

# LAZOS DE INDUCCIÓN PARA MEJORAR EL CONFORT DE LAS PERSONAS HIPOACÚSICAS EN AUDITORIOS PÚBLICOS

---

V. Toranzos, C. Aquino, N. Frid, E. Ricciardi, O. Lombardero (\*)

**Resumen:** En el presente trabajo exponemos nuestra experiencia en el tema de lazos de inducción para ayuda a personas hipoacúsicas en áreas de uso común, en particular destinadas a la enseñanza.

Se exponen las condiciones básicas que deben cumplir estos sistemas y como conseguirlos así como la característica que deben reunir los amplificadores. Se brinda una explicación de como realizar mediciones de campo y se presenta una distribución típica y la manera como se ve afectada por diferentes objetos metálicos que se encuentren en el recinto.

**Palabras claves:** hipoacusia, lazo de inducción, baja frecuencia.

## Introducción:

Las personas hipoacúsicas, aun usando audífonos, encuentran dificultad para escuchar voces y sonidos en lugares donde hay ruido ambiente o en salas con acústica de mala calidad. Estos lugares pueden ser tiendas, supermercados, bancos, oficinas de correos, cines, teatros, salas de espera, de conferencias, etc.

Un sistema de lazo magnético (LM) puede ayudar a superar estos problemas, dado que el portador de un audífono con posición 'T' puede escuchar gracias al LM porque la señal se introduce directamente

en el audífono eliminando totalmente el ruido ambiente, reverberaciones, conversaciones cercanas, etc. Esta persona no necesita ningún receptor o cualquier otro equipo adicional, solo su audífono. El LM de consiste en un amplificador de audiofrecuencia conectado a una bobina en forma directa o mediante un transformador que actúa como adaptador de impedancias, ya que la bobina se elabora con muy pocas espiras alrededor del recinto, incluso puede ser una sola. Esta bobina se realiza mediante un cableado eléctrico, diseñado de forma particular para el área a cubrir y con el que se crea un campo magnético en frecuencia de audio en esa área de cobertura. Este campo debe cumplir con la norma internacional IEC 60118/4 [1] para garantizar la calidad objetiva del sistema. Las fuentes de audio y micrófonos de ese lugar se conectan al amplificador del bucle magnético, lo que permite inducir en la pequeña bobina telefónica (interna) del audífono y/o implante sin los problemas que produce la transmisión del sonido a través del aire, lo que garantiza la inteligibilidad de la voz y calidad del audio.

En la actualidad este tipo de sistemas es utilizado ampliamente a nivel mundial, sin embargo la utilización del mismo en nuestro país no fue mayormente difundida, aun existiendo reglamentaciones que obligan a su utilización en ciertos recintos

---

(\*) Grupo de Ingeniería en Rehabilitación, FACENA UNNE victoranzos@gmail.com

de concurrencia pública. Recientemente el INTI (INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL) [2] junto a diferentes facultades y escuelas técnicas intentan difundir esta tecnología en el país y tenerla disponible a un costo muy bajo respecto a los productos comerciales internacionales. El Grupo de Ingeniería en Rehabilitación (GRIER) se encuentra trabajando con el INTI a treves de un acuerdo de cooperación interinstitucional con el objetivo de optimizar este tipo de sistemas.

## LM, ASPECTOS TEÓRICOS:

El LM propiamente dicho consta de una o más espiras de alambre o cable que recorren el recinto tomando forma circular o rectangular. Principalmente existen dos disposiciones básicas, una es recorriendo el local a la altura de dintel o bien a nivel de suelo.

Respecto a la sección del conductor, y dado que el mismo es recorrido por corrientes de algunos amperes, conviene que la resistencia que éste ha de presentar en sus extremos sea lo más baja posible para evitar pérdidas de potencia por calentamiento. Sin embargo por otro lado es deseable una respuesta en frecuencia plana.

Dado que el espectro de frecuencias (f) útiles para la comprensión de palabra abarca desde los 300 Hz hasta los 3 kHz, si hacemos la reactancia inductiva igual a la resistencia del conductor a este último valor de frecuencia, obtendremos una respuesta en frecuencia aproximadamente plana entre 0 a 3 kHz. El módulo de la impedancia del LM (Z) esta dada por

$$Z = \sqrt{X_L^2 + R^2}$$

donde R es la resistencia del lazo y XL La reactancia inductiva. Para una espira circular, la inductancia (L) se puede calcular empíricamente como [3,4]

$$L = 7\mu_0 N^2 r$$

donde  $\mu_0$  es la permitividad del vacío, N el número de espiras y r el radio de la espira. El factor 7 se obtuvo para una espira de 1,5 m de radio y el error que se comete es del 10% para  $0,5 < r < 3$  m. La reactancia inductiva será de

$$X_L = 2\pi f L$$

y la resistencia del lazo

$$R = \frac{\rho 2\pi r N}{S_T}$$

donde r es la conductividad del alambre y es ST la sección transversal. Haciendo  $R=X_L$

$$S_T = \frac{\rho}{7\mu_0 f N}$$

Para un cable de cobre la resistividad es de  $1,7e-8$  Ohm m, a la frecuencia  $f=3$  kHz y  $\mu_0 1,26e-6$  se obtiene la sección del conductor en mm<sup>2</sup> de

$$S_T = \frac{0,64}{N} [mm^2]$$

De esta manera se aconseja para un lazo de una sola espira, una sección del conductor de 0,64 mm<sup>2</sup>, Como no es una sección normalizada se utiliza 0,75 mm<sup>2</sup> tal como lo recomiendan los fabricantes de amplificadores comerciales [5].

La corriente admisible de un conductor de 0,75 mm<sup>2</sup> supera los 4 A y para un LM

difícilmente se sobrepasen los 3A RMS.

También se presenta el problema de la impedancia mínima que soporta la salida del amplificador de audiofrecuencia, pero generalmente se halla contemplada en el acoplador de salida [6].

A modo de ejemplo hallemos la corriente requerida para alimentar el LM constituido por una espira circular de radio  $r$  y alejada del receptor una distancia  $z$ . El campo que genera esta espira en el receptor es

$$B = \mu_0 i N \frac{r^2}{(r^2 + z^2)^{3/2}}$$

y se requiere una corriente ( $i$ ) de 2 A para alcanzar el valor de 0,5 mT requerido por la norma IEC 60118/4 tomando  $r=1,5$  m y  $z=1$  m.

Para la mayoría de los fines prácticos se puede analizar el LM con un modelo de espira circular, si embargo si se requiere mayor detalle puede realizarse el cálculo completo de la espira rectangular [6].

### Metodología :

Los LM para transmisión de sonido a baja frecuencia funcionan con una intensidad de campo magnético de 400 mA/m (0,5 mT) a una frecuencia media de 1 kHz.

El instrumento utilizado para su verificación consiste en una bobina de inducción con núcleo de aire, que trabaja en forma resonante con un capacitor en la frecuencia de 1 kHz [7]. Se pueden encontrar instrumentos comerciales para realizar esta medida [5] o confeccionarlos en el laboratorio [7,8].

Ya sea con un instrumento comercial o

con un instrumento de construcción propia, es conveniente disponer de algún sistema de calibración. Esto puede realizarse mediante una bobina de Helmholtz [9], que consiste en dos bobinas cuyo radio es igual a la distancia que las separa. Esto hace que el campo magnético en su interior resulte prácticamente uniforme y sencillo de calcular a partir del radio, el número de espiras y la corriente que atraviesa la bobina.

La calibración se realiza introduciendo la bobina de sensado entre la bobina de Helmholtz. Se alimenta esta última mediante un generador de señales ajustado a 1kHz y se mide la corriente con un amperímetro de alterna. El procedimiento de calibración permite determinar tanto la constante de proporcionalidad como también la linealidad del instrumento [8].

La bobina de inducción se ubica perpendicular al área que contiene al LM, de manera de medir el campo en la dirección del eje Z alineado con la vertical.

Para realizar esta medida se adopta un soporte que permita establecer una altura fija de 1,2 m y mantenga a la bobina del instrumento alineado con el eje Z.

Para verificación, de acuerdo a la norma IEC 60118/4, basta alejarse un metro de las paredes y se deberá medir más de 400 mA/m en el instrumento, al aplicarse un tono de 1 kHz en la entrada del amplificador del LM.

Para obtener la distribución del campo magnético en el eje Z se requiere trazar una grilla en el área de medición, la cual servirá de guía al momento de realizar el relevamiento. Con el instrumento ubicado aproximadamente en el centro del aro, se alimenta el amplificador con una señal de 1kHz aumentando la amplitud hasta lograr

el nivel de los 400 mA/m. Una vez realizado esto y constatando que la señal es estable, se procede a medir en cada punto de la grilla volcando estos datos a una tabla para posteriormente graficarlos.

Si bien existen en el mercado ofertas de amplificadores para LM, es interés del INTI y otros organismos públicos la existencia de opciones de construcción local. Nuestra experiencia nos llevó a proponer dos tipos posibles de amplificadores para lazos magnéticos. La primera opción consiste en un amplificador de audiofrecuencia de uso común, que se encuentra preparado para alimentar una carga de 4 W y adaptar su salida mediante un transformador con núcleo de hierro a la impedancia del lazo, que es de aproximadamente 0,1W [6]. Si bien las corrientes son grandes la potencia requerida para una habitación de 3 m de lado es de unos pocos vatios.

Otra alternativa explorada es la de utilizar amplificadores de audiofrecuencia clase D [10], estos permiten alcanzar grandes corrientes de manera que los transistores de salida disipen una potencia mínima por trabajar en el modo de conmutación.

## Resultados:

Se han realizado diferentes instalaciones de LM en locales con superficies no mayores a los 10 m<sup>2</sup> ubicando el lazo por arriba del nivel de dintel. Por cuestiones estéticas y mecánicas se lo instaló con un cable canal. Se alimentó el LM con amplificadores adaptados especialmente a este uso de la manera como se explicó anteriormente. Como fuente de señal se utilizó un generador de señales ajustado a 1 kHz para el relevamiento del campo, y una fuente de sonido que contenía voz (recepción de radio FM). Mediante un audífono con bobina telefónica se pudo comprobar el volumen y calidad de audio de manera cualitativa.

Se realizó el relevamiento de campo de estos ambientes trazando una grilla con un espaciado de 30 cm entre puntos y se observó la influencia de partes metálicas en la distribución de campo. En especial se determinó que los marcos metálicos de las ventanas, por constituir circuitos cerrados que permiten la existencia de corrientes parásitas, son los que más afectan a la distribución, no así los marcos de puertas que son un circuito abierto en el extremo inferior.

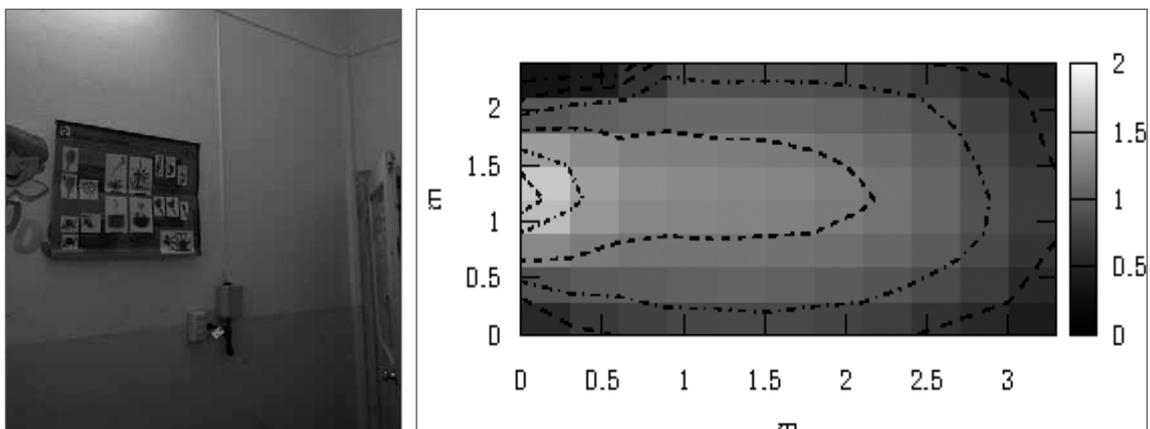


Fig 1 A la izquierda instalación del LM (amplificador y lazo). A la derecha el diagrama de distribución del campo magnético en la dirección Z, a 0,5 uT)

Se pudo constatar que los valores de corriente que requiere el LM para cumplir con la norma IEC 60118/4 para estos recintos es de aproximadamente 2 A RMS.

En la Figura 1 se puede observar a la izquierda, la instalación del LM con su amplificador, y a la derecha la distribución de campo correspondiente. Los valores se encuentran normalizados a 0,5 uT.

Sobre el eje de la izquierda en la gráfica

de la distribución, se puede observar que el campo aumenta. Esto es debido a la presencia de una ventana metálica. El campo en la vertical del conductor no tiene componente Z pero las corrientes parásitas en la cercanía de la ventana si la tienen, de manera que al acercarnos a ella el campo en Z aumenta. Por otro lado a la izquierda y arriba se observa una zona oscura, debido a la presencia de un armario metálico que apantalla el campo.

## Bibliografía:

- [1] TACA SYSTEMS. “Nueva Norma IEC 60118/4:2006”. Electroacoustics - Hearing aids - Part 13: Electromagnetic compatibility (EMC).
- [2] <http://www.inti.gov.ar/sabercomo/sc56/inti7.php>
- [3] Simon Ramo “Campos y Ondas” Pirámide S.A., ISBN: 84-386-00060, 1974
- [4] Sears Zemanski “Física Universitaria”, Pearson Prentice Hall. ISBN 9786074423044. 2009.
- [5] <http://www.hearinglossrhelp.com/loopinfo.htm>
- [6] E. Ricciardi, C. Aquino, V. Toranzos, M. Cáceres, O. Lombardero, “Sistema de lazos de inducción para personas con discapacidad auditiva”, II Jornadas de investigación en ingeniería del NEA y países limítrofes ISBN: 978 – 950 – 42 – 0142 – 7, 2012.
- [7] J. Gallardo, “Dispositivo electrónico de ayuda para personas hipoacúsicas”, Proyecciones, Vol. 9, N°2, Pag. 67, 2011.
- [8] C. Aquino, V. Toranzos, M. Cáceres, E. Ricciardi y O. Lombardero, “Medidor de intensidad de campo magnético para lazos de inducción”, SABI, Vol. 19, N°1, Pag. 3, 2013
- [9] J. Vrbanich, “Magnetic field distribution and design of helmholtz coils”, DTIC, 1991
- [10] V. Toranzos, C. Aquino, M. Cáceres, E. Ricciardi, O. Lombardero, “Amplificadores clase D como fuente de señal para aros magnéticos”, III Jornadas de investigación en ingeniería del NEA y países limítrofes ISBN: 978 – 950 – 42 – 0157 – 1, 2014.