

TEMA 5: IMPEDANCIA ACÚSTICA**5.1. DEFINICIÓN DE IMPEDANCIA ACUSTICA**

Se puede definir la impedancia acústica Z_A en módulo como el cociente entre la presión y la velocidad volumétrica.

$$Z_A = \frac{P}{u} \quad [1]$$

donde:

P = presión.

U = velocidad volumétrica.

El módulo de la impedancia acústica está definido por dos componentes vectoriales: la resistencia acústica (R_a) y la reactancia acústica (X_a), tal y como se ilustra en la figura 1.

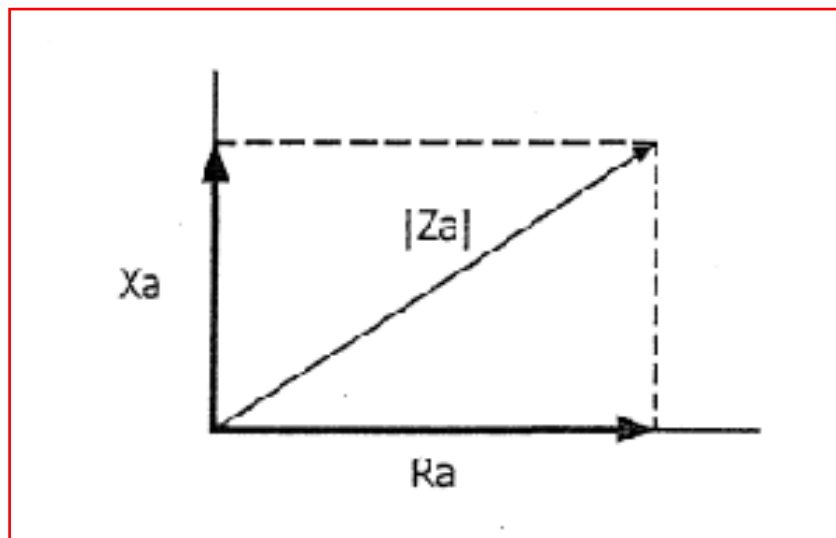


Figura 1: Representación vectorial de la impedancia acústica.

$$Z_A = R_a + jX_a \quad [2]$$

$$|Z_A| = (R_a^2 + X_a^2)^{1/2} \quad [3]$$

La reactancia acústica X_a se debe al efecto combinado de la reactancia de masa X_{am} y al de la reactancia de rigidez X_{ac} .

$$X_a = X_{am} - X_{ac} = \omega \cdot M_a - \frac{1}{\omega \cdot C_a} \quad [4]$$

donde:

X_a = reactancia acústica.

X_{am} = reactancia de masa.

X_{ac} = reactancia de rigidez.

M_a = masa acústica.

C_a = compliancia acústica.

ω = pulsación angular ($2\pi f$).

La **compliancia acústica** también se define como el inverso de a rigidez acústica:

$$C_a = \frac{V}{\rho \cdot c^2} \quad [5]$$

donde:

C_a = compliancia acústica.

V = volumen.

ρ = densidad.

c = velocidad de propagación.

En consecuencia, la impedancia acústica queda de la forma mostrada en la ecuación [6].

$$|Z_A| = \sqrt{R_a^2 + \left(2 \cdot \pi \cdot f \cdot M_a - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_a}\right)^2} \quad [6]$$

Si $X_{am} > X_{ac}$ el ángulo de fase es positivo, mientras que si $X_{am} < X_{ac}$, entonces la fase es negativa.

Sin embargo, a una determinada frecuencia, se puede encontrar que la reactancia acústica X_a es cero, por lo que se dice que el sistema está en **resonancia**:

$$2 \cdot \pi \cdot f \cdot M_a = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_a} \quad [7]$$

Si se despeja la frecuencia:

$$f_{res} = \sqrt{\frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot M_a \cdot C_a}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_a \cdot C_a}} \quad [8]$$

Por lo tanto, a la frecuencia de resonancia, se anulan los efectos de masa y rigidez del sistema.

Para poner en resonancia el sistema del oído medio, y permitir que sólo se tenga en cuenta la resistencia acústica cuando se valora la impedancia del oído medio, se utiliza un tono de una frecuencia 226 Hz, que es el escuchado cuando introducimos la sonda del impedanciómetro en el conducto auditivo.

5.2. ADMITANCIA, SUSCEPTANCIA Y COMPLIANCIA

Se denomina **movilidad acústica** o **admitancia acústica** Y_a , al inverso de la impedancia acústica Z_a :

$$Y_a = \frac{1}{Z_a} = \sqrt{G_a^2 + B_a^2} \quad [9]$$

donde:

G_a = conductancia.

B_a = susceptancia.

$$G_a = \frac{R_a}{(R_a^2 + X_a^2)} \quad [10]$$

$$B_a = \frac{X_a}{(R_a^2 + X_a^2)} \quad [11]$$

En los sistemas controlados por rigidez, para frecuencias bajas del orden de 220 Hz, se cumple que $X_{am} \ll X_{ac}$.

Y por lo tanto:

$$X_a \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_a} \quad [12]$$

Y también se cumple que $X_a \gg R_a$.

Por lo tanto:

$$B_a = \frac{X_a}{(R_a^2 + X_a^2)} \approx \frac{1}{X_a} \approx 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_a \quad [13]$$

$$G_a = \frac{R_a}{(R_a^2 + X_a^2)} \approx 0 \quad [14]$$

$$Y_a \approx B_a \approx 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_a \quad [15]$$

Por lo tanto, a bajas frecuencias se cumple que:

Admitancia \approx Susceptancia \approx Compliancia

5.3. COMPORTAMIENTO FÍSICO DEL OÍDO MEDIO

El oído medio está compuesto de una cavidad cerrada por el tímpano con respecto al oído externo y por las ventanas oval y redonda hacia la cóclea, que contiene una estructura de ventilación (trompa de Eustaquio) que comunica con la rinofaringe.

Este sistema presenta una impedancia acústica (dificultad que se ofrece al paso del sonido hacia el oído interno), que también afecta al paso del sonido desde el oído interno hacia el oído externo, y que es de interés para el estudio de las oto emisiones acústicas.

↳ **El estudio de la impedancia acústica permite valorar la incidencia de las patologías del oído medio.**

El comportamiento mecánico del oído medio se verá afectado en función de diferentes categorías de patologías que lo afecten:

- ↪ **Aumento de rigidez en el sistema.** Cuando una determinada patología introduce un aumento de rigidez en el sistema, se obtiene un incremento de la impedancia de la cavidad de oído medio y, en consecuencia, el sonido encontrará una mayor dificultad a su paso por dicha cavidad. Las curvas impedanciométricas resultantes presentarán una disminución de la movilidad o admitancia, lo cual se traducirá en una pérdida de audición que puede ser de frecuencia variable.
- ↪ **Disminución de la rigidez del sistema.** Existen patologías como la luxación de la cadena osicular, que provocan una disminución de la impedancia y, en consecuencia, un aumento de la movilidad de la membrana timpánica. A pesar de que se produce una disminución de la impedancia acústica, este hecho también se traduce en una pérdida de audición, puesto que al estar interrumpida la cadena osicular, se produce una dificultad en la transmisión del sonido hacia el oído interno.

- **Cambios de presión en la caja timpánica.** Cuando la presión que se tiene en caja no se corresponde con la presión atmosférica, se produce un desequilibrio. En el caso de que la presión en caja sea inferior a la presión atmosférica, se producirá una retracción de la membrana timpánica hacia el interior de la caja, lo que provocará aumentos de impedancia acústica y, en consecuencia, una pérdida de sensibilidad auditiva. La patología más representativa de las presiones negativas en caja es la **hipo ventilación tubárica**.

Si la presión en caja es superior a la atmosférica, el abombamiento del tímpano se realiza hacia el oído externo. Por ejemplo, un individuo que padezca una permeabilidad tubárica deficiente experimenta un desequilibrio al disminuir la presión en la cabina de un avión durante el despegue, que su trompa de Eustaquio no es capaz de compensar.

5.4. IMPEDANCIOMETRÍA

La impedanciometría es el estudio de la impedancia acústica, que es la resistencia que el oído medio opone a la propagación del sonido. Se trata de un examen objetivo que proporciona información del estado del oído medio, por lo que nos ayuda a aclarar diagnósticos diferenciales, básicamente en hipoacusias de conducción, ya que estudia en su mayor parte la función del oído medio.

La impedancia depende de la masa, la rigidez y el rozamiento. El examen se realiza con un aparato electrónico llamado **impedanciómetro**, que tiene como principio el envío de un tono de 226 Hz al CAE, que permite colocar las estructuras del oído medio en resonancia, es decir, en estado de baja impedancia, y observar la facilidad o dificultad que tiene el oído medio en la transmisión del estímulo sonoro.

En un oído normal, la admitancia acústica (o movilidad timpánica) es máxima cuando la presión del CAE es cercana a la presión ambiental, y disminuye a medida que la presión aumenta o disminuye, de esta forma se obtiene la **curva de tímpano grama**, que tiene forma de colina.

Específicamente, con este examen se obtiene información acerca de la presión del oído medio, función de la trompa de Eustaquio, integridad y movilidad de la membrana timpánica, y continuidad de la cadena osicular. La admitancia acústica es máxima cuando se tiene la misma presión a ambos lados del tímpano, de esta forma el pico de la curva nos indicará la presión del oído medio.

Además, la impedanciometría proporciona información del reflejo acústico. En efecto, cuando se estimula el oído con un sonido fuerte, se produce la contracción del músculo del estribo, lo que se traduce en un aumento de la rigidez de la cadena osicular y un incremento de la impedancia del sistema. El estudio del reflejo acústico permite obtener datos sobre el diagnóstico audio lógico diferencial, pero en el caso de las sorderas neurosensoriales, puede ofrecer información sobre la manifestación de un posible umbral de incomfort cercano.

El instrumento para la evaluación de las impedancias del oído medio se denomina **impedanciómetro**; sin embargo, en realidad se trata de un instrumento que mide las admitancias del oído medio.

En la figura 2 se ilustra un esquema de un admitancímetro moderno

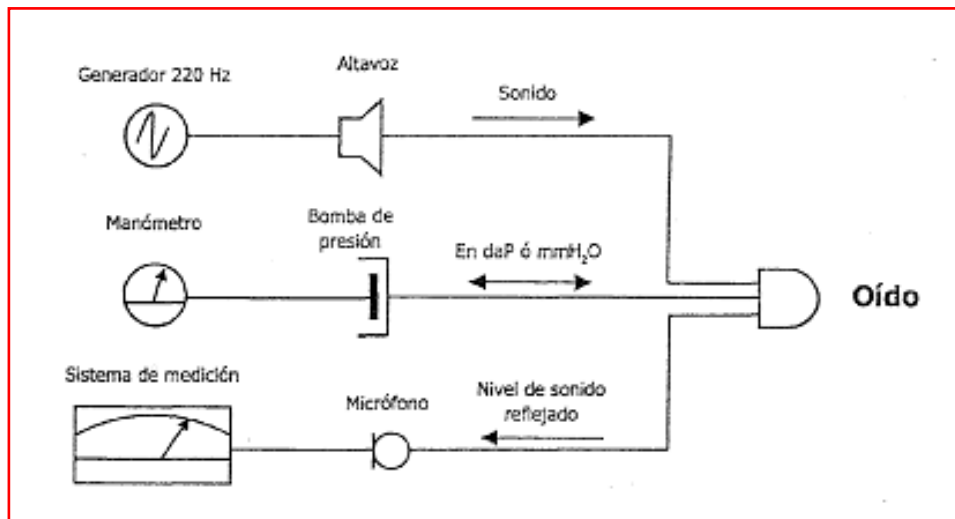


Figura 2: Admitancímetro moderno.

Los impedanciómetros trabajan en base a lo que se denomina puente electroacústico.

El impedanciómetro de primera generación trae una cánula auricular, provista de tres tubos finos que se ajustan estrechamente al conducto auditivo externo.

El primero está comunicado a un generador integrado en el instrumento y envía por el conducto auditivo un sonido de frecuencia fija (220 Hz) que moviliza al tímpano, mientras una onda reflejada residual queda retenida en la cavidad.

El segundo tubo, gracias a un sistema de detección, mide esta onda de reflexión, cuyo valor es inversamente proporcional a la energía sonora absorbida por el oído.

El último tubo está en relación con una bomba que hace variar las presiones en el conducto herméticamente cerrado por la cánula.

Un electromanómetro indica el nivel de presión y permite verificar la calidad del sello.

5.4.1. IMPEDANCIA DINÁMICA

Es el estudio de las variaciones de la compliance en función de alteraciones artificiales del sistema tímpano-oscicular. Se dispone de un modo de acción para alterar sus características físicas: la modificación de la presión del aire en el conducto (timpanometría). Se somete al tímpano a presiones del aire variables y se anotan las variaciones simultáneas de la compliance. El máximo de flexibilidad timpánica se obtiene cuando las presiones endo y exo timpánicas están equilibradas.

El resultado de la prueba se lleva a una gráfica cuya abcisa lleva las presiones de aire negativas y positivas, mientras que en la ordenada se anotan los valores crecientes de la compliance. Se definen así, siete gráficas tipo:

1. **Oído normal**: la curva de compliance dibuja un peak agudo, centrado sobre la presión 0 (tipo A).
2. **Obstrucción tubárica simple**: el peak se desplaza hacia la zona de presiones negativas (tipo C).
3. **Obstrucción tubárica y presencia de serosidad o mucosidad en la caja**: el peak disminuye, ubicándose a nivel de presiones fuertemente negativas (tipo Cs).
4. **Oído medio totalmente obstruido por secreciones**: timpanograma plano, ausencia de peak en razón de la extrema rarefacción aérea en el oído medio (tipo B).
5. **Otoesclerosis**: el peak queda centrado en la presión 0, pero disminuye en amplitud (tipo As).
6. **Ruptura o interrupción de la cadena osicular**: importante aumento de la amplitud del peak de compliance (tipo Ad).
7. **Tímpano cicatricial**: una perforación cerrada por una membrana monomérica puede dar dos peak de compliance.

En el esquema del admitancímetro, se pueden observar tres bloques perfectamente diferenciados:

- ↪ En el **primer bloque** se tiene un generador de sonido que, a través del altavoz, introduce el tono de prueba en el interior del conducto auditivo. Este tono colocará el sistema en resonancia para evaluar así la cantidad de sonido reflejado, para la medida de la movilidad timpánica.

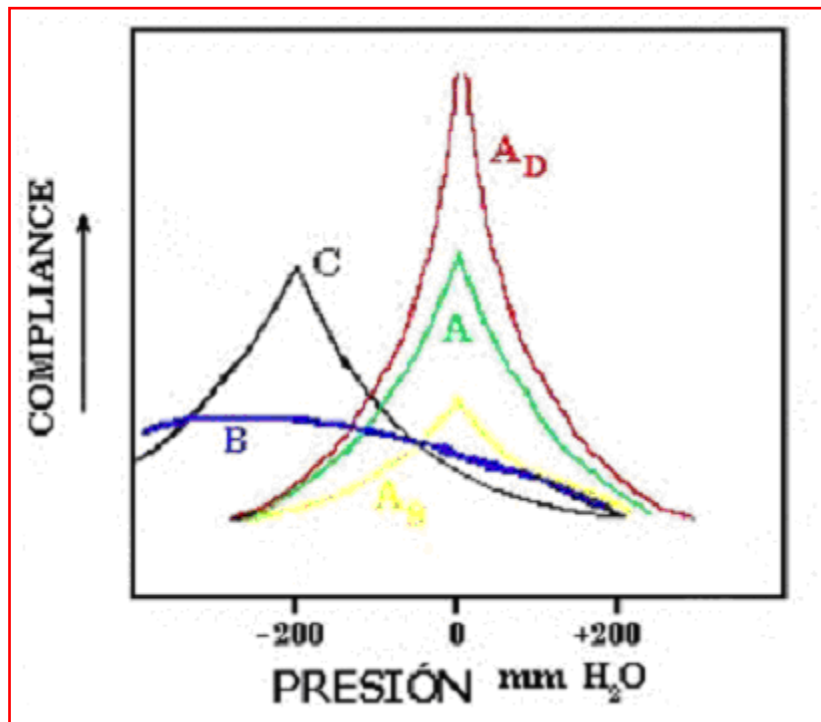


Figura 3: Gráfica representativa de los valores de compliance

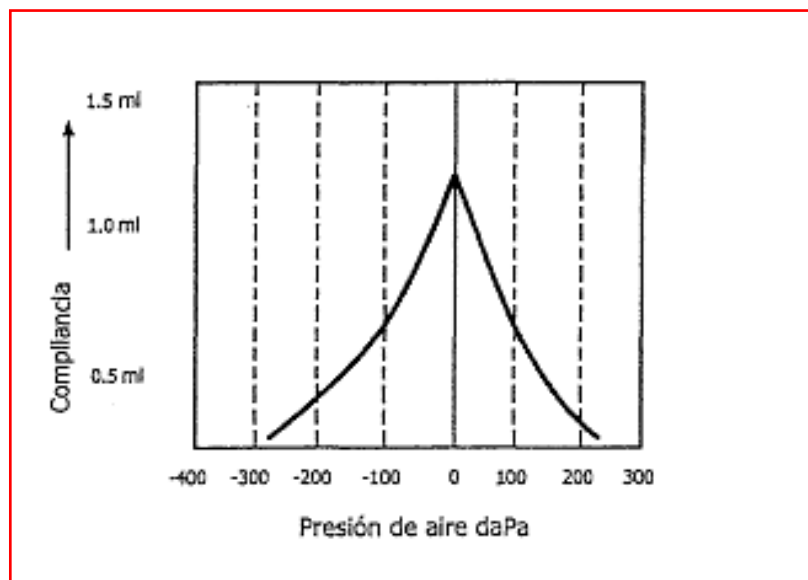


Figura 4: Tipo 1. El pico de la curva se encuentra en el cero, lo que indica que la presión en el oído medio es igual a la del exterior.

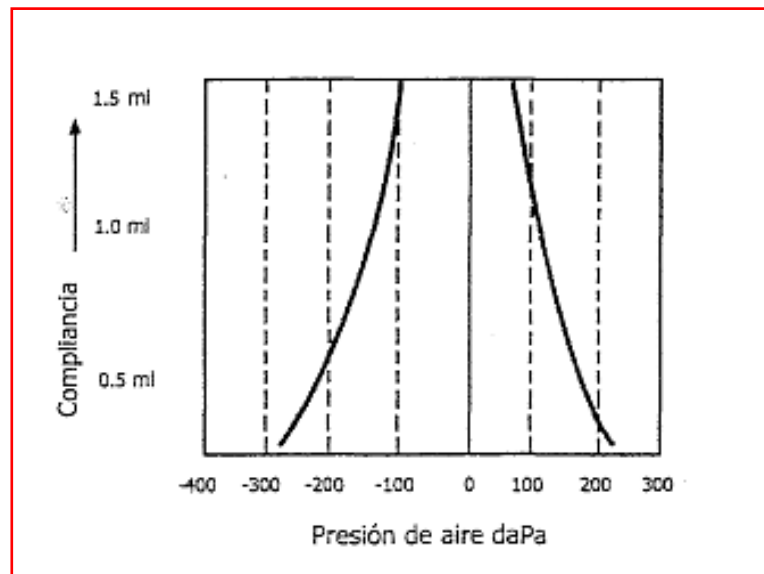


Figura 5: Tipo I-a. El pico permanece en 0, pero la curva es muy alta, lo que indica que hay una baja impedancia o resistencia al paso de la energía acústica. Esto se ve, por ejemplo cuando hay discontinuidad de la cadena osicular.

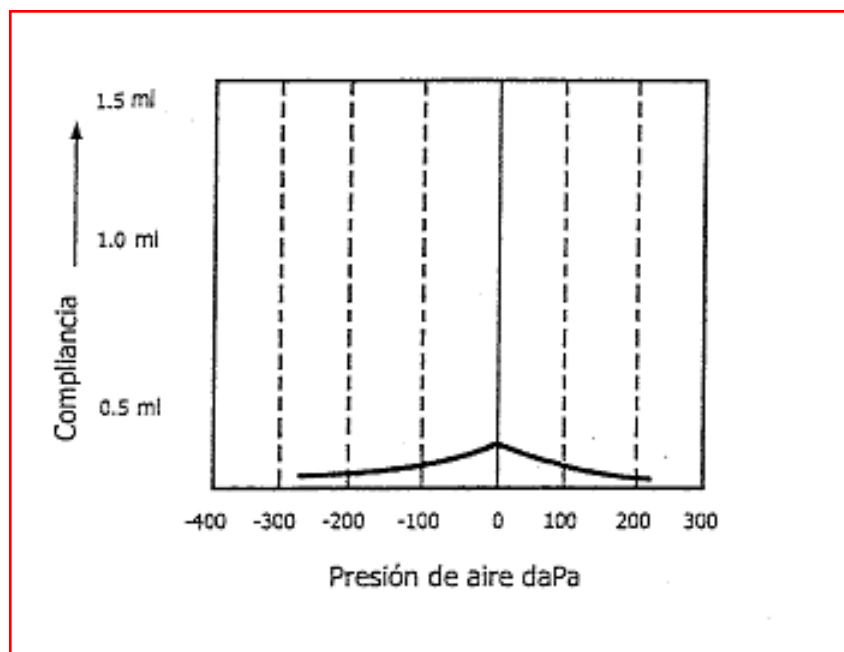


Figura 6: Tipo I-b. El pico permanece en 0, pero existe una gran resistencia al paso del sonido. Este hecho se da, por ejemplo, en la fijación de la cadena osicular.

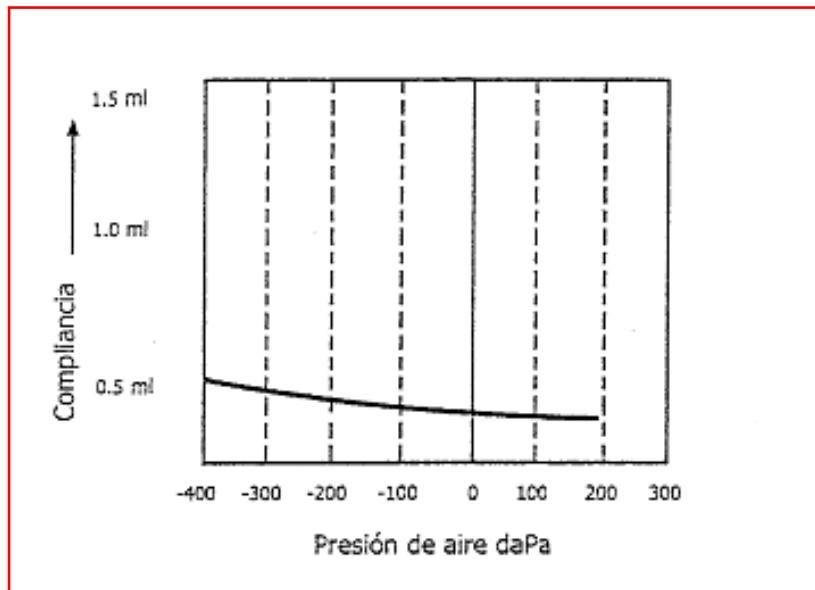


Figura 7: Tipo II. La curva es plana, lo que indica que no existe un punto de máxima compliancia. Se observan en otitis media con efusión, masa dentro del oído medio y también en perforación timpánica (si hay cierre de la trompa de Eustaquio).

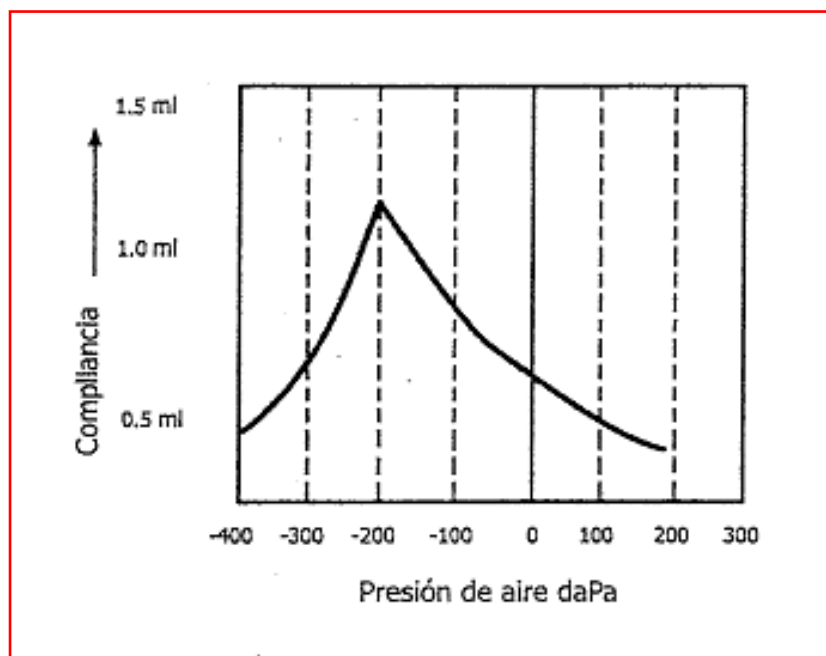


Figura 8: Tipo III. El pico se encuentra desplazado hacia presiones negativas, lo que indica una presión menor que la ambiental en la cavidad del oído medio. Se ve en los casos de disfunción de la trompa de Eustaquio.