biomédica, Universidad de Valparaíso, Chile

Palabras claves: *Resonancia Estocástica, Sistema Táctil Humano, Estimulación, Protocolo y Software.*

Introducción

Múltiples aplicaciones se han asociado al estudio del sistema táctil humano. Por ejemplo, la cirugía de acceso mínimo, conocida también como telecirugía o cirugía endoscópica, es una técnica de operación desarrollada para disminuir el efecto traumático de la cirugía abierta. Sin embargo, en esta técnica el cirujano pierde la capacidad de palpar, usada rutinariamente en la cirugía abierta. La restitución de esta capacidad táctil para los cirujanos que operan con esta técnica significaría inmensos beneficios para el bienestar y seguridad del paciente. (Eltaib & Hewit, 2003) Por otro lado, el sentido del tacto también está siendo usado en la realidad virtual, donde a través de dispositivos táctiles se ofrece una nueva dimensión de realismo. El objetivo de esta estimulación física es la recreación de diversas formas y figuras por el contacto de superficies de fuerzas que se aplican sobre la piel (típicamente de la mano) del sujeto (Colwell, Petrie, Kornbront, Hardwick, & Fumer, 1998).

Ligado al estudio del sistema táctil humano, se ha demostrado que el ruido puede mejorar la detección y transmisión de señales débiles en ciertos sistemas no lineales, a través de un mecanismo conocido como resonancia estocástica (RE). Así por ejemplo, al aplicar un estímulo táctil en la planta del pie de individuos de la tercera edad con deficiencias sensoriales, se ha visto que éstos detectan mejor el estímulo si viene acompañado de un pequeño nivel de ruido (Collins, Priplata, Gravelle, & Niemi, 2003), mientras que si el ruido es muy grande la detección se entorpece. Por ello, es que la implementación de un equipo de estimulación táctil para el estudio de resonancia estocástica en el sistema humano puede contribuir al desarrollo de equipos o aplicaciones en pro del crecimiento tecnológico, incluso en el ámbito médico.

En consideración a lo anterior, este trabajo de título se inserta en el estudio de la resonancia estocástica (RE) en el sistema táctil humano. La resonancia estocástica es un fenómeno en el que el comportamiento de un sistema en un ambiente ruidoso se vuelve más sensible a un estímulo periódico externo en algún nivel finito óptimo de intensidad de ruido. Esto puede ser considerado como algo contrario a la intuición, en la que el ruido, el cual es a menudo considerado como una

molestia, en este contexto realmente juega un papel constructivo en la detección de señales (Lyttle, 2008). Dentro de los estudios en sistemas sensoriales humanos, una serie de experimentos psicofísicos han mostrado que cierto nivel de ruido táctil es capaz de mejorar la detección de un estímulo táctil pequeño que está por debajo del umbral (límite bajo el cual el observador no puede discriminar estímulos) de percepción del observador. El paradigma implica que el ruido ayuda al estímulo a superar el umbral. A su vez, el ruido debe ser lo suficientemente pequeño para superar el umbral sólo en fase con el estímulo; si el ruido es grande, los cruces de umbral serán aleatorios y no reflejarán la fase del estímulo que será mayormente cubierto por el ruido. Para nuestra investigación, el ruido utilizado posee una distribución gaussiana (ruido blanco) con media cero, además para efectos del análisis se estudian distintos valores de desviación estándar que se adecuan a cada prueba.

En cuanto a trabajos que abordan el fenómeno de la resonancia estocástica del sistema táctil humano, se destaca el realizado por Collins (Collins, Priplata, Gravelle, & Niemi, 2003) donde se llevó a cabo experimentos psicofísicos sobre un grupo de jóvenes, en los cuales se aplicaron pequeños estímulos locales en la punta del dedo medio de la mano derecha utilizando una sonda cilíndrica. El protocolo de estimulación consistía en: 1) un estímulo mecánico sub-umbral más el ruido, o 2) sin estímulo mecánico más ruido. En esta prueba se les señaló a los sujetos que indicaran la presencia de estímulo y no-estímulo. Para la caracterización del comportamiento de la RE, se utilizó una medida de porcentaje (%) de respuestas correctas, que cuantifica el porcentaje de ensayos para los que un sujeto identifica correctamente la presentación de “estímulo” o “no-estímulo”. Este trabajo constituye la base sobre la cual se desea trabajar esta tesis.

En relación al análisis de la RE en el sistema táctil humano, se aborda la problemática asociada a la construcción de un protocolo bien definido, el cual debe presentar compatibilidad con el software y equipo realizado. La idea es construir el equipo (electrónica más software) y su protocolo, de manera que se pueda controlar la mayor cantidad de variables externas en la prueba que se realice al sujeto, obtener curvas de alta fidelidad y que interpreten el comportamiento del sistema táctil del sujeto. Se pretende que el equipo permita realizar pruebas a cualquier experimentador que desee estudiar, a través de pruebas psicofisiológicas, el sistema táctil de un grupo de sujetos, pudiendo extraer datos y representaciones gráficas para su análisis.

1.2. Objetivo General:

- Desarrollar un equipo de estimulación que permita el estudio de la resonancia estocástica en el sistema táctil humano. De esta forma se permitirá realizar pruebas en individuos, a través de las cuales se podrá extrapolar información (datos, gráficos) útil para investigadores que desee estudiar el sistema táctil humano.

1.3. Objetivos Específicos:

- Analizar técnicas utilizadas en el estudio del sistema táctil humano, a través del fenómeno de la resonancia estocástica.
- Diseñar un protocolo experimental adecuado de pruebas psicofisiológicas táctiles.
- Implementar el hardware para el protocolo propuesto, de modo que la estimulación táctil logre con un dispositivo piezoeléctrico que reciba señales desde un computador.
- Programar el software para controlar el hardware y crear una interfaz entre el computador y el voluntario que sea entendible para este último.

Estado del arte

Uno de los primeros estudios relacionados al efecto del ruido en la percepción táctil humana, llamado “Noise-mediated enhancements and decrements in human tactile sensation” (Mejoras y decrementos mediados por ruido en la sensación táctil humana), fue desarrollado por James J. Collins en el año 1996. En este se muestra que el ruido puede mejorar la detección y transmisión de señales débiles en ciertos sistemas no lineales. Además, se muestra que la habilidad de un individuo para detectar un estímulo táctil subumbral puede ser significativamente mejor introduciendo un nivel de ruido particular. También queda demostrado que este efecto es robusto en el tiempo. Por el contrario, se demuestra la habilidad de un individuo para detectar un estímulo táctil supraumbral puede ser degradada por la presencia de ruido. Estos hallazgos indican que el ruido puede servir como un “enmascarador negativo” para la percepción de un estímulo débil y como un “enmascarador positivo” para la percepción de un estímulo fuerte. Finalmente, se discute la posibilidad de desarrollar una técnica basada en ruido para mejorar la sensación táctil en humanos. (Collins, Imhoff, & Grigg, Noise-mediated enhancements and decrements in human tactile sensation, 1996)

En el mismo año Paul Cordo realizó un estudio llamado “Noise in human muscle spindles” (Ruido en los husos musculares humanos), en donde demostró el efecto de la resonancia estocástica en vivo en el sistema propioceptivo en el humano. Se demuestra que la sensibilidad de los receptores del huso muscular a una señal de movimiento débil puede ser máximamente mejorada introduciendo ruido a través del tendón de la matriz del musculo. Los sujetos de prueba fueron estimulados con una onda sinusoidal de baja amplitud. Luego, se aplicó un ruido aleatorio en el tendón del musculo a contraer, variando la intensidad del ruido de entrada entre pruebas. (Cordo, 1996)

Un estudio llamado “Effects of Colored Noise on Stochastic Resonance in sensory neurons” (Efectos del ruido coloreado en la resonancia estocástica en neuronas sensoriales), realizado el año 1998 por Daichi Nozaki, menciona que el ruido puede asistir a las neuronas en la detección de señales débiles vía un mecanismo conocido como resonancia estocástica. En este se demuestra experimentalmente que los efectos de tipo SR pueden ser obtenidos en neuronas sensoriales de ratas con ruido blanco, $1/f$ del ruido (f es la frecuencia) y $1/f^2$ del ruido. Para entradas de ruido de baja frecuencia, se mostró que la intensidad de ruido óptimo es la menor y que la salida señal a ruido es la mayor para ruido blanco convencional. Además, bajo ciertas circunstancias, $1/f$ del ruido puede ser mejor que el ruido blanco para mejorar la respuesta de una neurona a una señal débil. (Nozaki, Mar, Grigg, & Collins, 1998)

En el año 1999 se realizó un estudio llamado “Use of behavioural stochastic resonance by paddle fish for feeding” (Uso de la resonancia estocástica en el comportamiento alimenticio del pez espada). En este se muestra que la resonancia estocástica mejora el comportamiento alimenticio normal del pez espada, el cual usa electrorreceptores pasivos para detectar señales eléctricas de presas planctónicas. Además, se demuestra una ampliación significativa del rango espacial para la detección de plancton cuando un campo eléctrico de ruido de óptima amplitud es aplicado en el agua. También se muestra que los enjambres de plancton son una fuente natural de ruido eléctrico. Finalmente, se menciona que la resonancia estocástica al nivel del comportamiento y alimentación de un animal vital, el cual esta probablemente envuelto por sucesos funcionales, provee evidencia que la resonancia estocástica en el sistema nervioso sensorial es una adaptación evolutiva. (Russell, Wilkens, & Moss, 1999)

Otras investigaciones que abordan un estudio del sistema táctil humano son:

Kaluga Elzbieta y Rostkowska Elzbieta de la Escuela Universitaria de Educación Física de Poznan, Polonia, realizaron entre los años 2000 y 2002 un estudio llamado “análisis comparativo de los cambios en la sensibilidad táctil de mujeres y hombres practicantes de deportes seleccionados”. El objetivo del estudio fue identificar las relaciones entre la actividad deportiva y el umbral de sensibilidad táctil en atletas de deportes seleccionados: juegos de equipo, deportes acuáticos, natación, artes marciales, atletismo y fútbol. El estudio se realizó entre el 2000 y 2002 y participaron 673 sujetos – 346 hombres y mujeres 327 con edades entre 19 y 23 años. El umbral de sensibilidad táctil se midió con el uso del Evaluador Sensorial Touch-Test™ (Monofilamentos de Semmes-Weinstein) en la punta del dedo índice de la mano dominante. Para identificar el umbral se usó un filamento de la fuerza de presión mínima que el sujeto pudiera sentir. Los datos obtenidos se procesaron por separado para hombres y mujeres. Para el análisis estadístico se utilizaron las siguientes pruebas no paramétricas: prueba de Kruskal-Wallis y la prueba U de Mann-Whitney. En general, las atletas de deportes seleccionados mostraron menor sensibilidad táctil que los sujetos que practican deportes no competitivos. Un análisis comparativo detallado de varios deportes mostró diferencias entre los grupos de sujetos en cuanto a la variabilidad en la sensibilidad táctil de las mismas. En los grupos de atletas, así como en los grupos control, las mujeres mostraron un mayor nivel de sensibilidad táctil que los hombres en la prueba del umbral de presión. (Elzbieta & Elzbieta, 2002)

Walter Serra, Mariela Lanzone, Ana Echenique y Juan Graffigna, en el año 2005 presentaron en el XV Congreso Argentino de Bioingeniería una publicación llamada “Display Táctil Electrocutáneo”. El desarrollo es un prototipo experimental de un display táctil electrocutáneo, el cual presenta información a la persona ciega estimulando eléctricamente los axones nerviosos de los mecanorreceptores de la piel, en la yema del dedo. El prototipo se experimentó con personas de visión normal y con personas ciegas, evidenciando satisfactoriamente la sensibilidad de estas últimas en la percepción táctil, permitiendo captar la misma sensación al tocar un relieve real y un electrodo estimulado eléctricamente. (Serra, Lanzone, Echenique, & Graffigna, 2005)

En el año 2011, Guillermo Avendaño y Tito Larrondo realizaron un estudio denominado “Umbral de discriminación táctil (UDT) y taquitoscopio Stroop en los escolares como un indicador de las condiciones de déficit en el aprendizaje”. Usando equipamiento autoconstruido de psicofisiología se midieron las respuestas de un grupo de 145 estudiantes de las escuelas en Valparaíso, con edades comprendidas entre 6 y 8 años, que fueron estudiados con estesiómetros, taquitoscopios, tiempo de reacción y MAINS. En el documento desarrollado por los académicos se muestra las mediciones con el Stroop en el programa del taquitoscopio y la medición del umbral de discriminación táctil (UDT) con el estesiómetro. Los resultados indican que los estudiantes no se ven muy afectados por las condiciones neuronales, aunque algunos casos de hipoestesia están relacionados con la fatiga, mientras que los resultados del Stroop del taquitoscopio muestran algunos casos de ADHD que afectan a su rendimiento escolar y deben ser confirmados con estudios de laboratorio y de medición como las pruebas de Conners o Wender. (Avendaño & Larrondo, 2011)

2.2 Problemática General y específica

2.2.1 Problemática general

Durante los últimos 10 años se ha estudiado como afecta constructivamente el ruido a los sistemas no lineales, llamándose a este efecto Resonancia estocástica (RE). En estas investigaciones se han validado un sin número de técnicas, que corroboran dicho efecto. Ahora bien a medida que pasan los años se van desarrollando nuevas tecnologías en apoyo de las investigaciones científicas en general, de allí que nace la necesidad de realizar una investigación con tecnología actual y eficiente, que permita un estudio acabado de los efectos de resonancia estocástica específicamente en el sistema táctil humano. Este estudio contempla una serie de experimentos con sujetos humanos que buscan describir y caracterizar en términos psicofisiológicos la respuesta ante estímulos táctiles con presencia de ruido gaussiano que pueda evidenciar el efecto de la resonancia estocástica tal que, basándose en el resultado de dichos experimentos, permita un estudio modelo de esa respuesta.

Tomando en consideración los estudios realizados anteriormente, tanto su metodología como su tecnología, es posible mejorar aquellas condiciones tales como: hardware y software complejos y de grandes dimensiones. Por otro lado en los estudios se describen generalmente sistemas electrónicos complejos, frágiles y propensos a fallas. También se encuentran circuitos electrónicos obsoletos, que en consecuencia, no existen repuestos en caso de que un elemento del sistema falle eventualmente. Cuando existe una descripción del diseño del equipo falta información del código fuente, lo cual hace difícil realizar las modificaciones pertinentes en el sistema. Por último los sistemas presentan baja repetitividad, además de poca precisión, es decir, un sistema poco confiable.

2.2.2 Problemática específica

Como parte de los procedimientos necesarios para realizar este estudio, se requiere de una serie de elementos a considerar y así dar solución a la problemática descrita, entre los cuales se encuentra:

- 1) Equipo de estimulación. Dentro de los cuales es posible considerar una serie de estimuladores piezoeléctricos, que requieren de una tensión para producir su flexión plástica, los que junto con algunos bastones plásticos de estimulación pueden estimular la zona exploratoria del dedo índice de la mano derecha. Además, se debe considerar el soporte físico donde se montarán y regularan los estimuladores.
- 2) Dispositivo de control. Debe existir un dispositivo electrónico que sea capaz de suministrar energía (o señales) para el aparato de estimulación
- 3) Computador de control y registro. Se necesita un computador que gobierne el generador de señales para que genere las ondas requeridas y las diversas amplitudes. Así también este computador será el encargado de ejecutar los protocolos de experimentación en sus diversas secuencias para los diversos experimentos.
- 4) Protocolos de experimentación. Los protocolos describen en detalle la secuencia de eventos que se producen, los tipos de estímulo, como cambian dependiendo de la respuesta del sujeto, como se obtiene el indicador final y como se valida la medición.
- 5) Herramientas de análisis. Cada experimento o aplicación de un protocolo, generará una serie de indicadores relacionados a un sujeto en un instante de tiempo, se evaluarán muchos sujetos y varias mediciones a cada sujeto.

Desarrollo de la propuesta

3.1. Marco Teórico

Para comprender el desarrollo de esta tesis, se estudiarán los conceptos teóricos asociados a las etapas de protocolo, software y hardware del equipo. Para el desarrollo del protocolo se abarcarán los siguientes conceptos: receptores mecanosensitivos, resonancia estocástica y los métodos psicofisiológicos. Para la implementación del software se describirá sobre los diagramas de flujo. Por último, se considerará el hardware que abarca tanto la parte circuital como soporte físico del equipo.

Protocolo

3.1.1.1. Receptores mecanosensitivos

Los receptores en los tejidos cutáneos y subcutáneos incluyen las terminaciones nerviosas libres en la piel, las terminaciones nerviosas asociadas a especializaciones que actúan como amplificadores o filtros y las terminaciones sensitivas asociadas a células transductoras especializadas. En la Tabla 1 se resume las características principales de los cuatro tipos de receptores.

Tabla 1. Principales características de los mecanorreceptores y sus rangos de frecuencia. (Creación propia)

Tipo de Receptor	Localización	Función asociada	Tiempo de adaptación	Rango de frecuencia
Corpúsculo de Pacini	Tejido subcutáneo, membranas interóseas, vísceras	Presión profunda, vibración	Rápido	0.3 – 3 Hz (empuje lento)
Corpúsculo de Meissner	Piel glabra, entre papilas dérmicas	Tacto, presión	Rápido	3 – 40 Hz
Disco de Merkel	Toda la piel, folículos pilosos	Tacto, presión estática	Lento	15 – 400 Hz
Corpúsculo de Ruffini	Toda la piel	Estiramiento de la piel	Lento	10 – 500 Hz

3.1.1.2. Resonancia Estocástica

Hace más de 20 años atrás, Roberto Benzi mostró que un sistema dinámico sometido a una fuerza periódica y a una perturbación aleatoria puede mostrar un máximo en el espectro de potencia que no ocurre si la fuerza o la perturbación está ausente. Este fenómeno fue denominado resonancia estocástica (RE) debido a la potenciación de la respuesta que se puede lograr con cierto nivel de ruido. Desde la publicación de este descubrimiento, diversas aplicaciones en distintas áreas de las ciencias naturales han sido presentadas, así como profundizaciones teóricas en base a modelos matemáticos. En particular, gran número de estudios han mostrado aplicaciones de RE en los

sistemas sensoriales, tanto de humanos como animales. Dentro de los estudios en sistemas sensoriales humanos, una serie de experimentos psicofisiológicos han mostrado que cierto nivel de ruido táctil es capaz de mejorar la detección de un estímulo táctil pequeño que está por debajo del umbral de percepción del observador. En la teoría clásica el umbral es el límite bajo el cual el observador no puede discriminar estímulos. Estos resultados han sido usualmente explicados por una versión “no dinámica” o de “umbral” de RE. En el paradigma de esta versión, el ruido ayuda al estímulo a superar el umbral. A su vez, el ruido debe ser lo suficientemente pequeño para superar el umbral sólo en fase con el estímulo; si el ruido es grande, los cruces de umbral serán aleatorios y no reflejarán la fase del estímulo que será mayormente cubierto por el ruido. En la Figura 1 se muestran dos situaciones con diferentes niveles de ruido gaussiano añadido a una señal del tipo sinusoidal que por si sola no es capaz de superar el umbral, i.e. no es capaz de generar una respuesta no nula por parte del sistema.

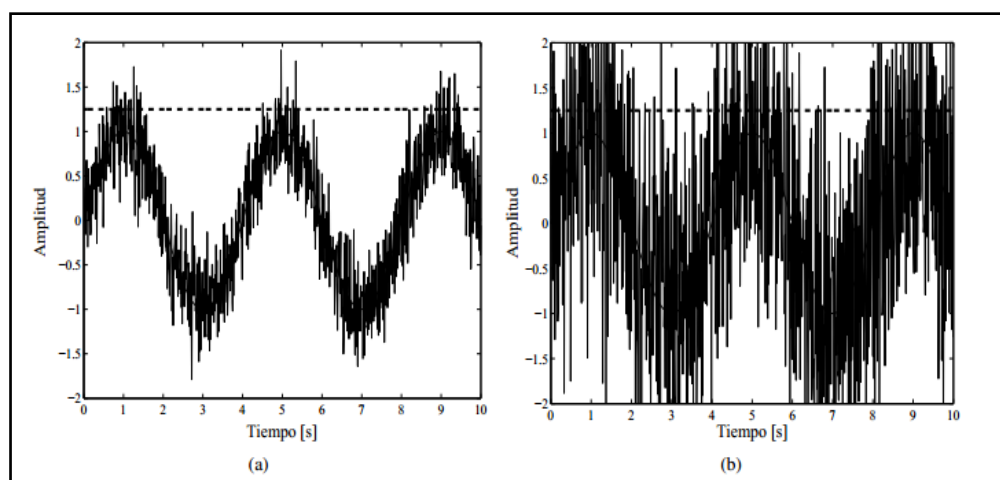
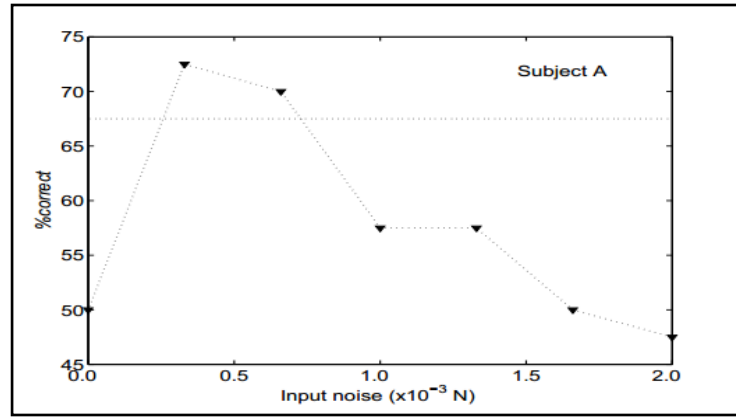


Figura 1. Dos casos de señal sinusoidal de frecuencia 0.25 Hz y amplitud 1, cada uno con ruido de distinta varianza. La línea punteada indica el umbral de amplitud 1.25. Las magnitudes de la señal, el ruido, y el umbral son arbitrarias. a) Ruido de varianza 0.1. b) Ruido de varianza 1. (Lyttle, 2008)

Cuando el ruido es pequeño (Fig. 1(a)), la señal agregada (sinusoide ruidosa) supera el umbral sólo en los picos de la onda y genera respuestas que tendrán cierta sincronía temporal con la sinusoide. Por otra parte, si el ruido es muy grande (Fig. 1(b)), los cruces de umbral se tornan aleatorios y la respuesta del sistema se hace asíncrona respecto de la sinusoide. De este modo, si se caracterizara el desempeño del sistema con alguna medida de la coherencia entre la salida y la entrada del mismo, se vería que esta medida es una función no-monótona del nivel de ruido agregado a la entrada.

En el contexto de la psicofisiología, donde el sistema en estudio es un sistema sensorial, como por ejemplo el táctil, los tres elementos esenciales de la versión de umbral de la RE son entonces: el umbral, el estímulo sub-umbral y el ruido. El desempeño del sistema se mide aquí como la capacidad de detectar el estímulo. La curva de resonancia estocástica en este caso se vería como la que se muestra en la Figura 2, extraída de Collins. (Collins, Priplata, Gravelle, & Niemi, 2003) En ella se muestra el porcentaje de detecciones correctas obtiene un individuo en un número dado de presentaciones de un estímulo sub-umbral en función del nivel de ruido adicionado a este estímulo, comenzando de un nivel cero de ruido. En esta curva, se obtiene un máximo de detecciones correctas para un nivel no nulo de ruido, lográndose una relación no-monótona que es propia de la RE.

Figura 2. Curva típica de resonancia estocástica en una tarea psicofísica táctil que muestra el porcentaje de detecciones correctas, rotulado en este ejemplo como %correct, v/s la desviación estándar del ruido (input noise) sumado al estímulo, en unidades de fuerza. (Lyttle, 2008)



1.1.1.3. Métodos psicofisiológicos

Existen diversos métodos para la estimación del umbral:

3.1.1.3.1 Método de los límites

Al sujeto se le presenta un estímulo de intensidad particularmente alta (que se tenga certeza que la va a percibir) disminuyéndose iterativamente hasta que el individuo dice no sentir el estímulo. Este experimento de las “series descendentes” tiene su contraparte: el experimento de las “series ascendentes”, en el que el estímulo inicial es muy bajo y es incrementado hasta que el individuo lo percibe. Sin embargo, la estimación del umbral obtenida por este método depende fuertemente de la intensidad inicial del estímulo, en parte porque el sujeto, en una presentación dada, sabe qué tan intenso será el siguiente estímulo que se le presentará.

3.1.1.3.2 Método de los estímulos constantes

El experimentador escoge previamente un conjunto de niveles de estimulación que serán presentados al individuo una determinada cantidad de veces. Más aún, el orden de presentación de los niveles es aleatorio, de modo que el sujeto es incapaz de adivinar qué nivel de estímulo se le presentará. Con esto, es posible construir un gráfico relacionando la proporción de aciertos con el nivel de estímulo, es decir, una curva psicométrica. De la curva psicométrica es posible hacer una interpolación para estimar el umbral como aquel nivel que generaría un 50% de detecciones correctas. Además, este procedimiento se puede llevar a cabo usando pruebas de elección de alternativas forzada, eliminando la dependencia en el criterio del observador. Este método, sin embargo, requiere que el experimentador tenga mayor conocimiento respecto de la sensibilidad del sujeto para una correcta elección de los niveles a usar y puede ser costoso en términos del tiempo de ejecución pues se requiere de un conjunto no pequeño de niveles para lograr una interpolación acuciosa.

3.1.1.3.3 Procedimientos adaptables

Los procedimientos experimentales adaptables son aquellos en los que las características físicas del estímulo en cada instante son determinadas de acuerdo a los estímulos y las respuestas del

instante anterior o una secuencia de presentaciones anteriores. De acuerdo con el modo en que ordenan la secuencia de estímulos y a cómo estiman el resultado final, los procedimientos adaptables se dividen en tres grandes categorías:

1. *PEST (Parameter Estimation by Sequential Testing)*. En esta categoría se aplica un test estadístico después de cada presentación a un nivel fijo para determinar si el desempeño a ese nivel es mejor o peor que un desempeño objetivo (e.g. 75% de detecciones correctas). Una vez que se ha hecho la determinación se cambia el nivel en el paso actual de modo que el nivel se disminuye si el test indicó un desempeño mejor al objetivo y se aumenta en caso contrario. El algoritmo se detiene cuando cierto criterio en el tamaño del paso se ha alcanzado, y el umbral estimado corresponde al nivel donde se ha detenido el algoritmo.

2. *Procedimientos de máxima verosimilitud*. Aquí, ciertos conjuntos de pares estímulo–respuesta son ajustados con un tipo de función sigmoideal que ajusta la curva psicométrica, de modo que las subsecuentes intensidades de estímulo y estimación de umbral son hechas a partir de esta función. El conjunto de curvas psicométricas es determinado en base a conocimiento a priori obtenido de literatura existente o pruebas pilotos.

3. *Procedimientos de escalera*. Introducidos por vez primera en 1948 por Dixon & Mood, en esta categoría una o más presentaciones anteriores determinan el nivel de estímulo actual, tal que respuestas negativas llevarán a un aumento del nivel y respuestas positivas a una disminución del nivel. La estimación del umbral puede ser de diversas maneras, típicamente promediando los niveles en torno al punto de equilibrio (donde hay cambios de dirección repetidamente).

De las categorías arriba descritas, las dos primeras involucran reglas de actualización del nivel de estímulo que pueden ser complejas. Además, la estimación del umbral requiere, en algunos casos, la completa secuencia de búsqueda. Por su parte, para los procedimientos de máxima verosimilitud es necesario suponer la forma de la curva psicométrica. Por último, en contraste con los procedimientos PEST, en los de escalera la actualización del nivel de estímulo, el tamaño del paso y el criterio de detención son relativamente simples y directos. En la Figura 3 se aprecia una curva obtenida mediante el procedimiento de escalera.

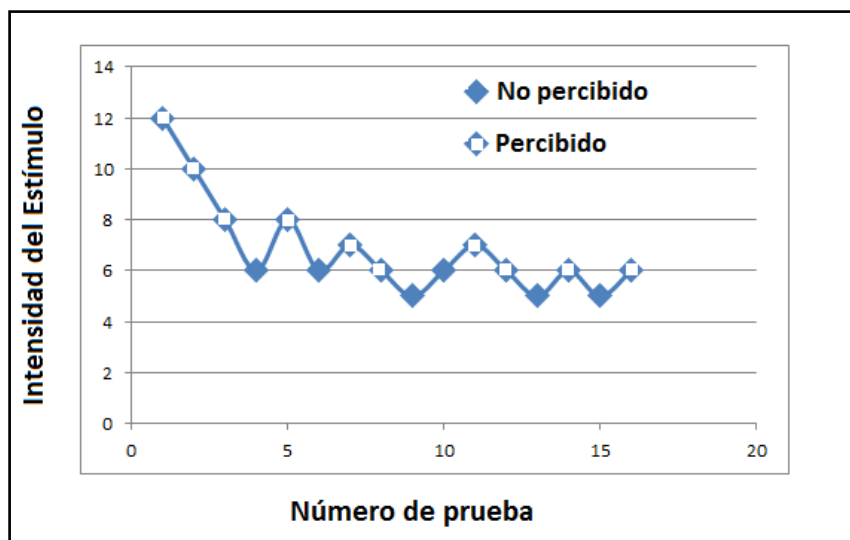


Figura 3. Medición de umbral mediante el procedimiento escalera. (Creación propia)

1.1.1.4. Diagramas de flujo

Los diagramas de flujo son una manera de representar visualmente el flujo de datos a través de sistemas de tratamiento de información. Los diagramas de flujo describen que operaciones y en que secuencia se requieren para solucionar un problema dado. Un diagrama de flujo u organigrama es una representación diagramática que ilustra la secuencia de las operaciones que se realizarán para conseguir la solución de un problema. Los diagramas de flujo se dibujan generalmente antes de comenzar a programar el código frente a la computadora. Los diagramas de flujo facilitan la comunicación entre los programadores y la gente del negocio. Estos diagramas de flujo desempeñan un papel vital en la programación de un problema y facilitan la comprensión de problemas complicados y sobre todo muy largos. Una vez que se dibuja el diagrama de flujo, llega a ser fácil escribir el programa en cualquier idioma de alto nivel. Vemos a menudo cómo los diagramas de flujo nos dan ventaja al momento de explicar el programa a otros. Por lo tanto, está correcto decir que un diagrama de flujo es una necesidad para la documentación mejor que un programa complejo.

En la creación de un diagrama de flujo se debe considerar cierta reglamentación estandarizada para no concurrir en errores al momento de traspasar el diagrama a un código o algoritmo computacional:

- 1.- Los Diagramas de flujo deben escribirse de arriba hacia abajo, y/o de izquierda a derecha.
- 2.- Los símbolos se unen con líneas, las cuales tienen en la punta una flecha que indica la dirección que fluye la información procesos, se deben de utilizar solamente líneas de flujo horizontal o verticales (nunca diagonales).
- 3.- Se debe evitar el cruce de líneas, para lo cual si se quisiera separar el flujo del diagrama a un sitio distinto, se podría realizar utilizando los conectores. Se debe tener en cuenta que solo se van a utilizar conectores cuando sea estrictamente necesario.
- 4.- No deben quedar líneas de flujo sin conectar.
- 5.- Todo texto escrito dentro de un símbolo debe ser legible, preciso, evitando el uso de muchas palabras.
- 6.- Todos los símbolos pueden tener más de una línea de entrada, a excepción del símbolo final.
- 7.- Solo los símbolos de decisión pueden y deben tener más de una línea de flujo de salida.

Un diagrama de flujo básico es el que describe el código de la suma de los primeros 50 números naturales, tal como se ve en la Figura 4.

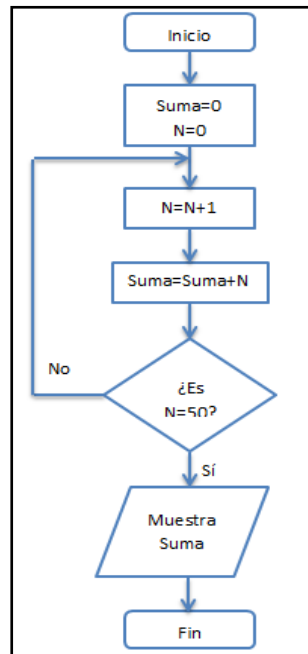


Figura 4. Diagrama de flujo de un código que suma los primeros 50 números naturales. (Creación propia)

Hardware

1.1.1.5. Filtros

Son circuitos caracterizados por una entrada y una salida de forma que en la salida solo aparecen parte de las componentes de frecuencia de la señal de entrada. Son por tanto circuitos que se pueden caracterizar por su función de transferencia $H(\omega)$ como se ve en la Figura 5, cumpliéndose que:

$$y(\omega) = H(\omega)x(\omega)$$

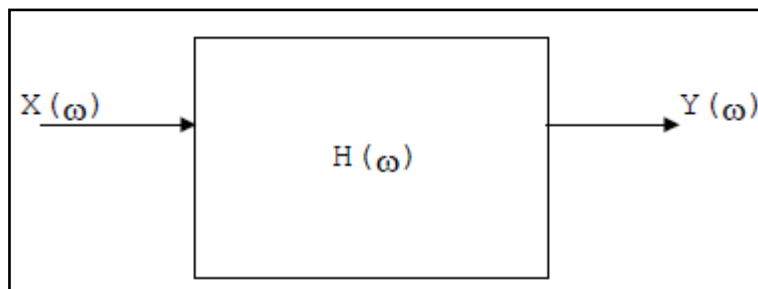


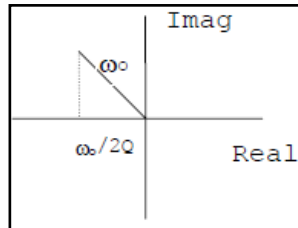
Figura 5. Representación gráfica de una función de transferencia (Creación propia)

La función de transferencia tomará el valor 1 para una frecuencia ω_i si se desea que la señal pase a esa frecuencia, mientras que tomará el valor 0 si no debe pasar, diciéndose que se rechaza la señal. Para analizar matemáticamente un filtro se considerará un filtro de orden dos, que presenta una banda de transición mucho mejor que uno de orden uno. Los filtros de orden dos se caracterizan porque en el denominador hay un polinomio de orden 2, siendo la función de transferencia de la forma:

$$H(s) = \frac{P(s)}{1 + a_1s + a_2s^2}$$

Donde P(s) depende del tipo de respuesta del filtro. a_1 y a_2 son coeficientes de la forma $a_2 = 1/\omega_0^2$ siendo ω_0 la frecuencia (pulsación) natural, y $a_1 = 2\zeta/\omega_0$. A ζ se le llama relación de amortiguamiento y tiene una connotación dinámica. Oscila entre 0,1 y algo menos de la unidad. ω_0 representa la frecuencia de corte que separa las zonas de baja y alta frecuencia mientras que ζ cambia la forma de la curva e indica el valor de sobreimpulso de la respuesta dinámica del filtro. También se puede hablar de un factor de calidad del filtro $Q = 1/2\zeta$ que es mayor que 0,5 pudiendo llegar a valer infinito. Si expresamos a_1 en función de Q será $a_1 = 1/Q\omega_0$. Si representamos los polos de la función de transferencia en el plano complejo, como se ve en la Figura 6, tendremos que son o reales o complejos conjugados.

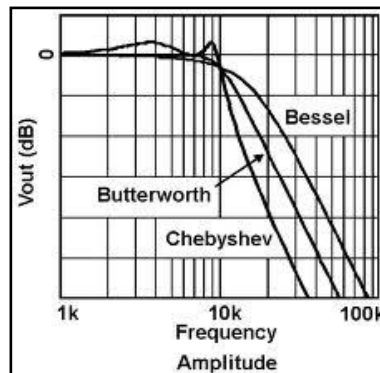
Figura 6. Representación gráfica de una función de transferencia. (Creación propia)



En esta gráfica se puede apreciar el significado de ω_0 y de Q. La primera da la distancia desde el polo al origen del plano complejo, mientras que la segunda es una medida de la distancia de los polos al eje imaginario. En principio matemáticamente los polos podrían aparecer en la parte derecha del plano complejo. Sin embargo un filtro que tuviese esa función de transferencia oscilaría y lo hace tanto más cuanto menor sea Q.

Ahora bien para diseñar un filtro se deben tener algunas consideraciones. La primera es la frecuencia de corte que se desea. La segunda es el valor que debe tener Q. Desde el punto de vista matemático puede tener cualquier valor pero no desde el punto de vista de la estabilidad del circuito. Se han desarrollado diferentes técnicas que permiten conocer de forma predeterminada de qué forma puede ser el filtro. En concreto, existen tres criterios ya muy estudiados que son los que mejores prestaciones dan. Estos son los de Chebyshev, Bessel y Butterworth. Para ver cuál elegir se estudian desde dos puntos de vista: por un lado la forma de la representación de la función de transferencia frente a la frecuencia y por otro la respuesta que dan a una entrada pulso. La representación de la función de transferencia en los tres casos es como se muestra en la Figura 7:

Figura 7. Gráfico de una función de transferencia: Butterworth, Chebyshev, Bessel. (JESUS, 2009)



Se observa que el que mejor atenuación produce es el de Chebyshev, seguido de Butterworth y por último de Bessel. Aunque el de Chebyshev presenta un mayor rizado. En cuanto a la respuesta a un pulso, las salidas obtenidas se muestran en la Figura 8.

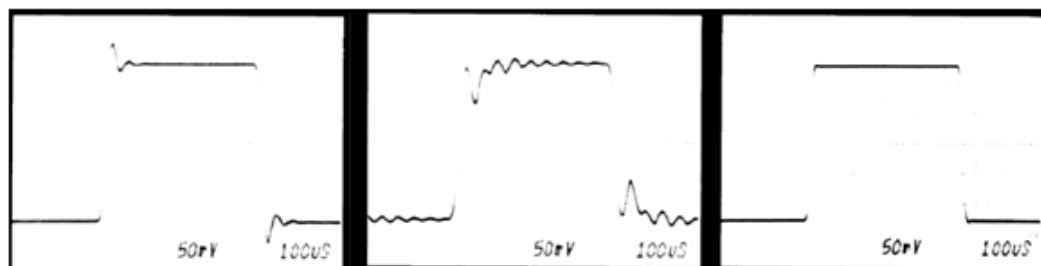


Figura 8. Respuesta a un pulso. De izquierda a derecha de: un filtro Butterworth, Chebyshev y Bessel. (J.I.Escudero, 2008)

Esto nos indica que el mejor es el de Bessel, presentando el de Butterworth una pequeña oscilación en los flancos y siendo en este caso el de Chebyshev el que peor prestación da.

Por lo tanto aunque las tres estructuras son en principio válidas, depende de las necesidades que se tengan el que se elija uno u otro. Si se desea tener el máximo de rechazo se elegirá el de Chebyshev. Si en cambio se quiere mucha fidelidad de la señal el mejor es el de Bessel. En consecuencia, dada las características de filtro que se necesita, es que se opta por el filtro Butterworth de segundo orden, el cual presenta una buena representación de la función de transferencia frente a una frecuencia y una buena respuesta a un pulso de entrada.

3.2 Diseño de la propuesta

El diseño propuesto para el estudio de la resonancia estocástica en el sistema táctil humano se basa en la creación de un equipo para la estimulación táctil, el cual contempla el diseño de un protocolo, un software y su electrónica asociada, incluyendo el soporte de los transductores. Tras una investigación de las metodologías experimentales utilizadas en pruebas psicofisiológicas para el desarrollo del protocolo de estimulación, el diseño escogido se basa en la utilización de los métodos adaptativos, específicamente el procedimiento de tipo escalera. Con este método, es posible diseñar los tipos de prueba a realizar para la medición de umbrales. Luego se decide fraccionar el estudio en 5 etapas, que permiten determinar distintos umbrales para el análisis del sistema táctil humano. Las 5 etapas del protocolo consisten a grandes rasgos en: determinación del umbral táctil, determinación del umbral táctil respecto al ruido, determinación del umbral vibrotáctil, determinación del nivel óptimo de ruido y determinación de la incerteza espacial. Una vez construido el protocolo experimental de cada prueba se traduce en un diagrama de flujo que permite o facilita la programación del algoritmo, el que contempla tanto una interfaz para el experimentador como la señal de salida (digital) para la estimulación. Para el segundo punto se desarrolla el software planificado con una interfaz que permita a cualquier experimentador realizar el estudio, pudiendo extraer datos y graficar el comportamiento de la resonancia estocástica en el sistema táctil. La herramienta que se utiliza para la programación es GUIDE de Matlab, la cual propone crear objetos según la necesidad del programador y coherencia de los diagramas de flujo diseñados en base a los protocolos experimentales. Finalmente, se realiza el diseño del circuito electrónico para el filtrado y amplificación de la señal de estimulación, y del

soporte para los actuadores piezoeléctricos de estimulación. Este último debe permitir ajustar la posición de los actuadores y la fuerza que estos ejercen sobre el dedo del sujeto de prueba.

A modo de análisis gráfico de las etapas que se proponen abarcar en el desarrollo del proyecto, se muestra la figura 9 que resume los procesos antes descritos.

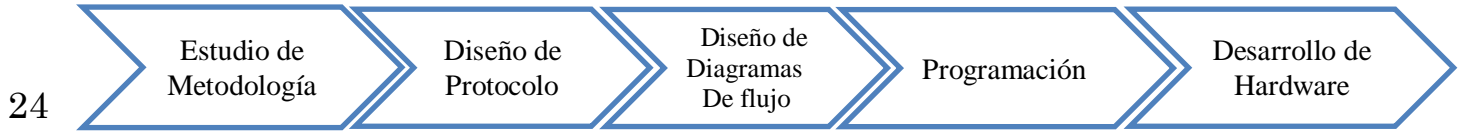


Figura 9. Diagrama de método incremental aplicado al desarrollo del algoritmo. (Creación propia)

3.3 Implementación

Para la primera etapa, se realizó un estudio completo de las metodologías utilizadas en el estudio psicofisiológico, además se comparó con los documentos asociados al estudio de la resonancia estocástica, de manera de llegar a un consenso sobre el protocolo experimental de estimulación. Para facilitar el análisis de los puntos críticos relacionados al estudio de la resonancia estocástica, se optó por dividir el protocolo en cinco pruebas sucesivas, donde la primera llamada "determinación del umbral táctil" busca encontrar el umbral óptimo de estimulación en el sistema sensorial táctil, es decir, el estímulo de amplitud mínima percibida por el sujeto en el dedo índice de su mano derecha. La segunda prueba denominada "determinación del umbral táctil respecto al ruido" busca el mismo objetivo que la primera prueba, a diferencia que el estímulo esta vez solo posee ruido, con una desviación estándar variable. En la tercera prueba llamada "determinación del umbral vibrotáctil" se estimula al sujeto con una señal sinusoidal de amplitud y frecuencia variable, que también busca determinar el umbral táctil. La cuarta prueba llamada "determinación del nivel óptimo de ruido", investiga el nivel de ruido gaussiano (con media cero) que aporta de manera constructiva a un estímulo subumbral para que el sujeto logre percibirlo. Para ello se prueban 5 niveles de ruido sumados a un pulso de 80% del umbral obtenido en la primera prueba. La quinta y última prueba realizada para el análisis de la RE se llama "evaluación de incerteza espacial" y busca determinar qué sector del dedo índice estimulado por uno de los cuatro actuadores percibe de mejor manera el estímulo (estímulo subumbral más ruido gaussiano obtenido en la prueba anterior). Para lograr el efecto deseado y evitar el acostumbamiento del sujeto se varía entre 4 tipos diferentes de estímulos. Para cada sesión se optó por confeccionar un tipo de gráfico, donde se podrá dar análisis a los resultados. La confección del protocolo se basó en protocolos anteriormente diseñados para otras pruebas psicofisiológicas. Además, cabe destacar que el protocolo sufrió modificaciones debido a que las pruebas fueron cambiando en el transcurso del proyecto.

Para la tercera prueba, descrita anteriormente, se tuvo que modificar la señal de estimulación, si bien en un principio se pensó en presentar una señal sinusoidal limpia durante todo el intervalo de estimulación al sujeto, luego se optó por aminorar el impacto que pudiera presentar la señal en el instante inicial y final en que se presentaba, a través de suavizarla con una envolvente, cuyo inicio y final describiera la forma de una gaussiana. En la Figura 10 se muestra el modelo de sinusoidal más envolvente que se diseñó para el estímulo en esta prueba.

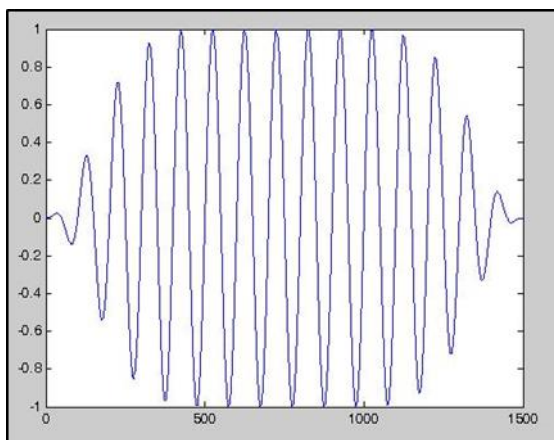


Figura 10. Señal Sinusoidal modificada, creada para la Prueba de estimulación. Medición del umbral vibro-táctil. (Creación propia)

En la segunda etapa se comenzó a desarrollar el software. Las funcionalidades de este software están ligadas directamente a cada prueba descrita en el protocolo desarrollado. Ahora bien, para lograr un mejor entendimiento de cómo estructurar el software, se procedió a construir diagramas de flujo para cada prueba. Se realizaron cinco diagramas, uno por cada una de las pruebas de medición. En el Anexo 1 se detallan los diagramas de flujo. En un principio se había propuesto utilizar como herramienta computacional Labview, pero dada las fortalezas presentadas por el equipo de trabajo se escogió implementar el algoritmo en Matlab, utilizando la herramienta de programación GUIDE. Utilizando los diagramas de flujo para cada prueba, se fue programando cada elemento de la interfaz (botones, cuadros de textos y gráficas) a modo de cumplir con la lógica establecida. En algunas de las pruebas se deben presentar estímulos nulos al sujeto, llamados “catch trials”, los cuales buscan validar o no a la prueba a través de la cantidad de falsos positivos. Dado que estos estímulos se deben presentar en forma aleatoria, fue lo que presentó más problemas a la hora de programar, donde finalmente se optó por crear una función genérica para todas las pruebas. Además se les añadió la opción de poder guardar y cargar datos ya obtenidos en las pruebas anteriores (nombre, edad, género, parámetros de medición y resultados) y así facilitar el trabajo del experimentador, con la ventaja de exportar los datos a una tabla de datos en Excel y las imágenes de las gráficas en formato jpg. En la figura 11 se detalla la plataforma que se diseñó para realizar cada una de las pruebas, cuya configuración y disposición de los objetos está basada en las necesidades que surgen del desarrollo del estudio. Se detallan 5 secciones de la plataforma que se identificaron como necesarias para el desarrollo de cada prueba: (1) Ingreso de datos del sujeto, (2) los datos que guían el desarrollo de la prueba, (3) botonera para guardar y cargar datos, (4) la configuración de los datos necesarios para la prueba y (5) la gráfica de los datos obtenidos en la prueba.

Figura 11. Plataforma para la realización de pruebas, seccionada en los elementos más importantes para el estudio. (Creación propia)

Dentro de la etapa anterior, fue necesario ir corroborando la funcionalidad de cada prueba, tanto en las funcionalidades del usuario como en la salida (voltaje). Para esto último, se hizo uso del módulo conversor digital análogo NI 9263 de la empresa National Instruments, el cuál fue facilitado por el profesor guía del proyecto. Las especificaciones de este módulo pueden ser observadas en el anexo 2. A modo de resumen, este módulo transforma una señal digital en forma de vector en una señal analógica, con una muy buena resolución de voltaje (16 bits). Además, para poder observar estas señales y comprobar sus características, se hizo uso de un osciloscopio digital portable, el cual consta de un canal de recepción y otras funcionalidades que pueden ser vistas en el anexo 3. Así, con estas dos herramientas, se pudo validar el funcionamiento de cada prueba del software. Durante la etapa de validación se presentaron algunas fallas tales como: no se generaban las señales de salida, no se presentaban correctamente los catch trials o no coincidía la lógica de la respuesta con la gráfica, permitiendo la corrección de los códigos de programación de las pruebas. Cabe destacar que esta etapa se realizó durante todas las fases del proyecto.

En la tercera etapa consiste en el desarrollo del hardware, gran parte del desarrollo de este se aminoró con el modulo conversor digital análogo NI 9263 (anexo 2). Aun así se diseñó un circuito de filtrado y amplificación (Ver anexo 4) de la señal para cada estimulador piezoeléctrico, asegurando la fidelidad de la señal de estimulación. En la etapa de filtrado se optó por diseñar e implementar un filtro Butterworth de segundo orden con frecuencia de corte en 30 Hz, coincidente con el estudio de los corpúsculos de Meissner en la medición del umbral táctil, es decir, es posible aislar la estimulación focalizándose en la frecuencia de trabajo (o estimulación) de los corpúsculos de Meissner. En el caso de la amplificación se optó por una configuración no inversora con retroalimentación negativa, además se configuró con una ganancia ajustable (Ver anexo 4) colocando un potenciómetro en la retroalimentación. La ganancia variable, básicamente se debe a que los estimuladores piezoeléctricos están hechos a mano (ver anexo 5) y necesitan ser calibrados al momento de utilizarlos.

Utilizando el diseño circuitual presentado en el anexo 4, se implementó el circuito en una placa PCB virgen. En primer lugar se imprimió el circuito en un papel termotransferible para luego ser planchado en la placa PCB virgen. De esta forma se transfirió el diseño a la placa y posteriormente se sumergió en un recipiente con cloruro ferrico disuelto en agua caliente. Finalmente, utilizando

un taladro se realizaron las perforaciones correspondientes y se soldaron los componentes electrónicos.

El desarrollo de hardware también incluye la implementación de una estructura física, la cual proporciona un soporte a los dispositivos piezoeléctricos. Ahora bien, el diseño de la estructura implicó cierta complejidad dado que los piezoeléctricos realizan una flexión con una fuerza controlada sobre el dedo índice del sujeto a prueba, por lo que se diseñó un pivote (ver anexo 6) el que provee una fuerza variable a través de un contrapeso en su extremo contrario a la de los sensores. También se diseñó una plataforma que se posiciona sobre el pivote, la cual permite el ajuste de los piezoeléctricos en un plano horizontal (ver anexo 7) alineándolos en torno al eje de la yema del dedo. En la figura 12 se muestra la estructura física que se construyó para el soporte de los dispositivos piezoeléctricos.

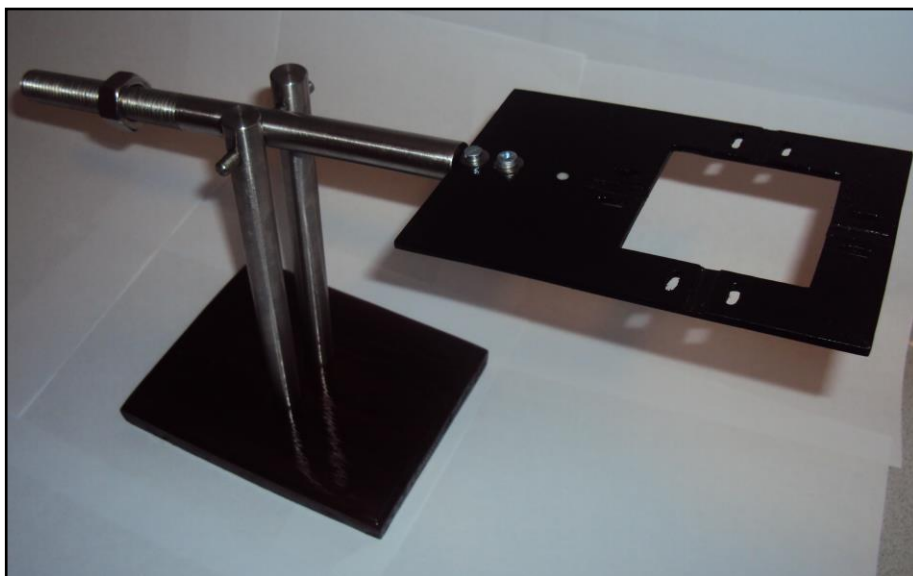


Figura 12. Imagen de soporte para dispositivos piezoeléctricos. (Creación propia)

Finalmente, con todos los sistemas implementados, se procedió a unir cada uno de ellos. En primer lugar, se unió el convertidor digital análogo con la PCB, donde se conecta cada canal del convertidor con una entrada del circuito de filtrado. La entrada del circuito corresponde a 5 pines de los cuales 4 son para los canales del convertidor y uno que actúa como común de estos. Posteriormente, cada salida de los 4 canales de amplificación son conectados a los actuadores piezoeléctricos posicionados en la placa de soporte, mediante una regleta de conexión.

Algunos problemas surgieron en esta etapa debido a cables defectuosos y mal conectados no obteniendo señal de estimulación a la salida de los amplificadores. También se calibró la fuerza y posición de los piezoeléctricos variando el contrapeso del pivote de modo que el cabezal de los actuadores tocara levemente la yema del dedo índice. Una vez que todas las etapas se encontraban unidas y funcionales se procedió a hacer pruebas de validación en sujetos. Durante la ejecución de las pruebas se tuvo que reajustar el mecanismo de soporte de los actuadores piezoeléctricos.

Resultados

A continuación se muestran los resultados de cada una de las fases del proyecto.

Protocolo Experimental

Como primer resultado se desarrolló el protocolo experimental para el estudio de la Resonancia Estocástica en el sistema táctil humano. El formato utilizado en la creación del protocolo se basó en un modelo estándar para pruebas psicofisiológicas, en donde se presenta una descripción del tipo de procedimiento o metodología a ocupar para el estudio de los resultados obtenidos, además de presentarse el objetivo principal del estudio, las características requeridas del sujeto a investigar y el procedimiento correcto que debe realizar el experimentador durante la prueba.

El procedimiento del protocolo de experimentación desarrollado está seccionado en las cinco pruebas previamente descritas. Para cada prueba realizada se indican las condiciones a las que debe someterse el individuo para el correcto desarrollo investigativo de la misma. Además, se entregan descripciones operacionales para el uso software por parte del investigador y como se debe finalizar la prueba. En el anexo 8 se puede observar el Protocolo Experimental completo.

Diagramas de flujo

Una vez implementado el protocolo de experimentación, se obtuvo los diagramas de flujo de las cinco pruebas psicofisiológicas. Estos diagramas sirvieron como herramienta para el desarrollo del software. Dado que las tres pruebas de determinación de umbral poseen secuencias de ejecución similares, se implementaron en un diagrama único que resume la lógica de operación de las pruebas. Para las pruebas de determinación del nivel óptimo de ruido e incerteza espacial se implementaron diagramas individuales para cada prueba. Los diagramas de flujo puede ser revisados en el Anexo 1.

Software

Al extrapolar la información que entregan los diagramas de flujo, fue posible obtener la lógica de todas las pruebas y comenzar a desarrollar los programas necesarios que, finalmente, constituyeron el software de aplicación. Se obtuvo un total de 14 archivos del código de programación y 6 archivos que contienen la información de los objetos. Sobre los archivos que representan el código fuente del software, 6 de ellos son dedicados exclusivamente a la plataforma de las pruebas y el menú de inicio. Estos trabajan en conjunto con los 6 archivos que contienen el diseño y la información de los objetos. Los 8 archivos restantes corresponden a los códigos de las funciones dedicadas a generar las formas de onda y la asignación de las variables aleatorias utilizadas para generar los “catch trials” de las pruebas. En el Anexo 9 se presentan las características de los archivos que componen al software de aplicación.

Al ejecutar el archivo “DUTRE.exe” (el cual corresponde a la compilación que se generó en Matlab) se dará inicio al Software de aplicación. La primera pantalla que se observa es el “Menú de inicio”, el cual permite al usuario ingresar a cada una de las pruebas de determinación, además de la opción de poder crear carpetas para almacenar los datos de sujetos de prueba. El orden que poseen las pruebas en este menú corresponde al orden establecido en el protocolo de experimentación. En la figura 13 se puede observar una captura del menú de inicio.

Cada una de las pruebas de determinación posee la misma distribución de los objetos en la pantalla, teniendo en común:

- Ingreso de los datos del sujeto de prueba: apellidos, nombre, edad y género.
- Área de opciones de la prueba: cargar y guardar los datos y gráficas del sujeto de prueba, borrar la prueba actual e Iniciar la prueba.

- Área de parámetros: cada prueba posee una cantidad de parámetros determinada.
- Área de gráfica: los gráficos generados varían de acuerdo a la prueba que se está realizando.

Ejecución de la prueba de "Determinación del umbral táctil"

Al ingresar a la primera prueba (a través del menú de inicio) se desplegará la ventana de la prueba, tal como se muestra en la figura 14. Como resultado de la programación del algoritmo, el experimentador posee los parámetros ya configurados según lo mencionado en el protocolo, teniendo la opción de modificarlos. A medida que el experimentador vaya realizando la prueba, simultáneamente en la gráfica irán apareciendo los datos asociados a la respuesta del sujeto.



Figura 13. Captura del Menú de Inicio del software de aplicación (Creación propia)



Figura 14. Captura de la prueba de Determinación del umbral táctil. (Creación propia)

La señal de estimulación que se genera al dar con el botón de “Iniciar” o los de respuesta (Si/No) es un pulso cuadrado, tal como se muestra en la figura 15. Este pulso (en forma de vector) representa la salida digital del sistema, la cual será transformada en voltaje analógico gracias al conversor digital análogo.

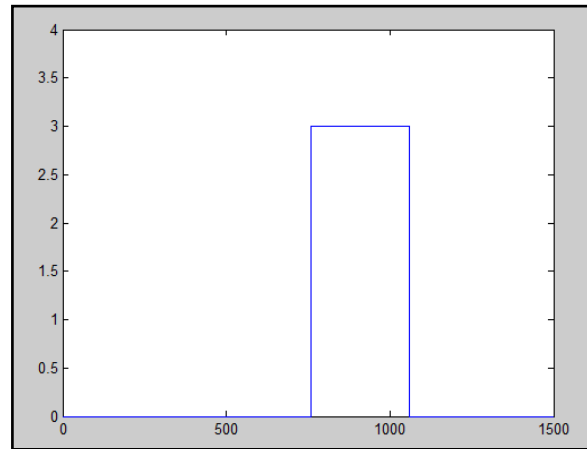


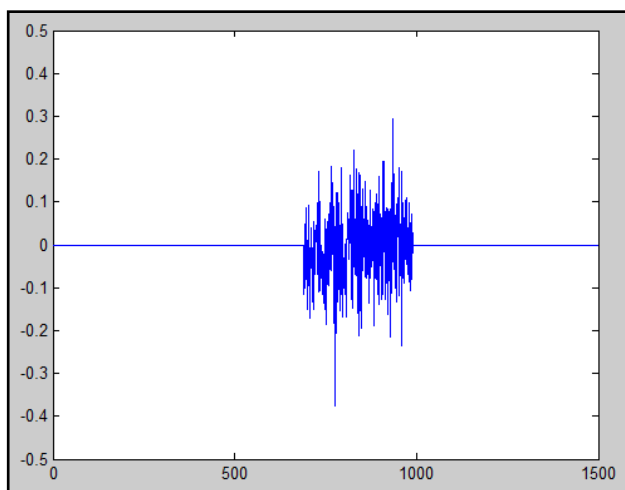
Figura 15. Pulso cuadrado aleatorio de ancho 300 ms, en una ventana de atención de 1.5 s y de amplitud 3 V. (Creación propia)

Ejecución de la prueba de “Determinación del umbral táctil respecto al ruido”

Al igual que la primera, la forma de acceder a esta plataforma es a través del menú de inicio. Se desplegará la ventana de prueba, tal como se muestra en la figura 16. Además, el experimentador tendrá los parámetros ya configurados según el protocolo experimental.

Figura 16. Captura de la prueba de Determinación del umbral táctil respecto al ruido. (Creación propia)

La señal de estimulación que se genera al dar con el botón de “Iniciar” o los de respuesta (Si/No) es un intervalo de ruido, tal como se muestra en la figura 17.



31

Figura 17. Señal de ruido aleatorio de ancho 300 ms, en una ventana de atención de 1.5 s y con una desviación estándar de 0.1 (Creación propia)

Ejecución de la prueba de “Determinación del umbral vibrotáctil”

Se puede acceder a esta prueba desde el menú de inicio, donde el experimentador ya tendrá los parámetros configurados según el protocolo de experimentación. En la figura 18 se puede apreciar la plataforma.

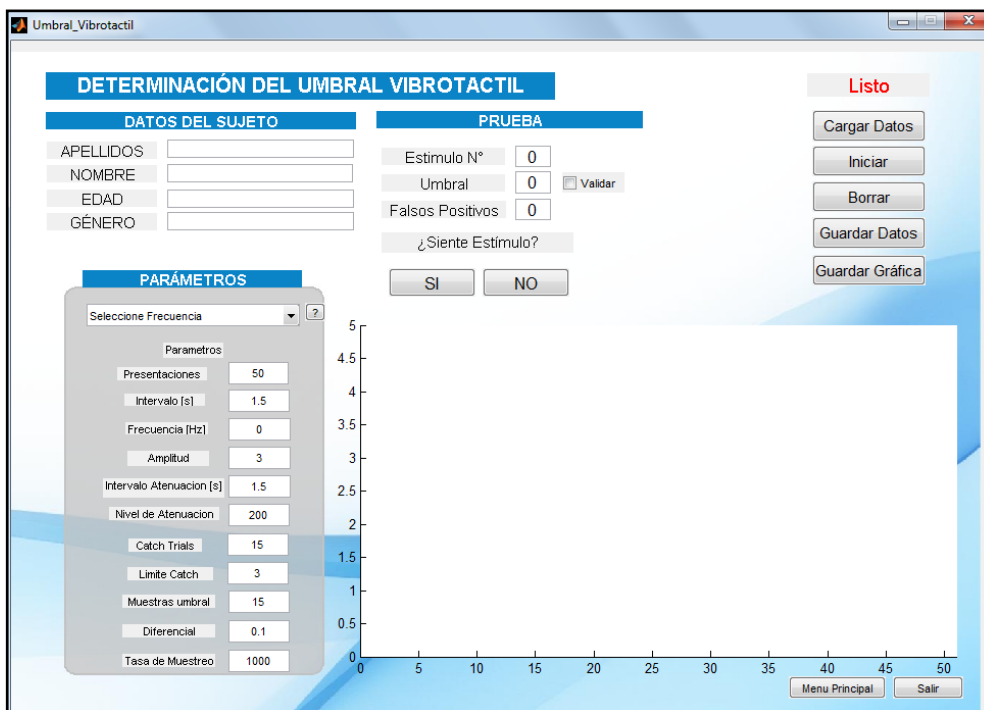


Figura 18. Captura de la prueba de Determinación del umbral vibrotáctil (Creación propia)

La señal de estimulación que se genera al dar con el botón de “Iniciar” o los de respuesta (Si/No) es una señal sinusoidal atenuada en sus extremos por una curva de distribución gaussiana, tal como se muestra en la figura 10.

Ejecución de la prueba de “Determinación del nivel óptimo de ruido”

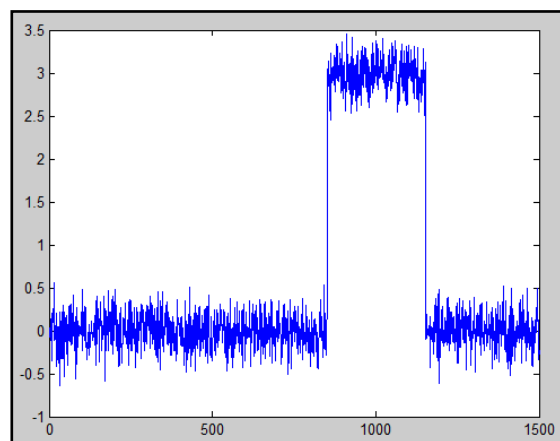
Se puede acceder a esta prueba desde el menú de inicio, donde el experimentador ya tendrá los parámetros configurados según el protocolo de experimentación. A diferencia de las pruebas anteriores, el usuario debe definir el porcentaje de ruido que afectará a la señal de salida (5 niveles de ruido). En la figura 19 se puede apreciar la plataforma.

Figura 19. Captura de la prueba de Determinación del nivel óptimo de ruido. (Creación propia)



La señal de estimulación que se genera al dar con el botón de “Iniciar” o los de respuesta (Si/No) es un pulso cuadrado más un componente de ruido cuya desviación estándar corresponde a la obtenida en la prueba de Determinación del umbral táctil respecto al ruido, tal como se muestra en la figura 20.

Figura 20. Pulso cuadrado aleatorio de 300 ms más una componente de ruido con una desviación estándar de 0.1, en una ventana de atención de 1.5 s. (Creación propia)



Ejecución de la prueba de "Determinación de la incerteza espacial"

Se puede acceder a esta prueba desde el menú de inicio, donde el experimentador ya tendrá los parámetros configurados según el protocolo de experimentación. A diferencia de las pruebas anteriores, el usuario debe definir el número de sesión, dado que la prueba posee 4 tipos de estímulos diferentes. En la figura 21 se puede apreciar la plataforma.

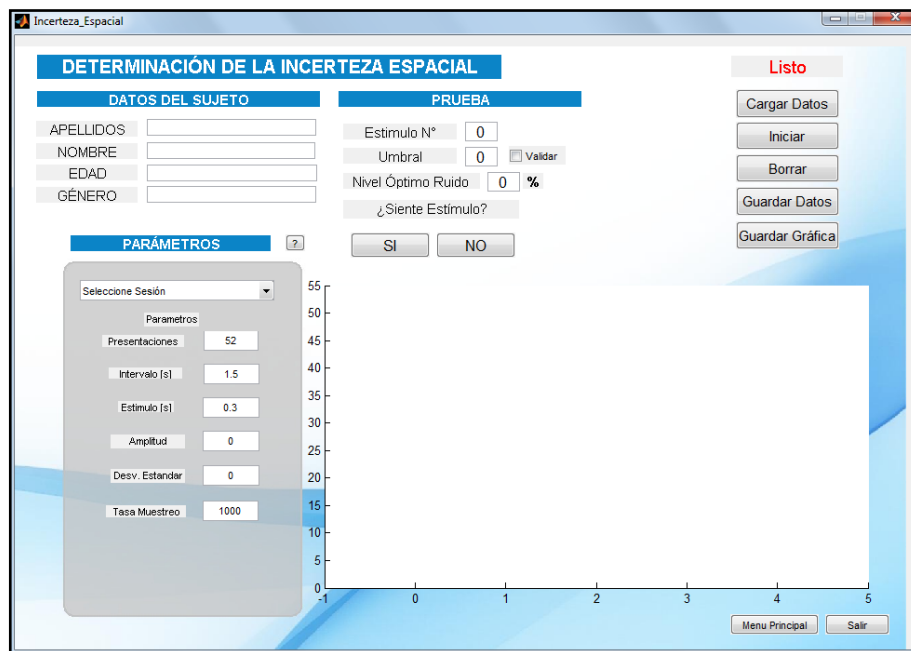


Figura 21. Captura de la prueba de Determinación de la incerteza espacial. (Creación propia)

La señal de estimulación que se genera al dar con el botón de "Iniciar" o los de respuesta (Si/No) será aleatoria y variara entre: un pulso cuadrado más un componente de ruido (ver figura 20), una señal de solo ruido en todo el intervalo de atención (como se muestra en la figura 22) o una señal nula (amplitud cero).

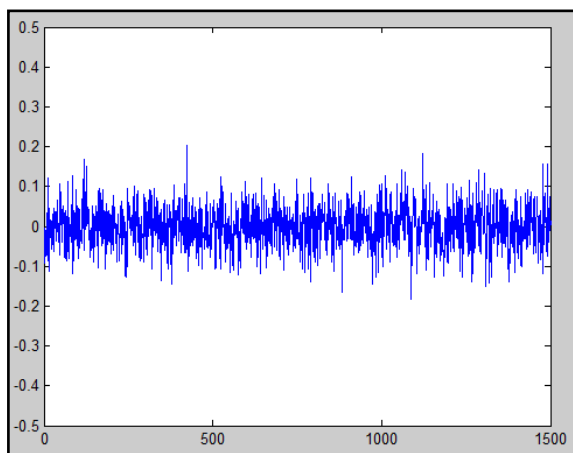


Figura 22. Señal de solo ruido en todo el intervalo de atención de 1.5 s, con una desviación estándar de 0.1. (Creación propia)

Hardware

Al realizar los procedimientos descritos en la implementación, se desarrolló una placa circuital que contiene los componentes electrónicos dispuestos según el diseño previo y que conforman las etapas de filtrado y amplificación de la señal, además de la parte estructural que compone el pivote con la plataforma de soporte de los dispositivos piezoeléctricos.

Circuito electrónico

El circuito electrónico fue desarrollado según el esquema presentado en el anexo 4 y lo descrito en la etapa de implementación. La figura 23, se puede observar la placa ya desarrollada.

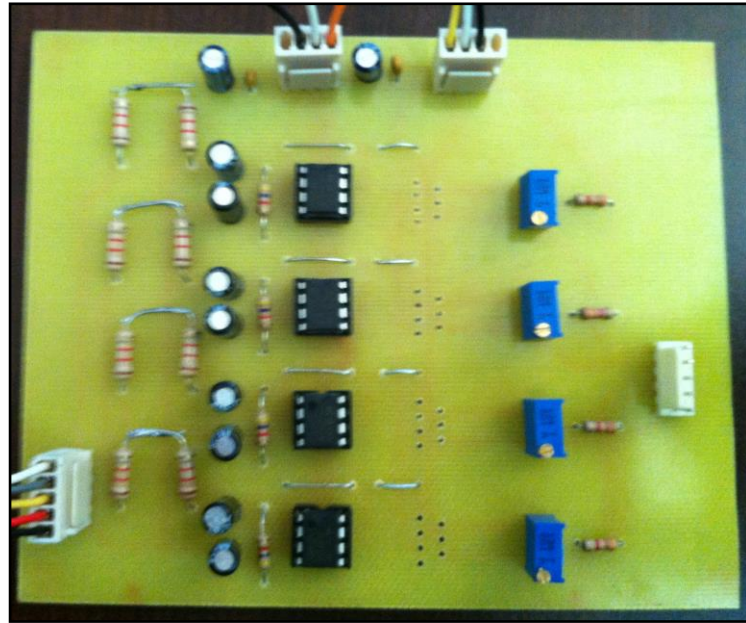


Figura 23. PCB de filtración y amplificación de la señal de estimulación (Creación propia)

Estructura de soporte de los actuadores piezoeléctrico

Los anexos 5, 6 y 7 describen y muestran los componentes de la estructura que da soporte y fija los actuadores piezoeléctricos, además de controlar la fuerza ejercida de estos sobre el dedo índice del sujeto de prueba. En la figura 12 se observa una imagen de la estructura de soporte.

Pruebas realizadas

A continuación se presentan resultados de pruebas realizadas en sujetos. Por motivo de confidencialidad de los datos, no se mostrarán los nombres de los sujetos de prueba.

Tabla 2. Resultados de experimentos realizados en 9 sujetos. Se presentan las pruebas de Determinación de umbral, umbral al ruido y el nivel óptimo de ruido (Creación propia)

			0%	15%	30%	45%	60%
Sujeto	Umbral	Umbral R					
S1	1180	434 (37%)	19	26	24	21	20
S2	802	180 (22%)	29	25	22	20	20
S3	1120	462 (41%)	22	29	24	22	20

S1	1064		22	25	26	21	21
S2	847		24	27	23	21	20
S3	1010		23	28	25	21	20
S4	910		30	31	35	23	20
S5	1070		20	24	28	20	20
S6	1115		21	22	27	20	20
S6	1064		21	24	22	21	21
S7	1014		21	23	26	21	20
S8	847		21	23	27	20	20
S9	1200		21	23	28	22	20

S5	Respuesta al estímulo			
Estímulo	si	no	Comb 1-2	
Sesion 1	10	42	56	53,8%
Sesion 2	6	46	Comb 3-4	
Sesion 3	21	31	62	59.6%
Sesion 4	11	41		

Tabla 3. Prueba de Incerteza Espacial sobre el sujeto 5. (Creación propia)

S8	Respuesta al estímulo			
Estímulo	si	no	Comb 1-2	
Sesion 1	23	27	71	68,3%
Sesion 2	4	48	Comb 3-4	
Sesion 3	27	25	73	70.2%
Sesion 4	5	46		

Tabla 4. Prueba de Incerteza Espacial sobre el sujeto 8. (Creación propia)

S9	Respuesta al estímulo			
Estímulo	si	no	Comb 1-2	
Sesion 1	27	25	57	54.8%
Sesion 2	22	30	Comb 3-4	
Sesion 3	28	24	56	53.8%
Sesion 4	24	28		

Tabla 5. Prueba de Incerteza Espacial sobre el sujeto 9. (Creación propia)

Discusión

La realización de las pruebas en sujetos y la obtención de resultados validan el funcionamiento de los sistemas que conforman el equipo de estimulación táctil. De acuerdo a los objetivos planteados, se logró desarrollar un protocolo experimental que cumple con todos los detalles necesarios para una correcta realización de las pruebas psicofisiológicas. Además, se utilizó dicha información y se creó un sistema informático capaz de realizar todas las funciones que el protocolo requería. Luego, tras una serie de pruebas, se logró comunicar esta interfaz con un módulo externo que permite la estimulación mecánica de un sujeto de prueba. Utilizando en conjunto todos estos sistemas (software y hardware) se logró concretar pruebas en sujetos y almacenar sus datos para validar nuestro sistema. Por lo tanto, se logró resolver la problemática analizada al principio de este proyecto.

Conclusiones

Al estructurar el desarrollo de este proyecto en tres fases (protocolo, software y hardware), ha permitido abordar de mejor manera la problemática presentada y cumplir con los objetivos específicos. La estructura del protocolo y, el hecho de que se haya descrito un orden lógico de las cinco pruebas definidas, permite que se entienda de mejor manera la prueba global que un investigador debe realizar en un sujeto de estudio. Además, el software fue diseñado de modo que el experimentador pudiese manejar los parámetros libremente y, así, tomar diferentes vías de investigación.

El uso de tecnología renovada para su desarrollo facilita y apoya al experimentador proporcionándole una herramienta validada y rápida en la obtención de resultados, lo que permite obtener más resultados en menos tiempo. A su vez, con mayor cantidad de datos es posible mejorar las tendencias de las curvas psicofisiológicas en el estudio del sistema táctil humano.

El sistema, al ser modular, permite ser mejorado en el caso que surja una nueva tecnología, donde el subsistema que quede obsoleto puede ser reemplazado completamente y sigue siendo compatible con otros módulos.

El hecho de que el proyecto esté completo, es decir, que se haya realizado el equipo (software y hardware) y el protocolo experimental, permite que este sea transferible a otro experimentador con otros objetivos similares de estudio. Además, el hecho de que el código fuente este programado en funciones separadas, permite que personas competentes en programación puedan modificar los estímulos aplicados al sujeto para nuevas investigaciones.

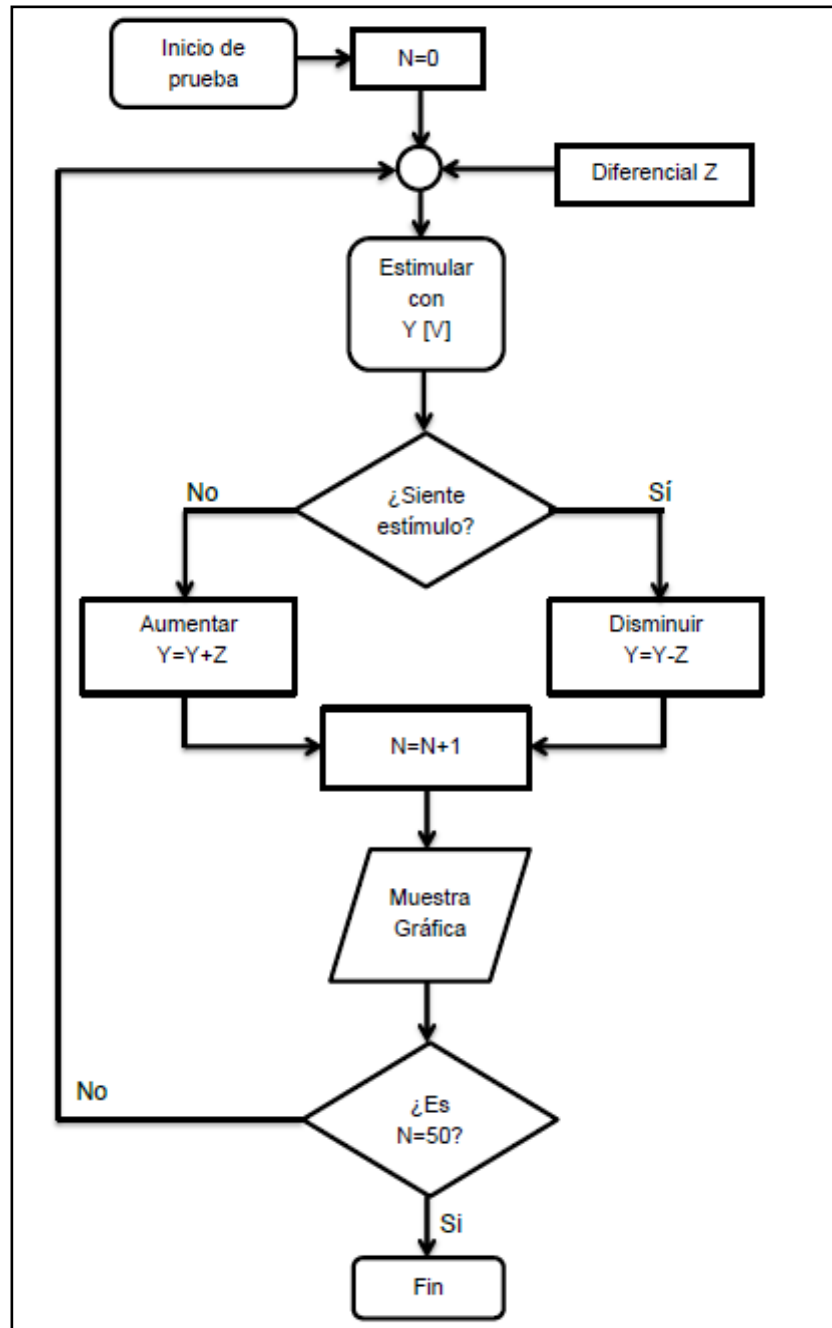
Para futuros trabajos se propone la mejora del soporte físico para los dispositivos piezoeléctricos, donde la fuerza que se ejerce sobre el dedo índice sea mejor controlada. También se propone la implementación de nuevas pruebas psicofisiológicas que estudien otros efectos en el sistema táctil humano.

Por último, es importante mencionar que este sistema permite realizar gráficos y modelos del comportamiento de estructuras tan pequeñas como los corpúsculos, sin la necesidad de realizar intervenciones en el tejido humano.

Referencias Bibliográficas

- Avendaño, G., & Larrondo, T. (2011). *Threshold of Tactile Discrimination TTD and Stroop Tachistoscope in schoolchildren as a indicator of deficit conditions in learning*.
- Collins, J. J., Imhoff, T., & Grigg, P. (1996). *Noise-mediated enhancements and decrements in human tactile sensation*. Department of Physiology, University of Massachusetts Medical Center.
- Collins, J. J., Priplata, A. A., Gravelle, D. C., & Niemi, J. (2003). *Noise-enhanced human sensorimotor function*. IEEE Engineering in Medicine & Biology Magazine.
- Colwell, C., Petrie, H., Kornbront, D., Hardwick, A., & Fumer, S. (1998). *Haptic virtual reality for blind computer users*. Marina del Rey, USA: Third International Conference on Assistive Technologies.
- Cordo, P. (1996). *Noise in human muscle spindles*. Robert S. Neurological Sciences Institute.
- Eltai, M. E., & Hewit, J. R. (2003). *Tactile sensing technology for minimal access surgery: A review*. Mechatronics.
- Elzbieta, K., & Elzbieta, R. (2002). *Análisis comparativo de los cambios en la sensibilidad táctil de mujeres y hombres practicantes de deportes seleccionados*.
- Gescheider, G. (1991). *Effects of noise on detection of amplitude increments of sinusoidal vibration of the skin*.
- Gescheider, G. A., Bolanowski, S. J., & Verillo, R. T. (2003). *Some characteristics of tactile channels*. Hamilton College, Department of Psychology, Clinton.
- J.I.Escudero, M. F. (2008). *Filtros*.
- JESUS, E. M. (08 de 12 de 2009). *Blog Filtros Bessel*. Recuperado el mayo de 20 de 2012, de <http://filtrosbessel.blogspot.com/2009/12/filtros-bessel.html>
- Klein, S. (2001). *Measuring, estimating, and understanding the psychometric function: A commentary*.
- Lyttle, D. (2008). *Stochastic Resonance in Neurobiology*.
- Nozaki, D., Mar, D., Grigg, P., & Collins, J. (1998). *Effects of Colored Noise on Stochastic Resonance in Sensory Neurons*.
- Perez, C., Santibañez, A., Holzmann, C., & Estevez, P. (2003). *Power requirements for vibrotactile piezo-electric and electromechanical transducers*. Santiago.
- Roshada, D., Setsuo, M., & Norazman, B. (2004). *A Pilot Study of Reference Vibrotactile Perception Thresholds on the Fingertip obtained with Malaysian Healthy People Using ISO 13091-1 Equipment*. Malaysia.
- Russell, D., Wilkens, L., & Moss, F. (1999). *Use of behavioural stochastic resonance by paddle fish for feeding*. Center for Neurodynamics, University of Missouri.
- Serra, W., Lanzone, M., Echenique, A., & Graffigna, J. (2005). *Display Tactil Electrocutaneo*.

Figura 24. Diagrama de Flujo válido para las pruebas de determinación del umbral, umbral al ruido y umbral vibrotáctil.
(Creación propia)



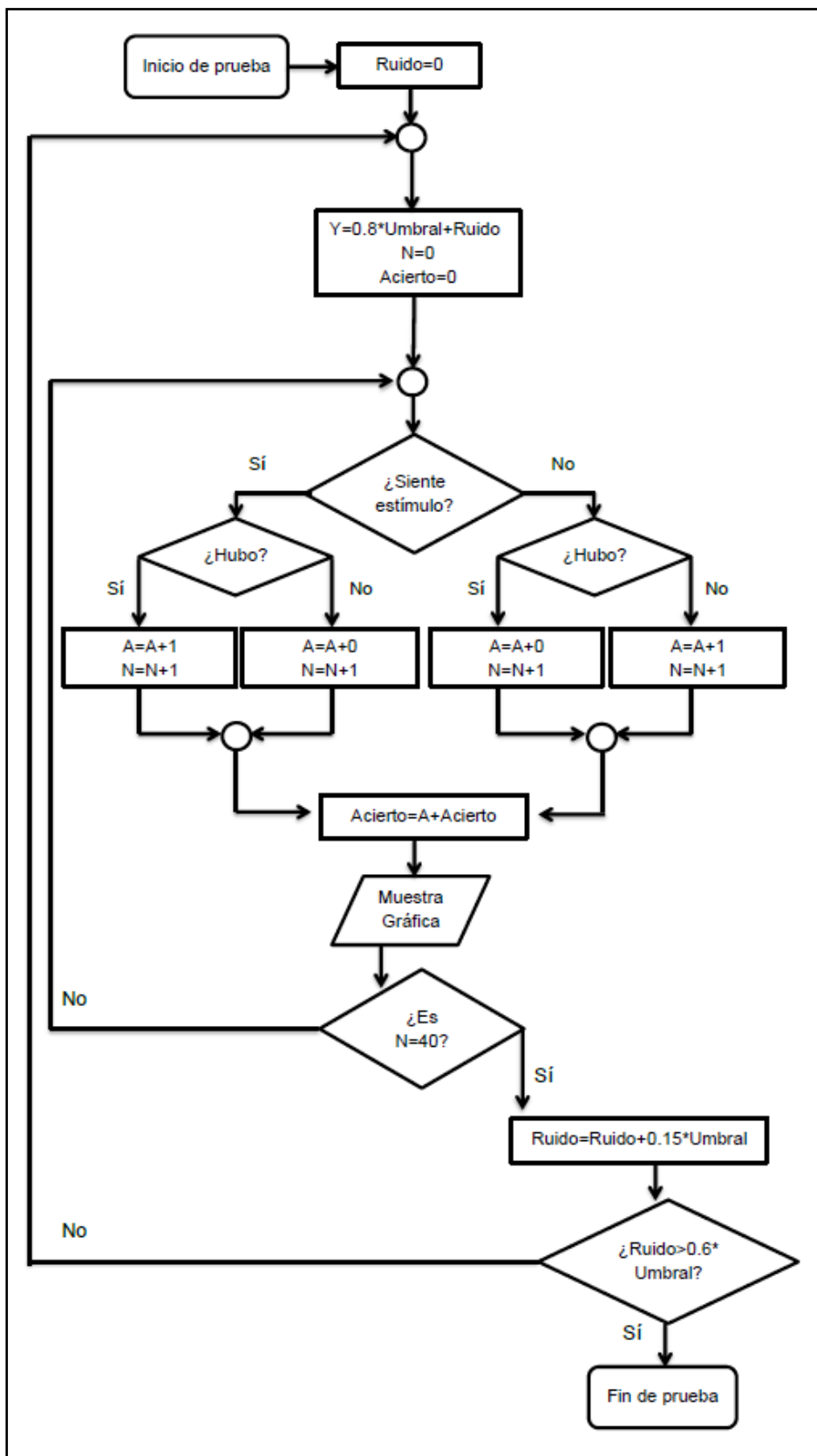
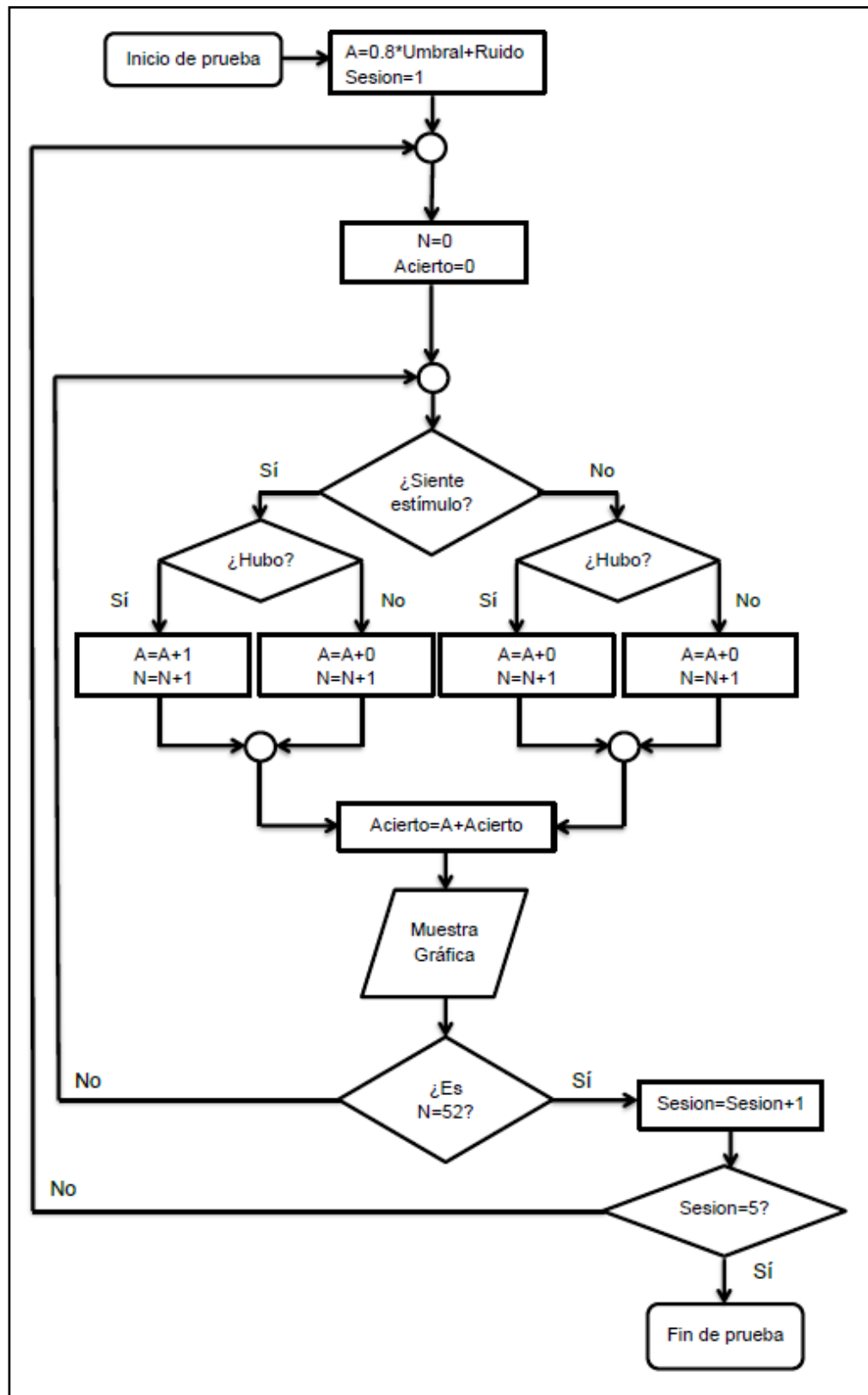
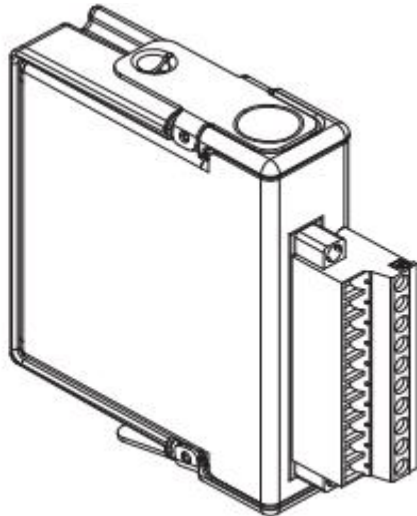


Figura 25. Diagrama de Flujo válido para la prueba de determinación del nivel óptimo de ruido. (Creación propia)

Figura 26.
Diagrama de Flujo
válido para la
prueba de
determinación de
la Incerteza
Espacial.





Descripción.-

El dispositivo NI 9263 tiene un conector de 10 terminales que provee conexión para 4 canales de salida análogos.

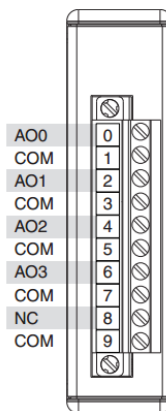
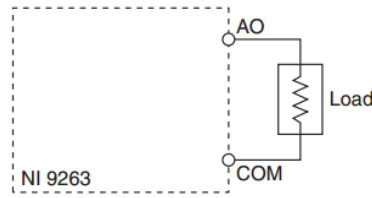


Figura 27.
Asignación de
terminales del
módulo NI9263
(Creación propia)

Cada canal del módulo NI 9263 tiene un terminal "A0" y un terminal común, "COM", y existe una terminal COM adicional en la parte baja del conector. Todos los terminales COM están internamente conectados a la tierra de aislación del módulo. Se puede conectar una carga a cada canal del módulo NI 9263. Se debe conectar el conductor positivo de la carga al terminal A0, y la tierra de la carga al terminal COM correspondiente.



Cada canal tiene un convertor Digital a Análogo (DAC) que produce una señal de voltaje. Cada canal tiene además una protección para sobrevoltaje y cortocircuito.

Figura 28.
Conectando una carga al módulo NI 9263
(Creación propia)

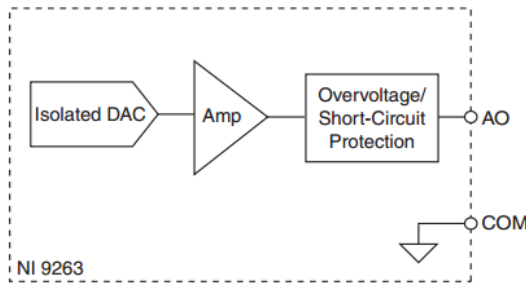


Figura 29.
Circuitería de salida para un canal del módulo NI 9263
(Creación propia)

Especificaciones.-

Las siguientes especificaciones son típicas para el rango de los -40 a 70 °C. Todos los voltajes son relativos a COM.

Tabla 6.
Especificaciones del módulo NI9263
(Creación propia)

Características de salida		
Número de Canales	4 canales de salida análogos	
Resolución del DAC	16 bits	
Tipo de DAC	Cadena (String)	
Estado de la salida en encendido	Canales apagados	
Voltaje de inicio	0 [V] ¹	
Voltaje de apagado	0 [V] ²	
Rango del voltaje de salida		
- Nominal	± 10 [V]	
- Mínimo	± 10.4 [V]	
- Típico	± 10.7 [V]	
- Máximo	± 11 [V]	
Corriente del dispositivo	± 1 m[A] máximo por canal	
Impedancia de salida	2 Ω	
Precisión		
<i>Condiciones de Medición</i>	<i>Porcentaje de Lectura (Error de Ganancia)</i>	<i>Porcentaje del Rango (Error Offset)</i>
Calibrado, máximo (-40 a 70 °C)	0.35%	0.75%
Calibrado, típico (25 °C, ±5 °C)	0.03%	0.1%
No Calibrado, máximo (-40 a 70 °C)	2.2%	1.7%
No Calibrado, típico (25 °C, ±5 °C)	0.3%	0.25%
Estabilidad		
Deriva de la Ganancia	14 ppm/°C	

Deriva del Offset	110 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
Protección		
Sobrevoltaje	± 30 [V]	
Cortocircuito	Indefinidamente	
Tiempo de Actualización		
<i>Número de Canales</i>	<i>Tiempo de Actualización para las series NI cRIO-9151</i>	<i>Tiempo de Actualización para los otros chasis</i>
1	3.5 μs min	3 μs min
2	6.5 μs min	5 μs min
3	9 μs min	7.5 μs min
4	12 μs min	9.5 μs min
Ruido		
Actualización a 100 kS/s	600 μV_{rms}	
Sin actualización	260 μV_{rms}	
Velocidad de Giro	4 V/ μs	
Crosstalk	76 dB	
Tiempo de Estabilización (100 pF en carga, a 1 LSB)		
Paso a gran escala	20 μs	
Paso 1 [V]	13 μs	
Paso 0.1 [V]	10 μs	
Unidad Capacitiva	1500 pF min	
Monotonía	16 bits	
DNL	± 1 LSB max	
INL (punto final)	± 12 LSB max	
MTBF	1732619 horas a 25 $^\circ\text{C}$	
Requisitos de Energía		
<i>Consumo de Energía desde el chasis</i>		
Modo Activo (a -40 $^\circ\text{C}$)	500 mW max	
Modo de descanso	25 μW max	
<i>Disipación Térmica (a 70 $^\circ\text{C}$)</i>		
Modo activo	750 mW max	
Modo de descanso	25 μW max	
Características Físicas		
Torque para los terminales de los tornillos	0.5 a 0.6 N*m	
Casquillos	0.25 mm^2 a 2.5 mm^2	
Peso	150 g	

Estándares de Seguridad.-

Este producto cumple con los requisitos de las siguientes normas de seguridad para equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1

Imágenes.-

44

Figura 30.
Fotografías del
módulo NI 9263
(Creación propia)



**Descripción.-**

DSO móvil es un osciloscopio de almacenamiento digital de bolsillo que cumple con los requisitos básicos de ingeniería electrónica. Se basa sobre la plataforma ARM Cortex™-M3 de 32 bits, equipada con una pantalla a color de 320 * 240, tarjeta SD, conexión USB y baterías recargables.

Especificaciones.-

Pantalla	2.8" Color TFT LCD
Resolución de pantalla	320*240
Color pantalla	65K
Ancho de banda análogo	0 – 1 MHz
Frecuencia de muestreo máxima	1 Msps 12 bits
Profundidad del muestreo de la memoria	4096 puntos
Sensibilidad horizontal	1uS/Div ~ 10S/Div
Posición Horizontal	Ajustable con el indicador
Sensibilidad vertical	10mV/Div ~ 10V/Div
Posición vertical	Ajustable con el indicador
Impedancia de entrada	> 500K Ω
Máximo voltaje de entrada	80 Vpp
Enganche	DC
Trig Modes	Auto, Normal, Single, None y Scan
Almacenamiento de la forma de onda	Tarjeta SD
Conexión USB al PC	Como un lector de tarjeta SD
Fuente de poder	3.7 V Batería de Litio Cargable / USB
Dimensión	105mm X 53mm X 8mm

Tabla 7.
Especificaciones
del osciloscopio
DSO Nano.
(Creación propia)

Interfaz de Usuario.-

Figura 31.
Características del
osciloscopio DS0
Nano
(Creación propia)

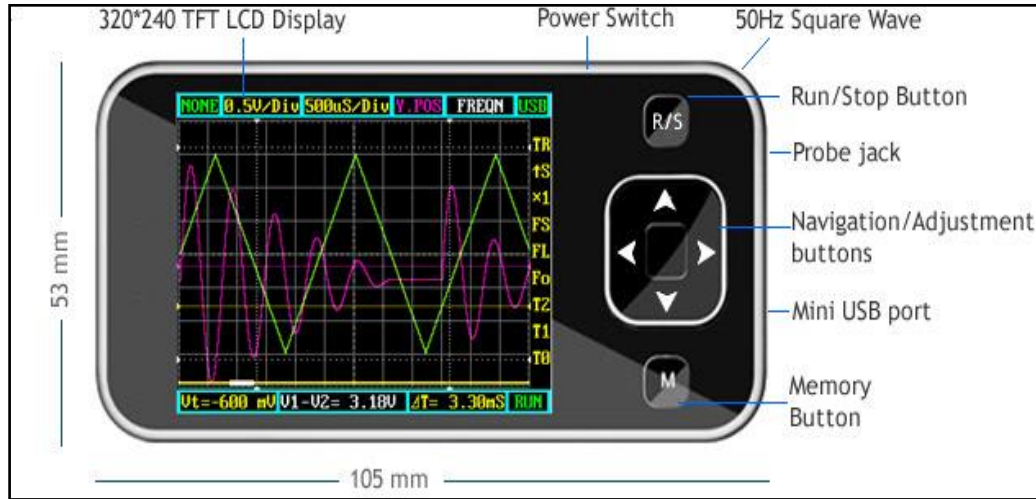
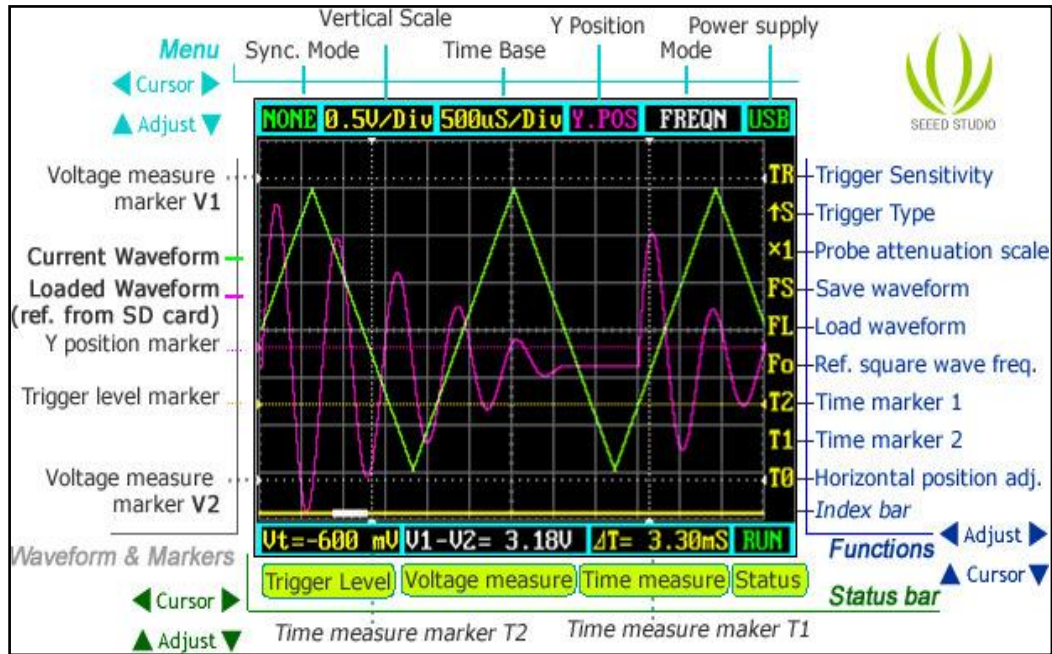


Figura 32.
Características de
la pantalla en el
osciloscopio DS0
Nano
(Creación propia)



ANEXO 4
Circuito de Filtrado y Amplificación.-

Desarrollo de un
equipo de
Estimulación

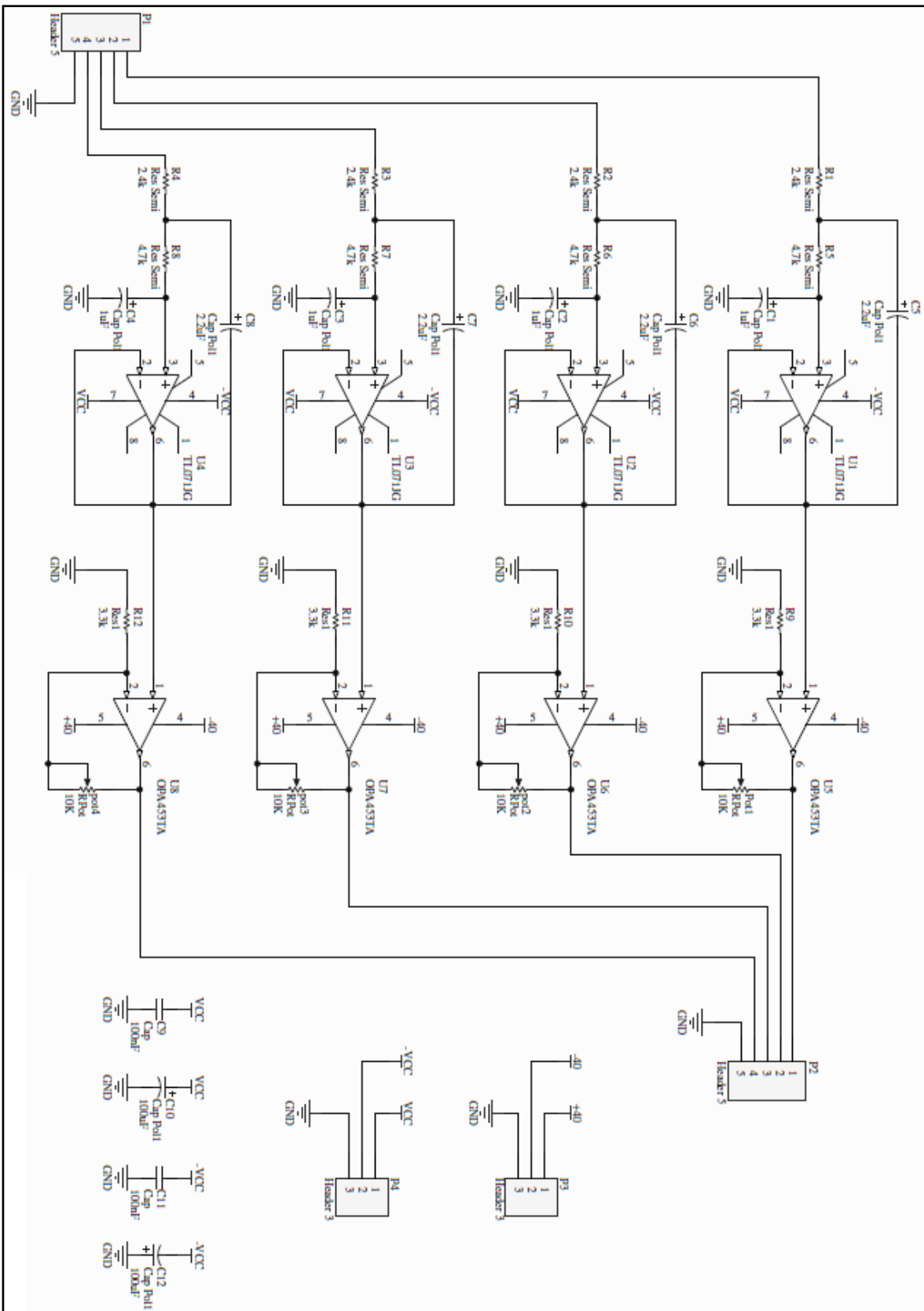
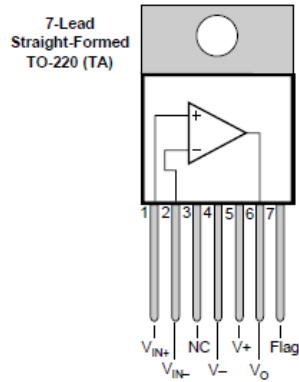


Figura 33. Diseño del circuito de filtrado y amplificación de la señal.
(Creación propia)

Amplificador Operacional OPA453TA de Texas Instruments

48



Descripción.-

El amplificador operacional OPA453TA es de bajo costo con capacidades de alto voltaje (80V) y alta corriente (50mA). El OPA453TA está optimizado para ganancias superiores a 5 y tiene un ancho de banda a 7.5MHz. El OPA453TA lleva protección interna contra el exceso de temperatura y a condiciones de sobrecarga de corriente. Las fuentes de alimentación se pueden utilizar en el rango de $\pm 10V$ a $\pm 40V$. A diferencia de la mayoría de los amplificadores operacionales de potencia, el OPA453TA garantiza especificaciones sobre todo el rango de fuente de alimentación.

Estos circuitos integrados monolíticos, recortados por laser, proporcionan una excelente precisión a bajo-nivel junto con el ancho de la oscilación de salida. Consideraciones especiales en su diseño aseguran que el producto es fácil de usar y libre de problemas de inversión de fase que a menudo se encuentran en otros amplificadores.

A continuación, la figura X muestra la configuración básica como amplificador no inversor del OPA453:

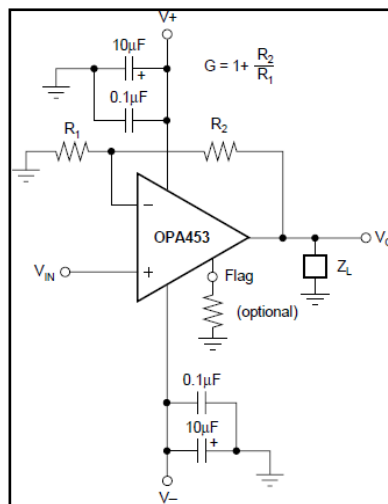


Figura 34.
Diagrama del
amplificador
operacional
OPA453 en
configuración no
inversor. (Creación
propia)

Especificaciones.-

Valores típicos sobre un rango de temperatura de funcionamiento de aire libre.

Características	
Voltaje de entrada offset, V_{OS}	± 1 mV
Voltaje de offset vs Voltaje de alimentación, PSRR	$5 \mu\text{V/V}$
Entrada de corriente BIAS, I_B	± 7 pA
Entrada de corriente offset, I_{OS}	± 1 pA
Densidad del ruido en el Voltaje de entrada, e_n	21 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Densidad del ruido en Corriente, i_n	9 fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Rango de Voltaje en modo-común, V_{CM}	(V-) +5, (V+) -0.5
Radio de rechazo en modo-común, CMRR	94 dB
Diferencial de impedancia de entrada	$10^{13} \Omega \parallel \text{pF}$
Impedancia de entrada en modo-común	$10^{13} \Omega \parallel \text{pF}$
Ganancia de voltaje en lazo-abierto, A_{OL}	110 dB
Respuesta en frecuencia de producto Ancho de banda-Ganancia, GBW	7.5 MHz
Velocidad de respuesta (Slew Rate), SR	+23/-38 V/ μs
Voltaje de salida, V_{OUT}	± 4 V
Corriente de salida	± 50 mA
Corriente de corto circuito, I_{SC}	± 125 mA
Rango de voltaje de alimentación, V_S	± 40 V
Corriente de reposo (por amplificador), I_O	± 5.5 mA
Rango de temperatura especificado (unión), T_J	-40 a +125 °C
Rango de operación (unión), T_J	-55 a +125 °C
Rango de almacenamiento (temperatura ambiente), T_A	-65 a +125 °C

Tabla 8.
Especificaciones
del amplificador
OPA453 (Creación
propia)

Características Típicas.-

A continuación se describe la gráfica típica de salida de circuito integrado OPA453TA Voltaje de Salida (Output Voltage) vs Frecuencia (Frequency).

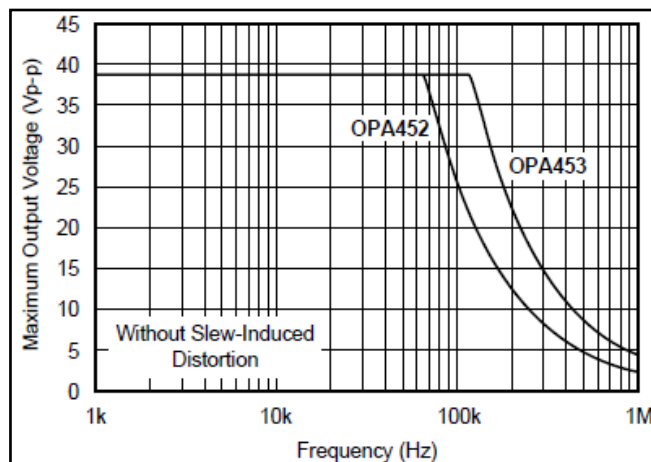
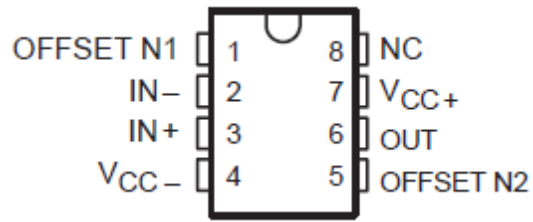


Figura 35. Gráfico
de Voltaje de Salida
(Output Voltage)
vs Frecuencia
(Frequency).
(Creación propia)

Amplificador Operacional (JFET-Input) TL071JG de Texas Instruments

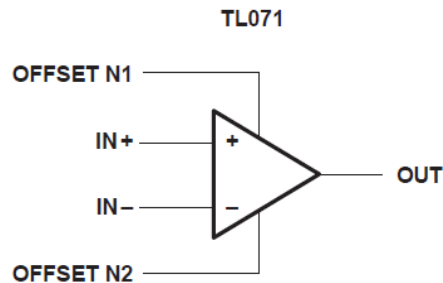


Descripción.-

El amplificador operacional JFET-Input en la serie TL07 es designada como una versión ruido-bajo de la serie de amplificadores TL08 con una entrada bias y corriente offset y mejor velocidad de respuesta. La baja distorsión armónica y el bajo nivel de ruido hacen que la serie TL07 sea idealmente de alta-fidelidad para aplicaciones preamplificadoras de audio. Cada amplificador cuenta con entradas JFET (de alta impedancia de entrada), junto con las etapas de salida bipolar integrada en un chip monolítico. Los dispositivos M-suffix se caracterizan por operar en todo rango de temperatura militar de -55°C a 125°C .

La simbología correspondiente al circuito integrado TL071JG es la siguiente:

Figura 36.
Diagrama del
amplificador
operacional
TL071JG (Creación
propia)



Especificaciones.-

Valores máximos absolutos sobre un rango de temperatura de funcionamiento de aire libre (a menos que se indique lo contrario).

Características	
Voltaje de Alimentación, V_{CC}^{+}	18 V
Voltaje de Alimentación, V_{CC}^{-}	- 18 V
Diferencia de Voltaje de Entrada, V_{ID}	± 30 V
Voltaje de Entrada, V_I	± 15 V

Duración de Salida cortocircuitada	Ilimitada
Rango de Temperatura de Operación (Aire-Libre)	-55°C a 125°C
Rango de Temperatura de Almacenamiento	-65°C a 150°C
Caso de Temperatura por 60 Segundos	260°C
Temperatura de Conducción de 1.6mm para el caso de 10 segundos	300°C
Características Eléctricas (Vcc= ±15V)	
Entrada Voltaje de Offset, V_{IO}	3mV
Entrada Corriente de Offset, I_{IO}	5pA
Entrada Corriente BIAS	65pA
Rango de Voltaje de Entrada en Modo Común, V_{ICR}	-12V a 15V
Peak Máximo de Salida de Tensión Oscilante, V_{OM}	±12V
Largo-Señal Amplificación de Voltaje Diferencial, A_{VD}	200 V/mV
Unidad de Ganancia en Ancho de Banda, B_1	3 MHz
Resistencia de Entrada, r_i	$10^{12} \Omega$
Relación Rechazo Modo-Común, CMRR	86 dB
Relación Rechazo Fuente-Voltaje ($\Delta V_{cc} \pm / \Delta V_{IO}$), k_{SVR}	86 dB
Fuente de Corriente, I_{cc}	1.4 mA
Atenuación Crosstalk, V_{O1}/V_{O2}	120 dB

Tabla 9.
Especificaciones
del amplificador
TL071JG (Creación
propia)

Características Típicas.-

A continuación se describe la gráfica típica de salida de circuito integrado TL071JG Voltaje de Salida (Output Voltage) vs Tiempo Transcurrido (Elapsed Time).

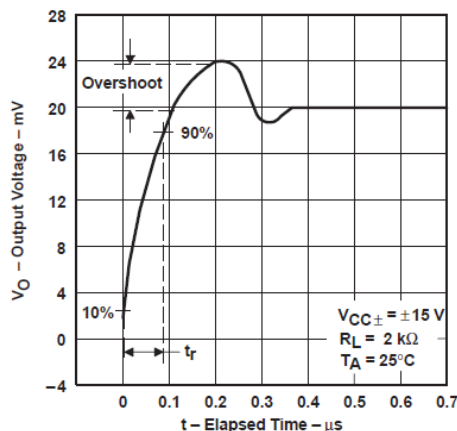


Figura 37. Gráfico
de Voltaje de Salida
(Output Voltage)
vs Tiempo
Transcurrido
(Elapsed Time)
(Creación propia)

Figura x.- Grafico de Voltaje de Salida (Output Voltage) vs
Tiempo Transcurrido (Elapsed Time)

ANEXO 5
Dispositivos piezoeléctricos

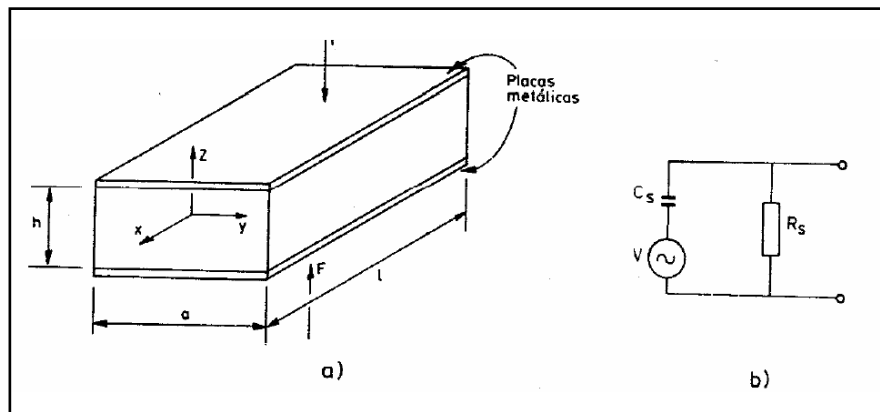


Descripción.-

Los transductores piezoeléctricos se encuentran principalmente fabricados de materiales cerámicos como el Titano de Bario. Estos basan su funcionamiento en el fenómeno de la piezoelectricidad, es decir, a través de una flexión mecánica (o fuerza externa) sobre el material se genera un movimiento de cargas las cuales inducen una corriente y consecuentemente un campo eléctrico. Ahora bien, el efecto utilizado en este estudio es el inverso al descrito anteriormente, mediante una corriente eléctrica es posible generar una flexión del material, donde la dirección está directamente relacionada a la polarización del material.

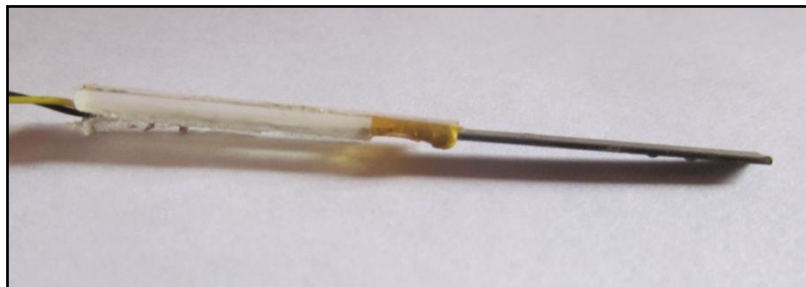
A continuación se muestra en la figura X se describe de mejor manera la composición de los dispositivos piezoeléctricos y su analogía en un circuito eléctrico.

Figura 38. En la figura a) Esquemático de dispositivo piezoeléctrico y en b) el equivalente en un circuito eléctrico. (Creación propia)



Especificaciones.-

A continuación se describe de manera breve estructura de los dispositivos piezoeléctricos.



Los dispositivos piezoeléctricos utilizados en las pruebas de umbral táctil fueron cortados a mano, se les soldó a mano cables de conexión en sus partes metálicas y se les acopló una pieza plástica para evitar que se desuelden, además de fijarlos. En la siguiente tabla se describe las medidas de un piezoeléctrico.

Largo de piezoeléctrico	2.3 [cm]
Ancho de piezoeléctrico	0.3 [cm]
Espesor de piezoeléctrico	< 0.1 [cm]
Largo de pieza plástica	2.5 [cm]
Ancho de pieza plástica	0.5 [cm]
Espesor de pieza plástica	< 0.2 [cm]
Largo completo de la pieza	4.5 [cm]

Figura 39.
Dispositivo
piezoeléctrico
utilizado en
pruebas táctiles.
(Creación propia)

ANEXO 6

Pivote para soporte de sensores piezoeléctricos

54



Descripción.-

Se fabrica una pieza mecánica (pivote), la cual posee la característica de ejercer cierta fuerza en uno de sus extremos controlada por una tuerca apertada a este. Este pivote utiliza el principio físico del torque, donde colocando en uno de sus extremos un peso a distinta distancia a partir del punto de giro se puede establecer una fuerza variable sobre el extremo contrario. Por lo tanto, al establecer la tuerca a diferentes distancias del punto de giro es posible ejercer distintas fuerzas en el extremo contrario. El extremo contrario al de la tuerca posee la particularidad de poder fijar una plataforma, en la que se posicionará una plataforma para los sensores piezoeléctricos de estimulación táctil.

El diseño del dispositivo está basado en la norma ISO 13091-2 (Roshada, Setsuo, & Norazman, 2004) que se muestra a continuación en la figura X:

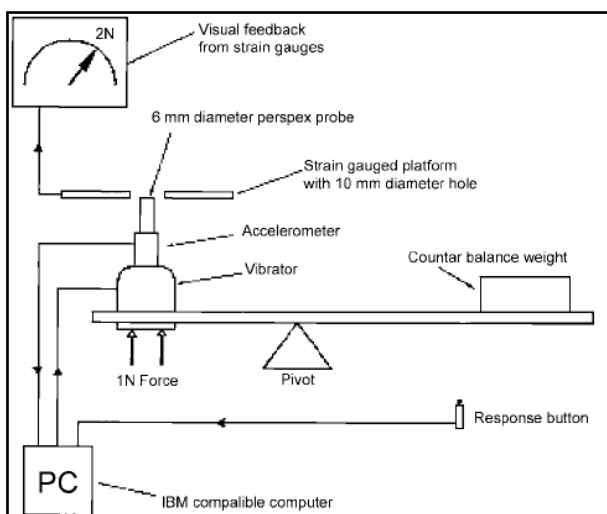


Figura 40.
Diagrama del
pivote acorde a
ISO 13091-2
(Roshada, Setsuo,
& Norazman, 2004)

Especificaciones.-

El dispositivo mecánico, pivote, posee las siguientes medidas para cada una de las partes:

Soportes laterales:



Figura 41. Una de
las piezas laterales
de soporte.
(Creación propia)

El par de soportes posee las siguientes medidas:

Largo	20 [cm]
Diámetro	1.6 [cm]
Diámetro de orificio	0.6[cm]
Distancia de borde al orificio	1.5 [cm]

Pieza central (pendular):

Figura X: Dos vistas de la pieza central.

Figura 42. Dos vistas de la pieza central. (Creación propia)

La pieza central posee las siguientes medidas:

Largo	26 [cm]
Diámetro	1.6 [cm]
Diámetro de los orificios	0.6 [cm]
Largo de la ranura de soporte	2.6 [cm]
Tamaño del roscado	10 [cm]

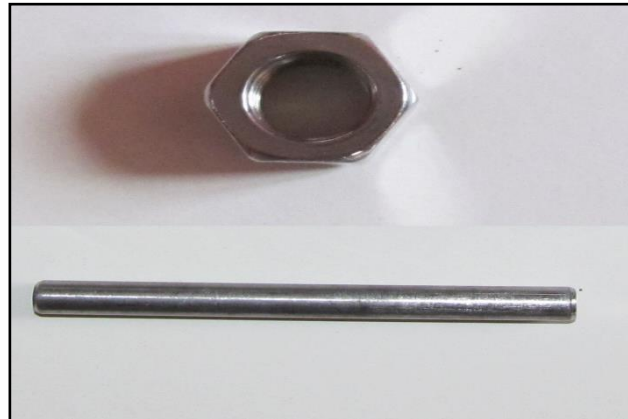
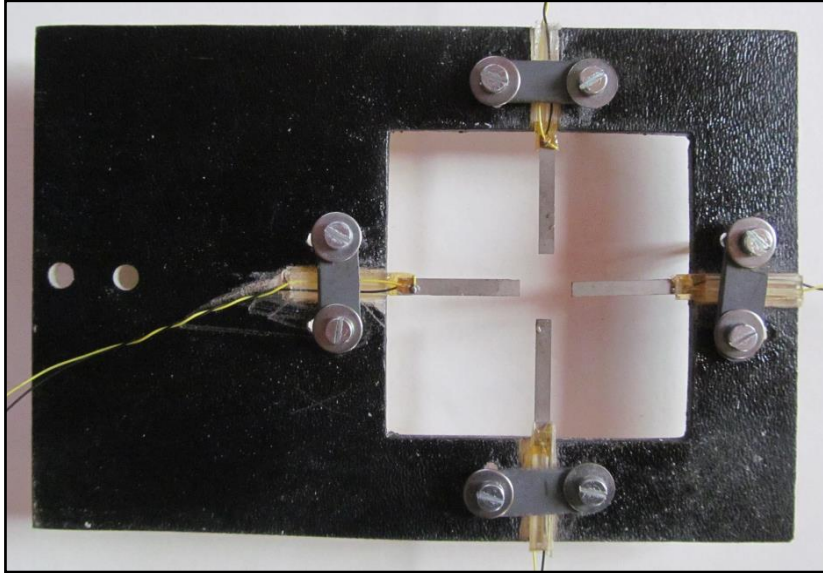
Accesorios:

Figura 43. Tuerca y centro metálico del pivote. (Creación propia)

La pieza central posee las siguientes medidas:

Largo de centro metálico	6.4 [cm]
Diámetro de centro metálico	0.6 [cm]
Diámetro de tuerca	1.6 [cm]
Espesor de la tuerca	1.8 [cm]

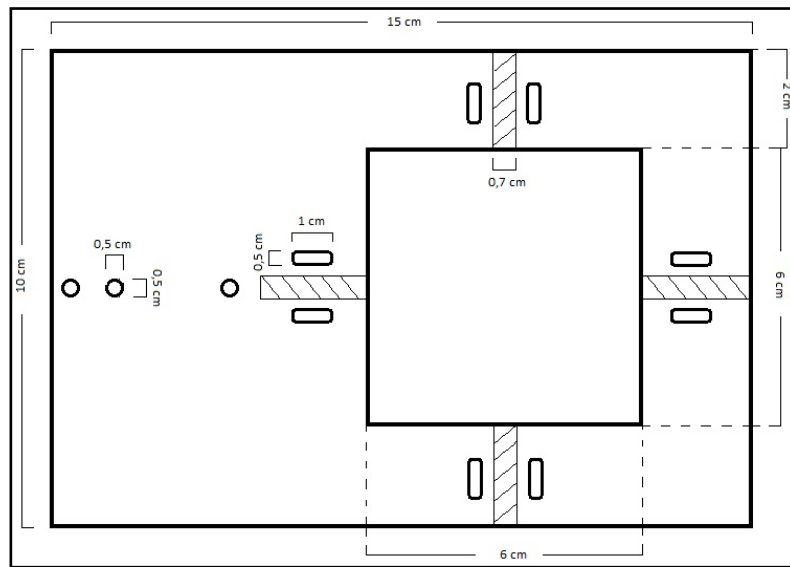
Plataforma para soporte de piezoeléctricos.

**Descripción.-**

Se fabrica una pieza plástica para soporte de los sensores piezoeléctricos, la particularidad de la pieza consiste en que posee unas ranuras diseñadas especialmente para posicionar dichos sensores, alineándolos uno en frente del otro, logrando una disposición para realizar las pruebas de medición de umbral táctil. También se fabrica unas piezas plásticas que sujetan los sensores piezoeléctricos, permitiendo el movimiento de estos hacia adelante y hacia atrás. En el centro, la pieza posee un orificio cuadrado con la finalidad de permitir la flexión de los piezoeléctricos en ambos sentidos. En su extremo inferior posee dos orificios que se atornillan al pivote, de manera de controlar la fuerza ejercida sobre el dedo del sujeto de prueba.

A continuación en la figura 44 se muestra el esquemático diseñado previamente a la construcción de la pieza.

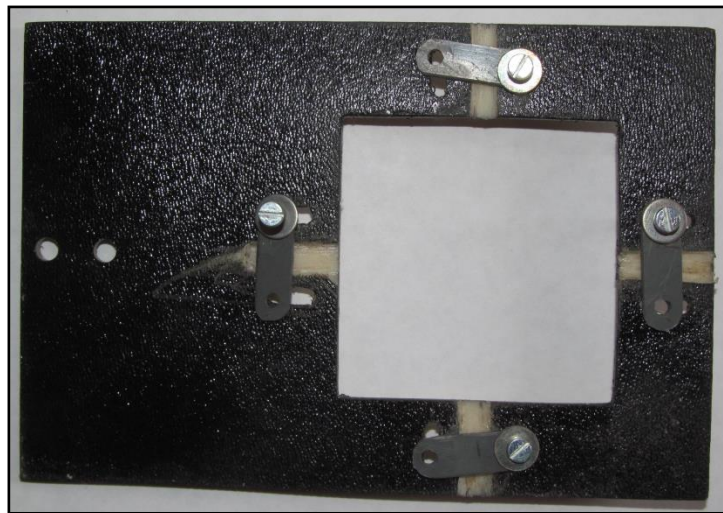
Figura 44.
Esquema de la
pieza de soporte
de los
piezoeléctricos
(Creación propia)



Especificaciones.-

A continuación se describe de manera específica la conformación estructural que compone la pieza construida.

Figura 45.
Dispositivo
construido para
soporte de los
transductores
piezoeléctricos
(Creación propia)



La pieza fue construida a mano de material plástico y moldeada para lograr con el diseño propuesto, además se construyeron pequeños dispositivos para posicionar y sujetar los transductores piezoeléctricos, también se adicionaron pernos para dicha fijación. La plataforma construida, permite ajustar los piezoeléctricos, dado que estos también fueron contruidos a mano (ver Anexo 5) y así cumplir con los requisitos experimentales.

A continuación se presenta una tabla con las medidas estructurales de la plataforma:

Largo de plataforma	15 [cm]
Ancho de plataforma	10 [cm]
Lado cuadrado interior	6 [cm]

Largo de ranura	2 [cm]
Ancho de ranura	0.7 [cm]
Largo de ranura para pieza de sujeción	1 [cm]
Ancho de ranura para pieza de sujeción	0.5 [cm]
Diámetro orificios	0.5 [cm]

ANEXO 8

Protocolo de Experimentación

“Estudio de la Resonancia Estocástica aplicada al sistema táctil”

MÉTODO ADAPTATIVO:

Procedimiento tipo Escalera

La primera etapa del experimento consiste en *determinar el umbral táctil* del sujeto de prueba. Para ello se estimula el dedo índice del sujeto mediante un actuador piezoeléctrico controlado por un sistema informático. El control se lleva a cabo mediante un pulso cuadrado de 300 ms de duración en una ventana de 1.5 s presente en uno de los cuatro estimuladores. Luego, se espera que el sujeto responda “Sí” (en caso de sentir el estímulo) o “No” (en el caso contrario). Este procedimiento se debe iterar 50 veces, donde una respuesta positiva conlleva disminuir el estímulo en 60 mV y, en el caso de una respuesta negativa, conlleva aumentar el estímulo en 60 mV. Cabe destacar que 5 de las presentaciones no poseen estímulo (catch trials). Para que la prueba sea válida el sujeto debe dar una respuesta negativa para al menos 3 catch trials. Como resultado se espera la determinación del umbral táctil, correspondiente al 50% de detecciones positivas.

La segunda etapa del experimento consiste en *determinar el umbral táctil al ruido*. El estímulo es ruido de tipo gaussiano de media cero y varianza V (variable), el estímulo dura 300 ms en una ventana de atención de 1.5 s en uno de los cuatro estimuladores. Luego, se espera que el sujeto responda “Sí” (en caso de sentir el estímulo) o “No” (en el caso contrario). Este procedimiento se debe iterar 60 veces, donde una respuesta positiva conlleva en disminuir el estímulo en xV (determinado por el usuario) y, en el caso de una respuesta negativa, conlleva aumentar el estímulo en xV . Cabe destacar que solo 30 de las presentaciones posee el estímulo y 30 no las poseen (catch trials). Para que la prueba sea válida el sujeto debe dar una respuesta negativa para al menos 3 catch trials. Como resultado se espera la determinación del umbral de detección del ruido, correspondiente al 50% de detecciones positivas.

La tercera etapa del experimento consiste en *determinar el umbral vibrotáctil*. El estímulo es una señal sinusoidal con una frecuencia y amplitud determinada, esta se encuentra modificada al inicio y final describiendo una gaussiana. Se estudiarán 4 tipos de frecuencias 8, 16, 24 y 32 Hz. La duración del estímulo es en todo el intervalo de atención (1.5 s) y está presente en uno de los cuatro estimuladores. Luego, se espera que el sujeto responda “Sí” (en caso de sentir el estímulo) o “No” (en el caso contrario). Este procedimiento se debe iterar 50 veces, donde una respuesta

positiva conlleva disminuir la amplitud del estímulo en X (fijada por el usuario) y, en el caso de una respuesta negativa, conlleva aumentar la amplitud del estímulo en X. Cabe destacar que 15 de las presentaciones no poseen estímulo (catch trials). Para que la prueba sea válida el sujeto debe dar una respuesta negativa para al menos 3 catch trials. Como resultado se espera la determinación del umbral vibrotáctil, correspondiente al 50% de detecciones positivas.

La cuarta etapa del experimento consiste en *determinar el nivel óptimo de ruido*. El estímulo es un pulso cuadrado de amplitud 80% del umbral táctil, con ruido gaussiano de media cero y cinco diferentes amplitudes (0%, 15%, 30%, 45% y 60% del umbral táctil), presente en todo el intervalo en uno de los cuatro estimuladores. El estímulo dura 300 ms y presenta el ruido durante todo el intervalo de atención. La mitad de los estímulos solo contienen ruido. Luego, se espera que el sujeto responda “Sí” (en caso de sentir el estímulo) o “No” (en el caso contrario). Este procedimiento se debe iterar 40 veces para cada nivel de ruido. Como resultado se espera la determinación del nivel óptimo de ruido, correspondiente al máximo de aciertos.

La quinta etapa del experimento consiste en la *evaluación de la incerteza espacial*. Se presentan cuatro tipos de estímulos utilizando el 80% del umbral y el ruido óptimo obtenido. Las características de los estímulos utilizados son las siguientes:

- Uno de los actuadores presentando el estímulo (pulso cuadrado más ruido) y los tres restantes solo con ruido.
- Los cuatro actuadores solo presentando ruido.
- Uno de los actuadores presentando el estímulo y los tres restantes sin acción.
- Uno de los actuadores presentando ruido y los tres restantes sin acción.

Luego, se espera que el sujeto responda “Sí” (en caso de sentir el estímulo) o “No” (en el caso contrario). Este procedimiento se debe iterar 52 veces de forma aleatoria para cada sesión (208 veces en total). Como resultado se espera obtener el mayor número de aciertos para la sesión tres y cuatro vs. la sesión uno y dos.

OBJETIVO

Determinar el umbral táctil del sujeto de prueba a través del método adaptativo tipo escalera, para así obtener el nivel óptimo de ruido y la incerteza espacial, utilizando procedimientos diferentes en cada determinación.

SUJETO

Las pruebas psicofísicas se realizan en individuos jóvenes y sanos, con un rango de edad entre 20 y 25 años. Los individuos no deben reportar desórdenes neurológicos que pudiesen influir en su desempeño ni estar tomando medicamentos.

PROCEDIMIENTO

1. El sujeto se sentará frente al experimentador, quien le presentará y explicará la prueba y las condiciones que debe cumplir para realizar la medición con éxito. Se le indicará al

- sujeto que, tras cada prueba, deberá responder con un “Sí” en caso de sentir el estímulo, o con un “No” en el caso contrario.
2. Una vez que el sujeto comprenda la prueba en su totalidad, el experimentador debe tomar los datos del sujeto a analizar y registrarlos en el software.
 3. El experimentador posicionará al sujeto en una silla cómoda con brazos ajustables para evitar la fatiga del individuo. Se ajustará el módulo de actuadores del instrumento en el dedo índice bajo estudio.
 4. El experimentador una vez iniciado el software deberá seleccionar el módulo de prueba que realizará (siguiendo el orden lógico del estudio): *Determinación de umbral táctil*, *Determinación del umbral táctil al ruido*, *Determinación del umbral Vibrotáctil*, *Determinación del nivel óptimo de ruido* y *Determinación de la incerteza espacial*.

Determinación de umbral táctil

5. El experimentador realizará una prueba del correcto funcionamiento del equipo (testeo). La prueba consiste en aplicar en el dedo índice del sujeto un estímulo supraumbral, de forma de asegurar que el sujeto sienta el estímulo aplicado. Una vez que el sujeto pueda discriminar entre el “estímulo” y “no-estímulo” se puede dar comienzo a la prueba.
6. Se ingresan los datos del sujeto, tales como apellido, nombre, edad y género.
7. Se da inicio a la prueba, presentando al sujeto un estímulo supraumbral, donde se desplegara un punto en la gráfica de la ventana. Si el sujeto percibió el estímulo, se debe presionar el botón “sí” de lo contrario presionar el botón “no”. Como efecto de la respuesta positiva (sí) se disminuirá la intensidad del estímulo en 60mV, mientras que con la respuesta negativa (no) aumentará la intensidad en 60mV. Además, dada las fluctuaciones de la intensidad de estímulo, se irá graficando simultáneamente una curva en la ventana principal de la prueba.
8. El procedimiento realizado en el punto 7 se debe iterar 50 veces (la cantidad de veces se visualiza en un contador en la ventana principal). Una vez realizadas las mediciones, el experimentador le indicará al sujeto que la medición ha finalizado, de modo que el sujeto podrá volver a una posición relajada, bajando el brazo de la plataforma de estimulación. Luego, a través de la gráfica, el investigador puede determinar la tendencia correspondiente al umbral táctil del sujeto.

Determinación del umbral táctil al ruido

9. Se posiciona nuevamente al sujeto bajo estudio en la plataforma de estimulación, reiterándole en que consiste la segunda prueba.
10. El experimentador realizará una prueba de correcto funcionamiento del equipo (testeo). La prueba consiste en aplicar en el dedo índice del sujeto un estímulo supraumbral, de forma de asegurar que el sujeto sienta el estímulo aplicado. Una vez que el sujeto pueda discriminar entre el “estímulo” y “no-estímulo” se puede dar comienzo a la prueba.

11. Se ingresan los datos del sujeto, tales como nombre, edad y género, o bien se cargan los datos del sujeto guardados en la prueba anterior.
12. Se da inicio a la prueba, donde se realizará una serie de estímulos al sujeto. Se le preguntará al individuo si sintió o no el estímulo, a lo cual, el individuo deberá responder “Sí” en caso de percibirlo y “No” en caso contrario. A medida que el sujeto responde el algoritmo cuenta la cantidad de aciertos que obtuvo y el software grafica una curva asociada para cada nivel de ruido en la ventana principal.
13. El procedimiento realizado en el punto 12 se debe iterar 60 veces. Una vez realizado los 60 estímulos (30 con estímulo y 30 sin estímulo) se indica el fin del estudio.
14. Una vez realizadas las mediciones, el experimentador le indicará al sujeto que la medición ha finalizado, de modo que el sujeto podrá volver a una posición relajada, bajando el brazo de la plataforma de estimulación. Luego, a través de la gráficas, el investigador puede obtener el umbral de la varianza deseada para el nivel de ruido que desee experimentar.

Determinación del umbral Vibrotáctil

15. Se posiciona nuevamente al sujeto bajo estudio en la plataforma de estimulación, reiterándole en que consiste la tercera prueba.
16. El experimentador realizará una prueba de correcto funcionamiento del equipo (testeo). La prueba consiste en aplicar en el dedo índice del sujeto un estímulo supraumbral, de forma de asegurar que el sujeto sienta el estímulo aplicado. Una vez que el sujeto pueda discriminar entre el “estímulo” y “no-estímulo” se puede dar comienzo a la prueba.
17. Se ingresan los datos del sujeto, tales como nombre, edad y género, o bien se cargan los datos del sujeto guardados en la prueba anterior.
18. Se da inicio a la prueba, donde se realizará una serie de estímulos al sujeto. Se le preguntará al individuo si sintió o no el estímulo, a lo cual, el individuo deberá responder “Sí” en caso de percibirlo y “No” en caso contrario. A medida que el sujeto responde el algoritmo cuenta la cantidad de aciertos que obtuvo y el software grafica una curva asociada para cada frecuencia analizada en la ventana principal.
19. El procedimiento realizado en el punto 18 se debe iterar 50 veces, seccionado en 4 fases correspondiente a las distintas frecuencias bajo estudio. Una vez realizado los primeros 50 estímulos (35 con estímulo y 15 catch trials) se indica el cambio al estudio de la nueva frecuencia.
20. Una vez realizadas las mediciones, el experimentador le indicará al sujeto que la medición ha finalizado, de modo que el sujeto podrá volver a una posición relajada, bajando el brazo de la plataforma de estimulación. Luego, a través de la gráficas, el investigador puede comparar las frecuencias para la cual presenta un menor umbral de sensibilidad táctil.

Determinación del nivel óptimo de ruido

21. Se posiciona nuevamente al sujeto bajo estudio en la plataforma de estimulación, reiterándole en que consiste la cuarta prueba.
22. El experimentador realizará una prueba de correcto funcionamiento del equipo (testeo). La prueba consiste en aplicar en el dedo índice del sujeto un estímulo supraumbral, de forma de asegurar que el sujeto sienta el estímulo aplicado. Una vez que el sujeto pueda discriminar entre el “estímulo” y “no-estímulo” se puede dar comienzo a la prueba.
23. Se ingresan los datos del sujeto, tales como nombre, edad y género, o bien se cargan los datos del sujeto guardados en la prueba anterior.
24. Se da inicio a la prueba, donde se realizará una serie de estímulos al sujeto. Se le preguntará al individuo si sintió o no el estímulo, a lo cual, el individuo deberá responder “Sí” en caso de percibirlo y “No” en caso contrario. A medida que el sujeto responde el algoritmo cuenta la cantidad de aciertos que obtuvo y el software grafica una curva asociada para cada nivel de ruido en la ventana principal.
25. El procedimiento realizado en el punto 24 se debe iterar 200 veces, seccionado en 5 fases correspondiente a los distintos niveles de ruido gaussiano en estudio. Una vez realizado los primeros 40 estímulos (20 con estímulo y 20 solo con ruido) se indica el cambio al estudio del nuevo nivel de ruido.
26. Una vez realizadas las mediciones, el experimentador le indicará al sujeto que la medición ha finalizado, de modo que el sujeto podrá volver a una posición relajada, bajando el brazo de la plataforma de estimulación. Luego, a través de la gráficas, el investigador puede comparar el nivel de ruido que presenta la mayor cantidad de aciertos (estímulos sentidos) por parte del individuo.

Determinación de la incerteza espacial

27. Se posiciona nuevamente al sujeto bajo estudio en la plataforma de estimulación, reiterándole en que consiste la quinta prueba.
28. El experimentador realizará una prueba de correcto funcionamiento del equipo (testeo). La prueba consiste en aplicar en el índice del sujeto un estímulo supraumbral, de forma de asegurar que el sujeto sienta el estímulo aplicado. Una vez que el sujeto pueda discriminar entre el “estímulo” y “no-estímulo” se puede dar comienzo a la prueba.
29. Se ingresan los datos del sujeto, tales como nombre, edad y género, o bien se cargan los datos del sujeto guardados en la prueba anterior.
30. Se da inicio a la prueba, donde se realizará una serie de estímulos al sujeto. Se desplegará una ventana que preguntara si el individuo sintió o no el estímulo, a lo cual, el individuo deberá responder “Sí” en caso de percibirlo y “No” en caso contrario. A medida que el sujeto responde el algoritmo cuenta la cantidad de aciertos (en la sesión

- 3 según lo descrito en la metodología) que obtuvo y grafica una curva asociada para cada nivel de ruido en la ventana principal.
31. El procedimiento realizado en el punto 30 se debe iterar 208 veces, seccionado en 4 fases correspondiente a los distintos estimuladores posicionados en el dedo índice. Una vez realizado los primeros 52 estímulos se realiza una pausa de descanso para el individuo.
32. Una vez realizadas las mediciones, el experimentador le indicará al sujeto que la medición ha finalizado, de modo que el sujeto podrá volver a una posición relajada, bajando el brazo de la plataforma de estimulación. Luego, a través de la graficas, el investigador puede comparar la cantidad de aciertos en las sesiones 3 y 4 vs. las sesiones 1 y 2 (según lo descrito en la metodología) para los distintos estimuladores situados en las zonas del dedo índice.

ANEXO 9

Características del Software.-

El desarrollo del software implicó la integración de la metodología y los diagramas de flujo propuestos dentro de una plataforma informática, logrando una interfaz para el usuario que le permita acceder, configurar, ejecutar y almacenar los datos en forma fácil y eficiente. Además, se logró la comunicación del software con el dispositivo generador de señales y se testeó cada señal visualizándola en el osciloscopio digital.

El software consta de:

- 14 archivos '.m' que contienen las líneas de código de programación.
- 6 archivos '.fig' que contienen la información sobre el diseño del software.
- 3 archivos de imagen utilizados como fondos de pantalla en las plataformas.

Subprogramas.-

A modo general, estos archivos '.m' corresponden a subprogramas que realizan lo siguiente:

<i>Nombre del subprograma</i>	<i>Descripción</i>	<i>Parámetros</i>
<i>Inicio.m</i>	Este programa corresponde al menú principal del software. En él se presentan todas las pruebas que el usuario puede acceder. Además, permite la opción de crear carpetas adicionales dentro de la carpeta "Sujetos" en la raíz del programa. Si la carpeta "Sujetos" no está presente en la raíz, se creará automáticamente.	

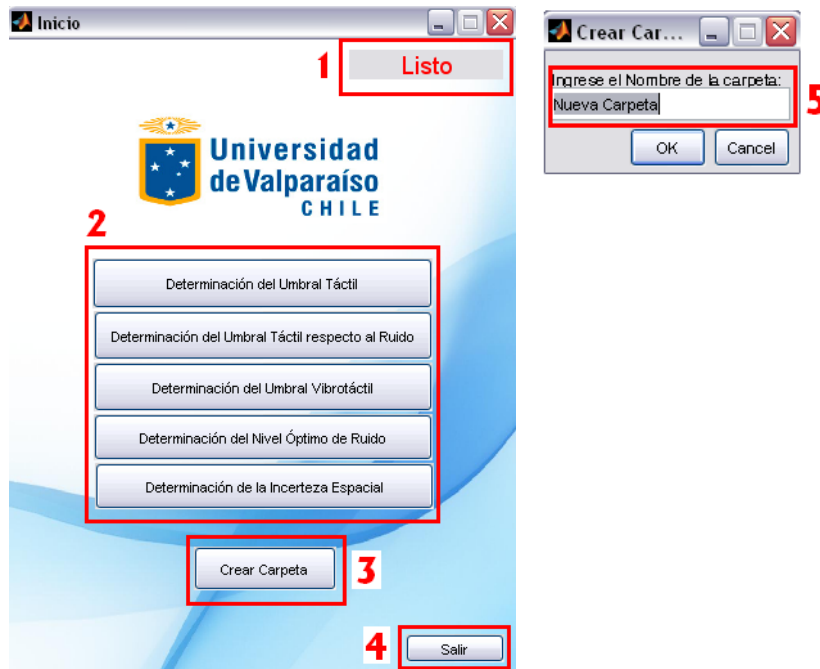
<i>Umbral_tactil.m</i>	Programa que permite al usuario realizar la prueba de “Determinación del umbral táctil”.	<ul style="list-style-type: none"> - Datos del sujeto - Presentaciones - Intervalo [s] - Estimulo [s] - Amplitud - Diferencial - Tasa de muestreo - Muestras Umbral - Catch Trials - Limite Catch
<i>Umbral_tactil_ruido.m</i>	Programa que permite al usuario realizar la prueba de “Determinación del umbral táctil respecto al ruido”.	<ul style="list-style-type: none"> - Datos del sujeto - Presentaciones - Intervalo [s] - Estimulo [s] - Desv. Estandar - Diferencial - Tasa de muestreo - Muestras Umbral - Catch Trials - Limite Catch
<i>Umbral_Vibrotactil.m</i>	Programa que permite al usuario realizar la prueba de “Determinación del umbral vibrotáctil”.	<ul style="list-style-type: none"> - Datos del sujeto - Presentaciones - Intervalo [s] - Frecuencia [Hz] - Amplitud - Interv. - Atenuacion - Nivel Atenuacion - Diferencial - Tasa de muestreo - Muestras Umbral - Catch Trials - Limite Catch
<i>Nivel_Optimo_Ruido.m</i>	Programa que permite al usuario realizar la prueba de “Determinación del Nivel Optimo de ruido”.	<ul style="list-style-type: none"> - Datos del sujeto - % Ruido - Presentaciones - Intervalo [s] - Estimulo [s] - Amplitud - Desv. Estandar - Tasa de muestreo - Catch Trials
<i>Incerteza_Espacial.m</i>	Programa que permite al usuario realizar la prueba de “Determinación	<ul style="list-style-type: none"> - Datos del sujeto - N° Sesión

	de la Incerteza Espacial”.	<ul style="list-style-type: none"> - Presentaciones - Intervalo [s] - Estimulo [s] - Amplitud - Desv. Estandar - Tasa de muestreo
<i>generapulso.m</i>	Esta función permite generar una señal rectangular con parámetros definidos por el usuario.	<ul style="list-style-type: none"> - Amplitud - Duración - Ancho - Tasa de muestreo
<i>generaruido.m</i>	Esta función permite generar una señal de ruido con parámetros definidos por el usuario.	<ul style="list-style-type: none"> - Duración - Ancho - Desv. Estándar - Tasa de muestreo
<i>generapulsoruido.m</i>	Esta función permite generar una señal rectangular que presenta ruido en todo el intervalo de atención.	<ul style="list-style-type: none"> - Amplitud - Duración - Ancho - Desv. Estándar - Tasa de muestreo
<i>generasoloruido.m</i>	A diferencia de la función ‘generaruido.m’, esta función permite generar ruido durante todo el intervalo de atención.	<ul style="list-style-type: none"> - Duración - Desv. Estándar - Tasa de muestreo
<i>ruidog.m</i>	Esta función genera ruido de tipo gaussiano. Los parámetros a configurar son los siguientes: número de muestras y desviación estándar. Estos parámetros son asignados automáticamente por los otros subprogramas que requieran una señal de ruido tipo gaussiano.	
<i>catch_trials.m</i>	Esta función genera un vector que contiene valores correspondientes a los catch trials que requiera algún subprograma.	<ul style="list-style-type: none"> - Presentaciones - Catch Trials
<i>random.m</i>	Esta función genera un vector que contiene valores aleatorios configurando el largo y el valor máximo de pueden alcanzar estos valores.	<ul style="list-style-type: none"> - Largo - Valor máximo
<i>atenuación.m</i>	Esta función, utilizada exclusivamente para la prueba de umbral vibrotáctil, genera una señal sinusoidal atenuada en sus extremos por una curva de distribución	<ul style="list-style-type: none"> - Duración - Frecuencia - Amplitud - Tasa de muestreo

	gaussiana.	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo atenuación - Pendiente
--	------------	--

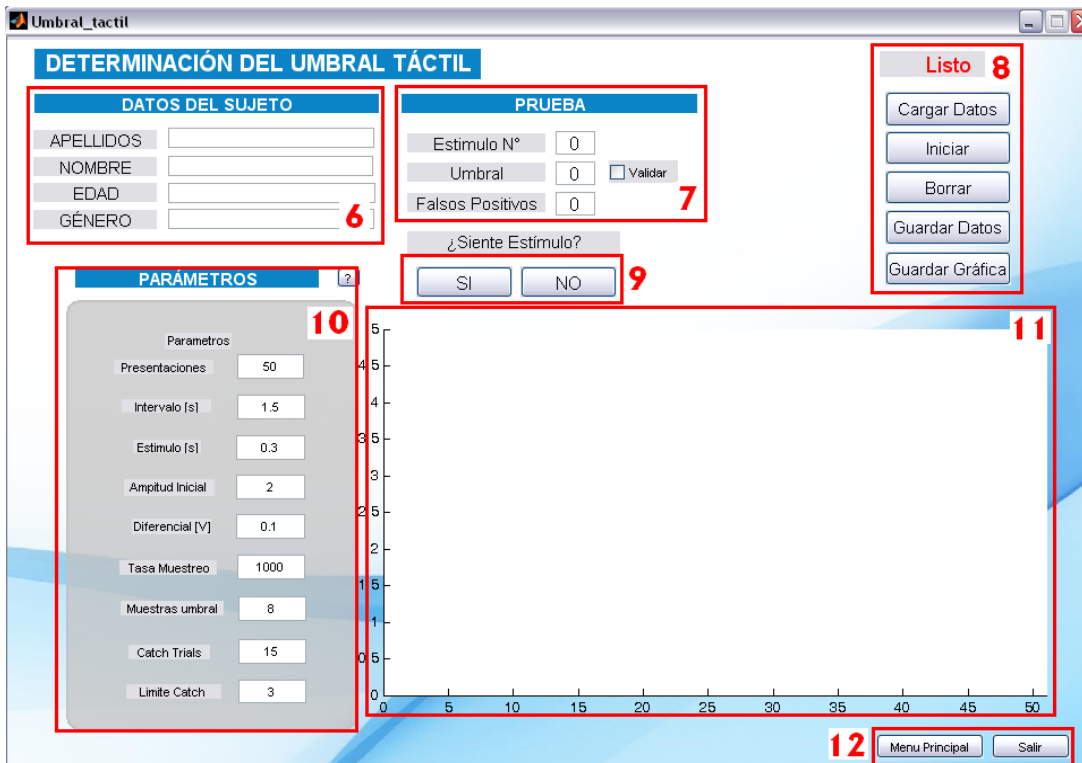
Desarrollo de un equipo de Estimulación

Características generales.-



67

Figura 46. Captura de pantalla del menú de inicio y la pantalla de creación de carpeta (Creación propia)



-
- 1.- **Indicador de Estado:** este cuadro de texto informa al usuario en que proceso se encuentra el programa. Se puede hallar en todas las ventanas de trabajo del software.
 - 2.- **Acceso a las pruebas:** cinco botones permiten al usuario ingresar a cada una de las pruebas de determinación. El orden de las botonerías es de acuerdo al protocolo de experimentación.
 - 3.- **Crear carpeta:** permite al usuario crear carpetas para gestionar los datos de los sujetos. Las carpetas creadas serán almacenadas dentro de la carpeta "Sujetos" la cual, si no está presente, será creada automáticamente.
 - 4.- **Salir:** permite al usuario cerrar el programa.
 - 5.- **Nueva Carpeta:** esta ventana aparecerá luego de hacer clic en el botón "Crear carpeta". Aquí, se debe especificar el nombre de la nueva carpeta.
 - 6.- **Datos del sujeto:** en esta área se deben rellenar los campos de apellidos, nombre, edad y género del sujeto de prueba.
 - 7.- **Información de la prueba:** en esta área se muestra información sobre: el número del estímulo presente, el umbral medido en la prueba actual o en una compatible, la cantidad de falsos positivos y el nivel óptimo de ruido (solo en la prueba de incerteza espacial). Además, se encuentra la casilla de verificación "Validar" la cual, una vez finalizada la prueba, debe ser activada si se quiere almacenar los datos.
 - 8.- **Opciones:** esta área permite al usuario: Cargar los datos guardados de un sujeto en la misma prueba o una diferente, Guardar los datos y la gráfica de un sujeto, Borrar la información ingresada en pantalla e Iniciar la prueba estimulando al sujeto.
 - 9.- **Botones de respuesta:** una vez que se haya estimulado al sujeto, este deberá responder a la pregunta ¿Sintió el estímulo?, donde el usuario deberá responder con estos dos botones. Cada botón almacena la respuesta y prepara el siguiente estímulo.
 - 10.- **Parámetros:** en esta sección, el usuario deberá configurar todos los parámetros relevantes para la prueba. La mayoría de los parámetros están previamente configurados según el protocolo de experimentación, pero algunos deberán ser modificados por el usuario seleccionando las opciones en los "menús desplegados" (sólo en algunas pruebas) o cargando datos de las pruebas ya realizadas.
 - 11.- **Área de gráfico:** en esta sección se presentará al usuario la gráfica de la prueba en ejecución. Cada vez que se responda a un estímulo, se graficará un punto de acuerdo a la respuesta.
 - 12.- **Menú Principal:** permite al usuario volver al menú principal para realizar otras pruebas, o simplemente cerrar el programa.