

# Audífonos electrónicos atenuadores para población con TEA

Guido Besozzi

**Resumen**—Este trabajo tiene como objetivo investigar las alteraciones auditivas en personas con trastornos del espectro autista, basándose en los principios física del sonido y técnicas de aislamiento acústico con el fin de diseñar unos audífonos que permitan superar estas limitaciones. Para ello se analizó sobre donde se encuentra la problemática de procesamiento auditivo basándonos el manual de diagnóstico estadístico de los trastornos mentales (DSM-V) en conjunto con las leyes de física del sonido y las tecnologías actuales de aislamientos acústicos activos y pasivos. Como conclusión llegamos a que sería posible la generación de un dispositivo de esta índole mediante la combinación y alteración de tecnologías ya utilizados para situaciones de personas que trabajan en ambientes en el que el ruido puede ser perjudicial para su sistema auditivo. El resultado de llevar a la practica un dispositivo de estas características podría aportar mucho a la población con TEA debido a que permitiría que puedan encontrarse en ambientes ruidosos, manteniendo la atención sin ser abrumados por los estímulos sonoros que no perjudican de igual manera a los neurotípicos, a los cuales nos encontramos acostumbrados.

## I. INTRODUCCIÓN

La población con trastorno del espectro autista o TEA, cuenta con hipersensibilidad a nivel estímulos sensoriales proveniente de un trastorno en el neurodesarrollo. Esto les dificulta la comunicación con otras personas, ya sea su familia o compañeros de ámbito. En casos de ambientes con muchos estímulos se ven abrumados debido a que su sistema neurológico no les permite discriminar entre ellos, siendo los estímulos auditivos algunos de estos y con una sensibilidad mayor o menor según cada caso.[1].Actualmente las soluciones utilizadas por familias, o especialistas, son las de la utilización de cascos protectores de sonido orientados al uso de trabajadores expuestos a altos niveles de presión sonora o se dejar de asistir a ciertos ambientes en los que el individuo se pueda exponer a estos niveles de sonido. En los últimos años han surgido avances tecnológicos en lo que respecta a sistemas de protección activo y pasivo de sonido[2]. Los sistemas pasivos son aquellos que buscan evitar que el sonido ingrese en el sistema auditivo mediante la utilización de técnicas como de materiales. Y los activos buscan a través de filtros digitales atenuar las señales de sonido según la configuración de los mismo.[3]. Para este trabajo deberemos combinar ambos con el fin de generar unos auriculares de protección auditiva electrónicos con micrófonos externos, que permitirán mediante la utilización de filtros digitales (protección activa) la reproducción del sonido externo, pero en los niveles aceptable para el individuo. Esto deberá ser configurado por un especialista con conocimiento en física del sonido que este en contacto con la persona que los utilizará, esto debido a que cada individuo cuenta con características sensoriales distintas. En la sección

III se explican las condiciones, características y diferencias del trastorno autista, como también sobre la física del sonido y la percepción auditiva humana. Se tratan estos temas con el fin de investigar métodos para atenuarlos. La sección IV habla de las características de los componentes a utilizar en el dispositivo a idear, hardware, software y detalles/explicaciones sobre algoritmos de cancelación de ruido. Y en la sección V se encuentra la conclusión.

## II. IDEA

Se busca idear y diseñar un dispositivo de modulación auditiva con el fin de facilitar las actividades diarias de la población con trastorno del espectro autista que sufra de Hipersensibilidad auditiva (Hiperacusia).

## III. ANÁLISIS

### III-A. Motivación

En los últimos años, el Trastorno del Espectro Autista (TEA) ha generado un gran interés en el mundo científico, logrando un aumento de investigaciones, tanto a nivel médico como a nivel tecnológico. Sin embargo, a pesar de las ventajas que presentan, en su mayoría, estas herramientas están pensadas para trabajar de forma individualizada con el sistema, olvidando el trabajar las relaciones sociales.[4] Un cambio en cómo perciben los estímulos puede permitir que esta población pueda acceder a ambientes en los cuales antes sufriría, como podría ser un aula con barullo, un centro comercial, o mismo permitirse encontrarse en un ambiente con un zumbido producido por una ventilación de un aire acondicionado/computador. etc. Siendo esto un cambio radical en su calidad de vida, permitiéndoles realizar un conjunto de actividades a las cuales antes no podrían asistir, como también permitirles compartir experiencias de las cuales se encuentran privadas.

### III-B. Marco teórico

Teniendo en cuenta la hipersensibilidad a los estímulos sensoriales auditivos que posee un gran porcentaje de la población con TEA, parte la idea de la generación un dispositivo auditivo de filtrado y atenuación de frecuencias, con el fin de mejorar la calidad de vida de estas. Se busca el diseño de unos auriculares que cuenten con cancelación de sonido externo, con micrófonos que recolecten el sonido ambiente y a través algoritmos de reconocimiento de voz y cancelación/modulación de frecuencias e intensidades de sonido, permita mejorar la calidad de vida de estas personas, permitiéndoles la comunicación sin ser abrumado por un

sonido del ambiente.[1]

Para esto es necesario saber cómo procesan los estímulos auditivos, hay que tener noción de que cada individuo posee características diferentes, [5] algunos pueden no soportar altos niveles de sonidos agudos, y otros puede que graves, o ambos. El dispositivo podrá contar con configuraciones a medida según la persona a utilizarlo y según los distintos ambientes en los que podría encontrarse, esto deberá ser tratado con un especialista en fonoaudiología que este en contacto con la persona que vaya a ser utilizarlo.

### III-C. DSM V: Manual de diagnóstico estadístico de los trastornos mentales

Los profesionales de la psicología y neurociencia utilizan el manual de diagnóstico estadístico de los trastornos mentales (DSM) para diagnosticar los distintos trastornos existentes entre los pacientes. Las versiones del DSM se marcan con números romanos, la última versión es la cinco, que será la relacionada por la investigación bibliográfica (DSM V).[6]

### III-D. Condición TEA: Definición y características del trastorno

El trastorno de espectro autista (TEA) es un trastorno heterogéneo del neurodesarrollo, tiene distintos grados y manifestaciones según el individuo. Se presentan anomalías sensoriales en un 90%, Una frecuente área afectada es la auditiva.

el TEA Suele reconocerse en fases tempranas de la niñez y se mantiene durante toda la vida, no obstante, sus conductas pueden ser modificadas mediante la experiencia y educación específica.[6] Las manifestaciones pueden tener causas genéticas o ambientales adquiridas. Estas últimas pudiendo ser provenientes de síntomas deben presentes en el desarrollo temprano, pero debido al déficit de comunicación que poseen algunos niños con TEA puede que no sean manifestadas hasta que las demandas del entorno excedan a las capacidades del niño [4], así también influyendo en las habilidades aprendidas, manifestando actitudes exuberantes o agresivas, como romper algún objeto, gritar o hasta generar laceraciones en su cuerpo.

Por estas razones desde la niñez temprana, el contacto con otros afecta casi todos los aspectos del desempeño de los pacientes. Las relaciones sociales varían desde un desajuste leve hasta una carencia casi completa de interacción, esto hasta con su propia madre. Esto lleva a que algunos pacientes sean por completo incapaces de responder al acercamiento físico de otros. Tienden a hablar con pocas señales físicas usuales que la mayoría de la gente utiliza como: contacto visual, sonrisas o movimientos de cabeza. Y generalmente carecen de interés general en otros individuos.

### III-E. Audio: frecuencias, intensidades

Conocer cómo funcionan los mecanismos físicos de emisión y recepción de sonido puede ayudarnos a entender

alternativas para la cancelación y modulación de los mismos. Para esto debemos comprender la forma en la que se emite, oye y, por ende, las frecuencias y las intensidades que podemos emitir y escuchar.

*III-E1. El sonido: definición de onda y propagación:* El sonido es una onda, esto es una perturbación de un medio. Las mismas transmiten energía, y existen de dos tipos: ondas mecánicas y ondas electromagnéticas. las ondas mecánicas requieren un medio de propagación, por ejemplo, el aire, sin este medio la onda no se propagaría. Y por otro lado las ondas electromagnéticas no requieren de un medio de propagación, estas pueden viajar en el vacío.

Ambas deberán ser tomadas en cuenta. Las mecánicas orientadas al fin del dispositivo de filtrado, y las electromagnéticas con el fin de privar al dispositivo de interferencias electromagnéticas mediante algún material aislante de las mismas.

*III-E2. La sensación auditiva: estímulos sonoros:* La sensación auditiva es un fenómeno asociado a la alteración de la presión atmosférica producida por la oscilación de partículas, a través de estas se transmite longitudinalmente la onda sonora. Si este es recibido por un receptor auditivo, pasa a ser evaluado como un estímulo sonoro. La onda sonora requiere de un medio para propagarse, dependiendo de las características de este medio, como: temperatura, densidad, elasticidad dependerá su velocidad de propagación, esto tendrá que ser tomado en cuenta para la propagación de sonidos externos mediante el aislamiento acústico pasivo.

*III-E3. El ruido:* Es una señal no requerida. El sonido no es ruido a menos que alguien lo escuche y lo encuentre desagradable. Por lo tanto, serán vibraciones que se encuentren en el rango de frecuencia de la capacidad auditiva.[7] Esto siendo variante según cada individuo. y estos rangos serán distintos en un neurotipo en comparación con un individuo con TEA. La relación es cambiante según el grado de hiperacusia, pero oscila como mínimo en 10dB en relación con la población neurotípica. Por esta razón se diseñaría el sistema para que pueda ser utilizado por un especialista en fonoaudiología que tenga contacto con la persona que utilizaría el dispositivo.

*III-E4. Variables de ondas de sonido: frecuencia, longitud y período:* Las ondas de sonido producidas por tonos puros generan una onda sinusoidal, en estas podemos diferenciar período, amplitud y longitud. (figura 1):

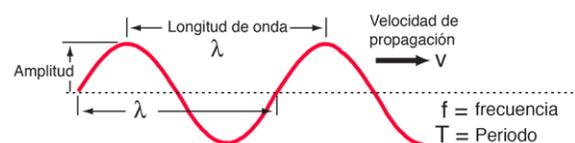


Figura 1: Variables pertenecientes a una onda.

**Período:** Es la duración que le toma a una partícula de aire completar un ciclo de onda.

**Longitud de onda:** es la distancia entre dos picos de onda, comúnmente se la representa con la letra griega  $\lambda$ . Esta se calcula en relación a la velocidad del sonido( $c$ ) y la frecuencia( $f$ ):  $c \div f = \lambda$

**Amplitud:** Representa la fuerza por unidad de superficie de las partículas del medio en un punto dado, o también llamada presión sonora. Sus unidades son los Pascales o Newton por metro cuadrado.

**III-E5. Frecuencia: El tono:** Es el número de oscilaciones que se repiten en el tiempo. Su unidad son los Hertzios, una frecuencia alta equivale a un tono agudo y una baja a un tono grave. El oído humano es más sensible a frecuencias agudas[8], que posteriormente deberemos identificar para minimizar estos estímulos:

-Tonos Graves: frecuencias bajas, desde los 16Hz a los 256Hz.

-Tonos Medios: frecuencias medias, desde 256Hz a 2kHz.

-Tonos Agudos: frecuencias altas, desde 2kHz a 16kHz.

**III-E6. El oído humano:** Su función es la de transformar las ondas de sonido en impulsos eléctricos que interpretara posteriormente el cerebro. La onda sonora impacta en la zona del odio e ingresa a el canal auditivo externo, que este lo comunicara con el tímpano. Esto sería de importancia para el posterior uso de aislamiento acústico pasivo, que consistirá en bloquear estas ondas con el fin de que no lleguen al tímpano. El oído humano percibe el sonido en escalas de 1 a 5.000.000 en el rango audible. Para el manejo de estos rangos se utiliza la unidad logarítmica conocida como el decibel. Así podemos reducir el rango audible a una escala logarítmica que va desde 0 a 140dB.[9]

### III-F. Rango de audición: Comprensión o dolor

El campo auditivo humano responde a una banda específica de frecuencias y un rango específico de intensidades.

El oído humano percibe frecuencias entre 20 Hz (tono más bajo) a 20 kHz (tono más alto) (figura 2).[10]

FUENTE SONORA	SPL (dB)	VALORACIÓN SUBJETIVA DEL NIVEL
Despegue de avión (a 60 m)	120	Muy elevado
Edificio en construcción	110	
Martillo neumático	100	
Camión pesado (a 15 m)	90	Elevado
Calle en ciudad	80	
Interior automóvil	70	
Conversación (a 1 m)	60	Moderado
Oficina, aula	50	
Sala de estar	40	
Residencia en la noche	30	Bajo
Estudio de grabación (desde afuera)	20	

Figura 2: Tabla con relación entre fuentes sonoras y decibeles generados.

El oído humano capta los niveles de intensidad acústica comprendidos entre 0dB (umbral) a 120-130 dB. Esto es cierto para el rango de frecuencia media (1-2 kHz). Para frecuencias más bajas o más altas, la dinámica se reduce.

En cada frecuencia, entre 20 Hz y 20 kHz, el umbral de nuestra sensibilidad es diferente. El mejor umbral (alrededor de 2 kHz) es cercano a 0 dB. También es en este rango medio de frecuencias donde la dinámica de la sensación es la mejor (120 dB). El área audible muestra el rango de sonidos más comúnmente utilizado en la percepción de la voz humana; cuando la pérdida de audición afecta esta área, la comunicación se altera. El área audible de una conversación es de 0 a 3kHz de frecuencia y de 20 a 80dB de intensidad. (figura 3)



Figura 3: Grafico que representa el rango audible según la amplitud y frecuencia del sonido.

A partir de los valores anteriormente nombrados, podremos partir de que el aislamiento acústico para amplitudes y frecuencias altas, y bajas, serán las importantes a reducir por el dispositivo a diseñar. Ya que estos mismos están fuera del rango audible y pueden producir molestias para parte de la población con TEA.

### III-G. Diferencias sensoriales de población con TEA

La falta de comunicación en personas con TEA (ya antes explicada) se ve también relacionada con la hipersensibilidad auditiva y con una problemática a nivel neurológico para la hipersensibilidad de estímulos, esto dificultando aún más el foco de atención. Llevaría a prestar atención a otros estímulos ignorando a los de mayor importancia.[5] A partir de lo antes nombrado, podemos llegar a la conclusión que filtrando distintas ondas de sonido que podrían no ser abrumadoras a un neurotipo, si podrían serlo para algún individuo con TEA, y resultados de estudios audiológicos muestran como según la edad y grado de daño neurológico[11] son variables a tomar en cuenta para configurar el filtrado activo del dispositivo.

## IV. COMPONENTES

### IV-A. Aislamiento acústico

Técnica que busca minimizar el ruido ambiental hasta que deje de ser perceptible. Puede ser dividido en Pasivo o Activo.[2]. Debido a las ventajas que poseen ambos sistemas,

buscamos una combinación eliminando así un rango más amplio de frecuencias.

**IV-A1. Pasivo:** Las técnicas pasivas son las que buscan evitar que el sonido ambiente ingrese a nuestro sistema auditivo, para lo cual se interponen materiales aislantes entre la parte externa del auricular, el auricular y el oído. Se busca utilizar como modelo un protector auditivo que filtre todos los tipos de frecuencia y a esto adaptarle un sistema de micrófonos direccionales que recreara el sonido externo modulado por un sistema activo de aislamiento, con el fin de filtrar la mayoría de las frecuencias.

Los filtros auditivos responden a distintos tipos de atenuación de dB según las frecuencias de sonido. el protector auditivo con electrónica. Estos proporcionan protección de manera no invasiva, aislando el oído de la fuente sonora, con un límite de audio externo de 82dB. (Figura 4) El protector auditivo externo debe contar con un circuito electrónico que permitirá conectar el protector con una fuente externa de audio de servicio, aquí entrará en acción el sistema de protección activa.

Índices de atenuación de sonido de protectores auditivos:

SNR = 27 dB      H = 29 dB      M = 23 dB      L = 19 dB

Sound attenuation / Schalldämmung

Frequency Frequenz [Hz]	Sound attenuation Schalldämmung [dB]	Standard deviation Standard Abweichungen [dB]	APV [dB]
63	17.0	4.6	12.4
125	16.7	3.1	13.6
250	20.7	3.9	16.8
500	23.6	2.5	21.1
1000	25.2	2.6	22.6
2000	31.7	4.1	27.6
4000	41.0	3.2	37.8
8000	41.6	5.7	35.9

Figura 4: Índices de atenuación de sonido de protectores auditivos.

SNR: Relación Señal Ruido

Frecuencias Altas: H

Frecuencias Medias: M

Frecuencias Bajas: L

De igual manera tiene mejor desempeño para las frecuencias altas y medias, pero no tanto así para bajas, aquí es donde entraran en juego los sistemas de protección activos.

**IV-A2. Activo: Sistema de Cancelación activa de ruido (ANC: Active Noise control):** Técnica basada en el principio de superposición de la teoría de las ondas. Esto permite que a través de la creación de una onda artificial que será sumada a la onda de sonido, que se desea reducir o cancelar. Esto es conocido por interferencia destructiva de ondas.

ANC es un filtro del tipo adaptativo: Estos procesan las señales digitales en tiempo real para adaptar su desempeño de forma iterativa, tomando las señales de entrada y salida, teniendo como variables del campo acústico: amplitud, fase y frecuencia, podremos tomar sus coeficientes de entrada y actualizarlos mediante un algoritmo adaptativo y obtener una respuesta/salida según el criterio configurado en el mismo.[7]

Para la utilización de ANC se requiere de un sistema que emplee procesamiento digital de señales, debido a que este podría ofrecer la velocidad y precisión suficiente para llevar a cabo las operaciones necesarias.

Interferencia destructiva de ondas: se recibe por el micrófono la señal ruido, esta es tomada por el procesador, el mismo generara una señal igual pero opuesta de fase, que al sumarla a la señal entrante se producirá la interferencia destructiva de ondas, que generara una señal limpia de ruidos (figura 5).

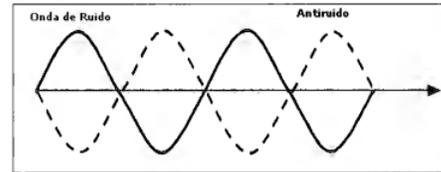


Figura 5: Principio de cancelación

En este sistema ingresan dos señales  $x(n)$  é  $y(n)$ , donde la  $y(n)$  será la señal de error, que se calculará a través de la resta entre la señal deseada  $d(n)$  y la salida del filtro  $s(n)$ . los coeficientes del filtro serán denominados  $w(n)$ , que serán los encargados de modificar la señal entrante.

Entonces:

$$s(n) = x(n) * w(n)$$

$$y(n) = d(n) - s(n)$$

El resultado de este algoritmo será que la señal de entrada sea lo más parecido a la señal deseada. El algoritmo de filtrado de entrada elegido fue el FxLMS, en el que todas las características antes nombradas influirán en el funcionamiento óptimo del sistema de control.

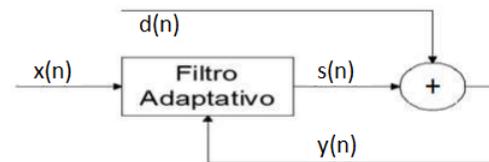


Figura 6: Funcionamiento digital de filtro adaptativo

#### IV-B. Aislamiento electromagnético

Con esto buscamos evitar la interferencia de radiación de ondas electromagnéticas de dispositivos electrónicos (ondas de radio, etc.), que provocaría el mal funcionamiento del dispositivo.

Estas interferencias podrían provocar desconexiones, inestabilidad, o pérdida de datos.

El método de evitar interferencias electromagnéticas viable para este dispositivo es el de líneas de transmisión aisladas magnéticamente[12], esto se lleva a cabo recubriendo el sistema electrónico con una malla metálica conectada a tierra, con el fin de reflejar esta energía hacia otro destino.

#### IV-C. Diseño ergonómico

Debido a que la hipersensibilidad puede darse también a nivel táctil, y para evitar una crisis provocada por ello, el

diseño del dispositivo es de una forma especial no invasiva, practica al guardarse y cuenta con la posibilidad de ajustarse a la nuca del usuario. Esto pudiendo permitirse a través del sistema de diadema, o naturalmente llamada bincha, esto acoplara las orejas y mantendrá la presión sin que moleste el peso del dispositivo sobre la cabeza.

#### IV-D. Hardware

*IV-D1. Procesamiento:* Como procesador de señal se elegido el modelo QCC304X del fabricante Qualcomm, estos cuentan con tres núcleos de procesamiento, permitiendo reducir los tiempos de procesamiento de los algoritmos, mejorar la duración de las baterías utilizadas y permite una programación completa sobre sus algoritmos de cancelación de sonido. Este procesador consume 65mAh de energía.

*IV-D2. Sensores: Micrófonos:* Se utilizarán micrófonos direccionales, estos son aquellos que captan el sonido en direcciones específicas, estos son más sensibles a captar sonidos en ciertas direcciones y nos permiten que los usuarios se centren en ciertos sonidos. Esto nos permite privar el ingreso de ruido de fondo. Permitiendo enfocarse en el habla u otros sonidos importantes. Debido a que un porcentaje de la población con TEA no puede distinguir entre estas señales. De esto partimos a que, si tenemos más de dos receptores de sonido, mejorara la direccionalidad del sonido, debido a que si la distancia es más chica entre los micrófonos nos permitirá que sean hipersensitivos. la direccionalidad de los micrófonos consiste en permitir la escucha proveniente del frente, pero ligeramente por los costados y por detrás. Estos micrófonos son conocidos como Subcardioides.[13] Se consideran mejores para utilizarlos en situaciones que se requiera la atenuación de ruido, en relación con los omnidireccionales (micrófonos que captan sonido en todas las direcciones).[14]

*IV-D3. Batería:* Como fuente de alimentación necesitaremos una batería recargable polímero de litio Li-ion con 610mAh y 3,7V, que nos permitirá un uso de 10 horas con una carga de 2 aproximadamente. Deberá contar con conexión a puerto de carga USB 3.0.

*IV-D4. Altavoz:* Los altavoces se encontrarán dentro del driver, al que se lo considera el tamaño del altavoz en cada auricular, esto se dará sobre un transductor que ocupe todo el pabellón auditivo, permitiendo atenuar los sonidos externos y permitiendo un sonido más claro y cercano a la realidad. A estos transductores se los llama circumaurales. Con respecto a la impedancia: esta es determinada por el diseño de las bobinas, la longitud y el tamaño del conductor de transmisión del dispositivo. Sería necesario un nivel medio de impedancia, debido a que los bajos niveles permiten altos niveles de ruido, pero pierde potencia, la cual será cambiante según las capacidades auditivas del individuo. Ósea que no

podremos apuntar a extremos, ni de alta ni de baja, deberemos manejarnos con impedancias entre los 20 y los 40 Ohmios. Se utilizarán 2 parlantes de 40mm con una impedancia de 32 Ohmios.

#### IV-D5. Materiales:

- Bincha de plástico
- Goma ajustable con medidas, pequeño, mediano, grande: con el fin de evitar molestias físicas.
- Almohadillas rellenas con espuma sintética: actuando como aislamiento acústico pasivo.
- Material plástico-goma anti golpe: esto debido a que algunos individuos de la población con TEA no comprenderían la sensibilidad del dispositivo, sea por edad o por capacidad.
- Tapa plástica para entrada USB: con el fin de que no ingrese suciedad o agua.
- 3 botones plásticos resistentes a golpes, uno de encendido y otros dos de configuración.
- Puerto USB 3.0 para carga y modificación de configuraciones.

#### IV-E. Software

*IV-E1. Algoritmos de modulación:* FxLMS(Filtered Least mean squared) - Algoritmo ANC: Cancelación activa de ruido. Ya nombrado en la sección Aislamiento acústico activo. Significa por sus siglas Mínimo medio de filtrado, debido a que permite configurar la Media de filtrado según las frecuencias ingresantes. Es un algoritmo AMC de filtro adaptativo.

*IV-E2. Tipos de configuración según ambiente:* Debido a las distintas variables como: grados de severidad de autismo, hiperacusia, edad o hasta otra área neurosensitiva dañada en el individuo. Se llega a la conclusión de que el dispositivo a idear deberá ser configurable para cada caso por un profesional con conocimiento del paciente, y que esto pueda ser regulado según el avance de la persona en su terapia, permitiendo configuraciones distintas según sus ubicaciones más comunes de uso en su vida.

También se llega a la conclusión de que el dispositivo debería contar con distintos tipos de configuraciones, según el ambiente donde se encuentre o donde valla a estar, siendo, por ejemplo, ambiente externo CALLE. Esta configuración tendrá las variables pertinentes en el filtro adaptativo (FxLMS) según las capacidades auditivas del individuo. Debido a que en algunos casos registran una activación de la vía auditiva por un estímulo de 10dB superior al umbral auditivo tipo.[15]

Estas configuraciones serán realizadas mediante la conexión del dispositivo vía USB, el cual tendrá un registro de valores almacenados según cada configuración, estos valores serán los límites audibles que procesara el algoritmo de reconocimiento. El profesional podrá regularlos según la situación deseada. Traemos a modo de ejemplo algunas configuraciones tipo que podría tener el dispositivo inicialmente.

- Hogar.
- Interno.
- Externo.

## V. CONCLUSIÓN

Se llega a la conclusión que la utilización de un dispositivo de este alcance sería muy favorable para la población con TEA, como también para personas con hipersensibilidad auditiva proveniente de daños en el sistema auditivo. Debido a que permitiría la reducción de presiones acústicas de 20dB a 30dB (dependiendo de las frecuencias entrantes) tan solo con la aplicación de aislamiento acústico pasivo, y reduciendo a los límites aceptables con el uso de aislamiento activo. Mediante su uso podrían acudir a distintos ambientes en los que antes no podrían encontrarse debido a la molestia que les generaría. Como También se llegó a la problemática de que el sonido se presenta siempre de forma compuesta, por lo tanto, contiene tonos mezclados de modo tal que en algunas situaciones no sería posible distinguir tonos puros audibles si el nivel de ruido supera o iguala a las frecuencias próximas. Como solución alternativa a esta problemática se pensó en el uso de un micrófono inalámbrico direccional que podría utilizar un responsable que se encuentre como responsable del individuo en estos casos. Este micrófono filtraría el sonido realizando ANC (control activo de ruido) y permitiendo que tan solo se oiga la voz del responsable de individuo. Esto podría ser un caso a ser estudiado en trabajos futuros.

## VI. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRAFICA

### REFERENCIAS

- [1] P. Sanz Cervera, M. Fernández Andrés, G. Pastor Cerezuela, I. Puchol Fraile, and E. Herraiz Llongo, "Relación entre el procesamiento sensorial y la severidad de la sintomatología en una muestra de niños con tea," *International Journal of Developmental and Educational Psychology*, 2014.
- [2] P. C. Parra, *Control activo del ruido: principios y aplicaciones*. Editorial CSIC-CSIC Press, 1997, no. 26.
- [3] A. S. Remón, "Trabajo fin de," Ph.D. dissertation, Universidad de Zaragoza, 2016.
- [4] N. A. Bartolomé, "Solución tecnológica para la detección precoz automática de trastornos del espectro autista en niños basada en serious games y tecnología eytracking," Ph.D. dissertation, Universidad de Deusto, 2016.
- [5] J. M. López-Frutos, M. Sotillo, P. Tripicchio, and R. Campos, "Funciones atencionales de orientación espacial, alerta y control ejecutivo en personas con trastornos del espectro autista= attentional functions of spatial orientation, alerting and executive function in individuals with autism spectrum disorders," 2011.
- [6] J. Morrison, *DSM-5® Guía para el diagnóstico clínico*. Editorial El Manual Moderno, 2015.
- [7] G. Aguayo and G. AGUAYO, "Sistema práctico de cancelación activa de ruidos monocanal."
- [8] A. Salazar, K. Salazar, and P. Z. Gallardo, "Déficit auditivo en niños y adolescentes."
- [9] A. M. J. Jaramillo, *Acústica: La ciencia del sonido*. ITM, 2007.
- [10] J. M. Merino de la Fuente, L. Muñoz-Repiso *et al.*, "La percepción acústica: física de la audición," *Revista de ciencias*, no. 2, pp. 19–26, 2013.
- [11] S. Vindrola Pasetta, "Percepción visual y auditiva en escolares con autismo en lima metropolitana: un estudio de casos," 2016.
- [12] Z. Arévalo Velosa, A. V. Sinitsyn, U. Castañeda, O. Alejandro, B. Camelo, and M. Hernando, "Una revisión del fenómeno de aislamiento magnético: A review of magnetic insulation," *Ingeniería e Investigación*, vol. 27, no. 3, pp. 159–171, 2007.
- [13] R. R. Rodríguez-Vargas and H. Perdomo-Velázquez, "Tecnología para captar el sonido: Una comparación de los micrófonos utilizados en bioacústica."
- [14] P. J. Blamey, H. J. Fiket, and B. R. Steele, "Improving speech intelligibility in background noise with an adaptive directional microphone," *Journal of the American Academy of Audiology*, vol. 17, no. 7, pp. 519–530, 2006.
- [15] L. E. P. Silva, "Autismo y síndromes autistas," *Autismos*, p. 20, 1999.