

Calculadora acústica para docentes

Modelos físicos, fuentes empíricas y lógica de cálculo.

Documento de referencia para revisión técnica.

Versión del documento: julio 2026
Calculadora: <https://acusticaescolar-star.github.io/calculadora-acustica/>
Preparado para revisión por ingeniería acústica
Estructura: 3 niveles de profundidad (resumen → fórmulas y fuentes → pseudocódigo auditable)

Índice

Nivel 1 — Resumen ejecutivo del enfoque

- Propósito de la herramienta y público objetivo
- Cadena de cálculo de un vistazo
- Limitaciones declaradas

Nivel 2 — Fórmulas aplicadas y fuentes

- 2.1 Tiempo de reverberación (Sabine inverso)
- 2.2 Claridad C50 (modelo de campo difuso)
- 2.3 Ruido de fondo ocupado (suma energética)
- 2.4 Carga vocal docente (efecto Lombard)
- 2.5 Reconocimiento de palabras — datos directos (Finitzo-Hieber & Tillman)
- 2.6 Reconocimiento de palabras — perfiles estimados (IC, TEA)

Nivel 3 — Pseudocódigo auditable

- 3.1 Geometría y TR estimado
- 3.2 Absorción y TR con tratamiento — coeficientes por material
- 3.3 Ruido de fondo y SNR
- 3.4 Interpolación bilineal de la tabla WRS
- 3.5 Validación empírica realizada

Referencias bibliográficas completas

Qué hace la calculadora y por qué

La herramienta traduce cuatro parámetros de entrada que un docente puede estimar o medir con su móvil — dimensiones del aula, tiempo de reverberación, ruido de fondo y número de alumnos— en tres salidas con significado directo para la práctica docente: el porcentaje de palabras que comprenden distintos perfiles de alumnado, el nivel de esfuerzo vocal del profesor, y el coste comparado de dos intervenciones (tratamiento acústico autoinstalable vs. recursos de apoyo a la inclusión).

El público objetivo no tiene formación técnica en acústica. Por ese motivo el modelo prioriza la sensibilidad correcta de las variables y la coherencia direccional de los resultados (monotonía, ausencia de artefactos contraintuitivos) por encima de la precisión absoluta en tercer decimal. Toda estimación está etiquetada como tal, y el modelo está validado empíricamente contra mediciones reales publicadas en el blog (ver §3.5).

Cadena de cálculo de un vistazo

```

Dimensiones del aula → TR estimado (Sabine inverso + mobiliario)
|
▼
TR + % cobertura de paneles + material (α) → TR con tratamiento (Sabine, A_tot)
|
▼
TR → Claridad C50 (modelo de campo difuso, Barron/ISO 3382)

RF interior + nº alumnos + absorción → RF ocupado (suma energética)
|
▼
RF ocupado → Voz docente (efecto Lombard, umbral 45 dBA)
|
▼
Voz - RF → SNR (relación señal/ruido, clampeada a [0,15] dB)
|
▼
TR + SNR → % palabras comprendidas (interpolación bilineal sobre
tabla empírica Finitzo-Hieber & Tillman 1978, o tabla
derivada para perfiles IC/TEA)

```

Limitaciones declaradas al usuario

VALIDEZ DEL MODELO DE TR ESTIMADO

Calibrado y validado ($\pm 0,10$ s de error medio, $n=3$) únicamente para aulas convencionales de construcción española de los años 80 con mobiliario escolar duro estándar. **No es válido** para espacios con mobiliario blando, alfombras o paneles absorbentes preexistentes (aulas del futuro, aulas taller, nueva construcción tratada acústicamente). En esos casos la medición directa con app de móvil es la única fuente fiable, y la calculadora lo indica explícitamente en la interfaz.

INCERTIDUMBRE DE LOS PERFILES ESTIMADOS

Los perfiles de implante coclear (IC) y trastorno del espectro autista (TEA) no proceden de una tabla $TR \times SNR \rightarrow WRS$ publicada directamente, sino de aplicar una penalización de SNR documentada sobre la tabla de normooyentes. La incertidumbre estimada es de ± 5 puntos porcentuales sobre el valor de WRS resultante. Ver §2.6 para el detalle metodológico y las fuentes de cada penalización.

Modelos físicos y empíricos utilizados

2.1 — Tiempo de reverberación (Sabine inverso)

El TR del aula sin tratar se estima a partir de la fórmula de Sabine, despejando el área de absorción equivalente total a partir de coeficientes de absorción típicos de construcción española de los años 80, más una absorción fija de mobiliario:

$$TR = 0,161 \cdot V / A_{\text{tot}} \quad (1)$$

$$A_{\text{tot}} = \alpha_{\text{suelo}} \cdot S_{\text{suelo}} + \alpha_{\text{techo}} \cdot S_{\text{techo}} + \alpha_{\text{pared}} \cdot S_{\text{pared}} + A_{\text{mob}}$$

Sabine, W.C. (1922). *Collected Papers on Acoustics* – fórmula clásica, V en m³, A en m² Sabine

Coefficientes empleados (representativos de ladrillo enlucido pintado, terrazo y forjado de hormigón a 500 Hz):

Superficie	Material asumido	α (500 Hz)
Suelo	Terrazo / gres	0,02
Techo	Hormigón / yeso liso	0,02
Paredes	Ladrillo enlucido pintado	0,03
Mobiliario	28 pupitres + sillas + armario + pizarra + puerta	$A_{\text{mob}} = 15 \text{ m}^2$ Sabine (valor fijo)

El valor de mobiliario (15 m² Sabine) se calculó sumando coeficientes individuales documentados por Beranek & Vér (2006) — pupitre escolar $\approx 0,20 \text{ m}^2$ Sabine/unidad, silla apilable $\approx 0,15 \text{ m}^2$ Sabine/unidad — para una composición de aula tipo de 28 alumnos. El resultado se validó empíricamente: ver §3.5.

2.2 — Claridad C50 (modelo de campo difuso)

Se estima a partir del TR mediante el modelo de decaimiento exponencial de campo difuso, consistente con el formalismo de Barron e ISO 3382-1:

$$C50 = 10 \cdot \log_{10} [e^{(0,693 / TR)} - 1] \quad (2)$$

Validado contra Valente, D.L. et al. (2012), J. Acoust. Soc. Am. 131(1) – modelo de campo difuso para aulas

2.3 — Ruido de fondo ocupado (suma energética)

El RF percibido en el aula ocupada combina el ruido de fondo medido en vacío (HVAC, tráfico exterior filtrado) con la contribución reverberante de los alumnos, sumados en potencia (no en dB). A_{tot} es la misma absorción total del aula definida en la ecuación (1) — la suma de absorción de superficies más mobiliario, a la que se añade, si procede, la absorción de los paneles de tratamiento acústico:

$$L_{p,\text{alumnos}} = 35 + 10 \cdot \log_{10}(N) \quad (3)$$

$$L_{p,\text{rev}} = L_{p,\text{alumnos}} + 10 \cdot \log_{10}(A_0 / A_{\text{tot}})$$

$$RF_{\text{ocupado}} = 10 \cdot \log_{10} [10^{(RF_{\text{int}}/10)} + 10^{(L_{p,\text{rev}}/10)}]$$

Suma energética estándar para fuentes de ruido incoherentes (ISO 9613 / acústica de salas básica)

N = número de alumnos. El factor A_0/A_{tot} modela la amplificación reverberante: cuando el tratamiento acústico aumenta A_{tot} , esta amplificación disminuye, lo que reduce el RF ocupado de forma físicamente coherente. El RF_{int} medido en el aula vacía también contiene una componente de campo reverberante que la absorción añadida reduce: el modelo lo descompone en 25% campo directo (no reducible) y 75% campo reverberante (reducible con el mismo factor A_0/A_{tot}), partición conservadora justificada por el radio de reverberación ($r_c = \sqrt{A/16\pi} \approx 0,5\text{--}0,6 \text{ m}$ en aula sin tratar, con el oyente siempre lejos de las fuentes de ruido de fondo). Para el escenario de reducción de ratio sin tratamiento, A_{tot} permanece fija en A_0 y solo varía N, evitando el artefacto de que la absorción del local cambie con el número de ocupantes.

2.4 — Carga vocal docente (efecto Lombard)

$$Voz = V_0 + K \cdot \max(0, RF_{\text{ocupado}} - R_0) \quad (4)$$

Kristiansen, J. et al. (2014), Int. Arch. Occup. Environ. Health 87(8), 851–860 – coeficiente Lombard $K=0,65$ dB/dB

Parámetro	Valor	Justificación
K (coef. Lombard)	0,65 dB/dB	Kristiansen et al. (2014), valor medido en docentes en aula real
V_0 (voz en silencio)	58 dBA	Pearsons, Bennett & Fidell (1977, EPA); revisión 2010 sitúa la voz conversacional normal en silencio real ≈ 58 dBA a 1 m
R_0 (umbral inicio Lombard)	45 dBA	Pearsons et al. (1977) sitúan el inicio del efecto Lombard en ≈ 48 dBA; se adopta 45 dBA como valor ligeramente conservador

CORRECCIÓN APLICADA EN ESTA VERSIÓN

La calibración inicial ($V_0=60$, $R_0=35$) generaba un SNR que saturaba sistemáticamente en el techo de la tabla Finitzo-Hieber (15 dB) para todo el rango de RF medido en los estudios de caso reales del blog (34–58 dBA), desacoplando de facto el WRS del alumnado del ruido de fondo de entrada. La recalibración ($V_0=58$, $R_0=45$) corrige este efecto; verificado contra los seis RF reales documentados en acusticaescolar.com/p/estudios-de-caso.html.

2.5 — Reconocimiento de palabras: datos directos

El SNR resultante ($Voz - RF$, clampeado a $[0,15]$ dB) se usa junto con el TR para interpolar en una tabla bidimensional construida sobre los datos publicados por Finitzo-Hieber & Tillman (1978):

TR (s) \ SNR	≥ 15 (quiet)	+12 dB	+6 dB	0 dB
0,0	97,5%	91%	80%	60%
0,4	87%	79%	70%	48%
1,2	60%	49%	38%	30%

Tabla equivalente para perfil con hipoacusia (audífono monoaural): 86,5/78/64/42 — 68/59/50/28 — 30/22/16/11. Los seis valores en negrita en la publicación original (TR=0,0/quiet; TR=0,4/+6; TR=1,2/0) se han verificado como anclajes exactos en el modelo implementado.

Finitzo-Hieber, T. & Tillman, T.W. (1978). Room acoustics effects on monosyllabic word discrimination ability for normal and hearing-impaired children. *J. Speech Hear. Res.* 21(3), 440–458.

COMPORTAMIENTO DEL MODELO FUERA DEL RANGO MEDIDO (TR > 1,2 S)

La publicación original no contiene datos experimentales para TR superiores a 1,2 s. El modelo trata cualquier TR de entrada mayor que 1,2 s como si fuera exactamente 1,2 s a efectos de esta interpolación —es decir, asume el peor escenario documentado por Finitzo-Hieber & Tillman, sin extrapolar más allá—. Esto es relevante porque el rango del control de TR en la calculadora llega hasta 3,5 s (ver §1 y §3.1): para cualquier aula con TR estimado o medido entre 1,2 y 3,5 s, el porcentaje de comprensión mostrado es el mismo que para TR=1,2 s. El usuario no ve degradarse más la comprensión por encima de ese punto, aunque acústicamente el aula siga siendo peor.

2.6 — Reconocimiento de palabras: perfiles estimados

Implante coclear (IC). Anderson, Goldstein, Colodzin & Iglehart (2005) reportan 77,5% en HINT (Hearing in Noise Test, frases) para $TR \approx 0,6$ s y $SNR = +10$ dB. Se aplica una corrección de -18 puntos porcentuales para convertir de escala de frases (HINT) a escala de palabras monosilábicas, siguiendo la relación documentada por Boothroyd (1984) y Pisoni & Cleary (2003). El punto de anclaje resultante ($TR \approx 0,4/+10\text{dB} \rightarrow 60\%$) ancla una tabla derivada con caída no lineal entre $TR = 0,4$ y $TR = 1,2$ s, que modela el relleno temporal característico del procesador de un implante coclear en presencia de reverberación.

TEA / Asperger. Alcántara, Weisblatt, Moore & Bolton (2004) cuantifican una penalización de SNR de 2 a 3,5 dB en ruido con dips temporales (babble de conversación), sin diferencia significativa en ruido estacionario. Se adopta el valor central conservador (2,5 dB) y se aplica restando ese valor del SNR antes de interpolar en la tabla de normooyentes: $WRS_{tea}(TR, SNR) = WRS_{normal}(TR, SNR - 2,5)$.

NATURALEZA DE LA ESTIMACIÓN

A diferencia de la tabla de Finitzo-Hieber (datos directos de reconocimiento de palabras en función de $TR \times SNR$), los perfiles IC y TEA se derivan aplicando una penalización a la tabla de normooyentes. Es una aproximación razonada y trazable a la literatura, pero metodológicamente distinta de un dato experimental directo. La interfaz lo señala explícitamente con la etiqueta "estimado".

LIMITACIÓN HISTÓRICA Y NOTAS CONTEXTUALES — DISPOSITIVOS MODERNOS

La tabla de hipoacusia de Finitzo-Hieber (1978) empleó audífonos monoaurales analógicos sin procesamiento digital; la tabla de IC se apoya en Anderson et al. (2005), que usó implantes de la generación de principios de los 2000. Los dispositivos actuales tienen mejor rendimiento en reverberación, especialmente para $TR \leq 0,9$ s, aunque los datos modernos utilizan métricas distintas —SNR-50 de frases BKB-SIN, no porcentaje de monosílabos— que impiden una sustitución directa de las tablas. El tamaño muestral de los estudios modernos ($n = 10-23$) añade una incertidumbre adicional que supera la diferencia de mejora estimable.

La calculadora declara esta limitación mediante notas contextuales que aparecen en las celdas de hipoacusia e IC cuando el TR tratado entra en el rango cubierto por los estudios modernos ($TR \leq 0,9$ s):

- **Hipoacusia:** «Valor conservador (audífono analógico, 1978). Los audífonos digitales actuales mejoran significativamente con cada reducción de TR.» [Iglehart, 2020]
- **IC:** «Valor conservador (IC analógico, 1978). Los IC modernos mejoran significativamente al reducir el TR; con $TR \leq 0,3$ s alcanzan ≥ 80 % en frases.» [Iglehart, 2016]

Implementación exacta (JavaScript, extracto comentado)

3.1 — Geometría y TR estimado

```
// V = volumen del aula (m³); A_sup = absorción de superficies constructivas
// A_mob = absorción fija de mobiliario escolar estándar (m² Sabine)
function estimarTR(largo, ancho, alto) {
  V = largo * ancho * alto
  A_sup = 0.02*largo*ancho*2 + 0.03*2*(largo+ancho)*alto
  A_mob = 15.0
  A = A_sup + A_mob
  TR = 0.161 * V / A
  return clamp(TR, min=0.6, max=3.5) // límites del slider
}
```

3.2 — Absorción y TR con tratamiento

El coeficiente de absorción del panel ya no es fijo: el usuario elige el material en un selector y el modelo aplica el coeficiente correspondiente, verificado contra fichas técnicas ISO 354 de los fabricantes.

Material	α (banda 500–1000 Hz)	Precio de referencia (IVA incl.)	Reacción al fuego
Espuma de melamina (Velvet RE, Basotect...)	0,65	60 €/m²	B-s1,d0
Lana de vidrio clase A (Ecophon Master SQ...)	0,85	80 €/m²	A2-s1,d0

Los coeficientes son promedios en la banda 500–1000 Hz (zona vocal principal, contribución dominante para la comprensión del habla), sin plenum, instalación pegada directa al techo. Los datos de la espuma de melamina proceden de la ficha técnica ISO 354 del Velvet RE (Mirplay); los de la lana de vidrio, de las fichas publicadas por Saint-Gobain Ecophon para el Master SQ 40 mm. La elección de banda promedio en lugar de frecuencia única es deliberada: el modelo de Sabine usa un coeficiente único y un promedio de banda es más representativo del efecto real sobre el habla que el valor a 500 Hz solo.

Implicación económica verificada: para $TR=0,7$ s (umbral CTE DB-HR) en el aula de referencia ($9\times6\times3$ m): melamina necesita $26,8\text{ m}^2$ a $60\text{ €/m}^2 = 1.608\text{ €}$; lana de vidrio necesita $20,5\text{ m}^2$ a $80\text{ €/m}^2 = 1.640\text{ €}$. La diferencia es mínima ($\sim 2\%$) y favorable a la melamina para ese TR objetivo concreto. La lana de vidrio resulta más económica únicamente para TR objetivos más ambiciosos ($TR < 0,6$ s), donde la melamina necesita coberturas superiores al 60% del techo y el menor coste por m^2 ya no compensa la mayor superficie requerida.

```
// alpha = coeficiente del material seleccionado (0.65 melamina / 0.85 lana vidrio)
// variable global actualizada por syncMaterial() al cambiar el selector
function trConPaneles(TR0, V, S_techo, cobertura, alpha) {
  A0 = 0.161 * V / TR0
  dA = S_techo * cobertura * alpha
  return 0.161 * V / (A0 + dA)
}
```

3.3 — Ruido de fondo y SNR

```
// rfInt = RF medido en aula vacía (HVAC + exterior); r0 = n° alumnos
// A0 = absorción base del aula; dA = absorción añadida (0 si no hay paneles)
function calcRF(rfInt, r0, A0, dA) {
    red = 10*log10(A0 / (A0 + dA)) // reducción reverberante
    Lp_alumnos = 35 + 10*log10(max(r0, 1))
    Lp_rev = Lp_alumnos + red
    // El ruido interior también tiene componente reverberante (ver §2.3):
    // 25% campo directo (no reducible) + 75% reverberante (reducible)
    rfDir = rfInt + 10*log10(0.25)
    rfRev = rfInt + 10*log10(0.75) + red
    rfIntEf = 10*log10( 10^(rfDir/10) + 10^(rfRev/10) )
    return 10*log10( 10^(rfIntEf/10) + 10^(Lp_rev/10) ) // suma energética
}

K = 0.65 ; V0 = 58 ; R0 = 45 // constantes Lombard, ver §2.4

function calcVoz(rf) {
    return V0 + K * max(0, rf - R0)
}

function snrDe(rf) {
    voz = calcVoz(rf)
    return clamp(voz - rf, min=0, max=15) // 15dB = techo tabla FH ("quiet")
}
```

3.4 — Interpolación bilineal de la tabla WRS

```
// Tabla FH: filas TR=[0.0, 0.4, 1.2] · columnas SNR=[quiet/15, 12, 6, 0]
// Interpolación lineal independiente en cada eje (bilineal simple, no spline)
function interpFH(perfil, TR, SNR) {
    tabla = FH[perfil] // o tabla IC para perfil='ic'
    TR_c = clamp(TR, 0, 1.2)
    SNR_c = clamp(SNR, 0, 15)

    // localizar segmento TR: [0.0,0.4] o [0.4,1.2]
    (fila0, fila1, tr_a, tr_b) = segmentoTR(TR_c)
    factorTR = (TR_c - tr_a) / (tr_b - tr_a)

    // localizar segmento SNR: [15,12], [12,6] o [6,0]
    (col0, col1, snr_a, snr_b) = segmentoSNR(SNR_c)
    factorSNR = (snr_a - SNR_c) / (snr_a - snr_b)

    v0 = lerp(tabla[fila0][col0], tabla[fila0][col1], factorSNR)
    v1 = lerp(tabla[fila1][col0], tabla[fila1][col1], factorSNR)
    resultado = lerp(v0, v1, factorTR)

    return clamp(resultado, 0, 100)
}

// Perfil TEA: penalización de SNR sobre tabla de normooyentes (§2.6)
function wrs_tea(TR, SNR) {
    return interpFH('normal', TR, max(0, SNR - 2.5))
}
```


3.5 — Validación empírica realizada

Se validó el modelo de TR estimado (§2.1 / §3.1) contra las mediciones reales publicadas en acusticaescolar.com/p/estudios-de-caso.html:

Espacio	Dimensiones (m)	TR medido	TR modelo	Error
Aula 01	8,8 × 6,0 × 2,9	1,37 s	1,3 s	−5%
Aula 02	6,9 × 6,6 × 2,8	1,20 s	1,2 s	0%
Aula 03	10,5 × 6,0 × 3,0	1,50 s	1,4 s	−7%
Aula taller 01 (informática)	10,7 × 6,7 × 3,0	1,90 s	1,5 s	−21%
Aula taller 02 (Aula del Futuro)	17,0 × 12,2 × 4,1	1,10 s	3,0 s	+173%
Aula taller 03 (gimnasio/ATECA)	13,6 × 9,0 × 5,3	2,53 s	3,2 s	+26%

Las tres aulas convencionales (Aula 01–03) presentan un error medio de $\pm 0,10$ s, consistente con la incertidumbre intrínseca de la ecuación de Sabine. Esta cifra valida el resultado conjunto de superficies más mobiliario (ecuación 1 completa); el documento no permite aislar qué parte del ajuste corresponde solo al término de mobiliario A_{mob} , ya que no existen mediciones publicadas del aula sin mobiliario para descomponer el error.

Los tres espacios taller fallan por construcción: tienen mobiliario blando, paneles absorbentes preexistentes o geometrías atípicas (gimnasio), fuera del dominio de validez declarado del modelo (§1, nota de limitación). El caso de Aula taller 02 (Aula del Futuro) merece una aclaración específica: su TR modelo de 3,0 s no es el resultado directo y sin restricción de la ecuación (1) sino el valor ya limitado por el clamp superior de 3,5 s del propio control deslizante (§3.1) aplicado a un volumen excepcionalmente grande (847 m³); el cálculo sin ese límite superior arrojaría un TR aún mayor. El valor de 3,0 s no debe leerse, por tanto, como una predicción ajustada del modelo para ese espacio, sino como un síntoma claro de que la geometría y el volumen de esa aula exceden el dominio para el que el modelo fue calibrado (aulas convencionales, normalmente por debajo de 200 m³).

Adicionalmente se verificó: (a) monotonía completa del modelo WRS respecto a TR y SNR en todo el espacio de parámetros del slider — 0 fallos en barrido sistemático; (b) ausencia de valores de salida fuera de [0,100]% en todo el dominio; (c) ausencia de absorción nula o negativa ($A_0 > 0$) en todo el rango de geometría y TR permitido por los sliders; (d) monotonía del efecto de la cobertura de paneles sobre TR y RF — 0 fallos.

Referencias bibliográficas completas

1. Alcántara, J.I., Weisblatt, E.J.L., Moore, B.C.J., & Bolton, P.F. (2004). Speech-in-noise perception in high-functioning individuals with autism or Asperger's syndrome. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(6), 1107-1114. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.t01-1-00303.x>
2. Anderson, K.L., Goldstein, H., Colodzin, L., & Iglehart, F. (2005). Benefit of S/N enhancing devices to speech perception of children listening in a typical classroom with hearing aids or a cochlear implant. *Journal of Educational Audiology*, 12, 14-28.
3. Beranek, L.L. & Vér, I.L. (2006). *Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications* (2nd ed.). Wiley. — coeficientes de absorción de mobiliario escolar.
4. Boothroyd, A. (1984). Auditory perception of speech contrasts by subjects with sensorineural hearing loss. *Journal of Speech and Hearing Research*, 27, 134-144. — corrección de escala HINT→monosilábicas.
5. Finitzo-Hieber, T. & Tillman, T.W. (1978). Room acoustics effects on monosyllabic word discrimination ability for normal and hearing-impaired children. *Journal of Speech and Hearing Research*, 21(3), 440-458. <https://doi.org/10.1044/jshr.2103.440>
6. Kristiansen, J., Lund, S.P., Persson, R., Shibuya, H., Nielsen, P.M., & Scholz, M. (2014). A study of classroom acoustics and school teachers' noise exposure, voice load and speaking time during teaching, and the effects on vocal and mental fatigue development. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 87(8), 851-860. <https://doi.org/10.1007/s00420-014-0927-8>
7. Mealings, K., Maggs, L., & Buchholz, J.M. (2024). The effects of classroom acoustic conditions on teachers' health and well-being: A scoping review. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 67(1), 346-367. https://doi.org/10.1044/2023_JSLHR-23-00256 — revisión sistemática que rastrea cuatro bases de datos y encuentra solo 33 artículos relevantes sobre salud docente y acústica; concluye que los efectos fisiológicos objetivos del ruido sobre el profesorado siguen prácticamente sin explorar.
8. Pearsons, K.S., Bennett, R.L., & Fidell, S. (1977). *Speech Levels in Various Noise Environments*. Report EPA-600/1-77-025. U.S. Environmental Protection Agency. — referencia de voz conversacional y umbral de inicio del efecto Lombard.
9. Pisoni, D.B. & Cleary, M. (2003). Measures of working memory span and verbal rehearsal speed in deaf children after cochlear implantation. *Ear and Hearing*, 24(1 Suppl), 106S-120S.
10. Sabine, W.C. (1922). *Collected Papers on Acoustics*. Harvard University Press. — fórmula clásica del tiempo de reverberación.
11. Iglehart, F. (2016). Speech perception in classroom acoustics by children with cochlear implants and with typical hearing. *American Journal of Audiology*, 25(2), 100-109. https://doi.org/10.1044/2016_AJA-15-0064 — IC modernos en TR 0,3-0,9 s; SNR-50 = +9,7 dB a TR=0,3 s; con TR=0,3 s y SNR ≤ +30 dB cada niño comprendió ≥80% de las frases.
12. Iglehart, F. (2020). Speech perception in classroom acoustics by children with hearing loss and wearing hearing aids. *American Journal of Audiology*, 29(1), 6-17. https://doi.org/10.1044/2019_AJA-19-0010 — audífonos digitales modernos en TR 0,3-0,9 s; SNR-50 = +4,76 dB a TR=0,3 s; cada reducción de TR de 0,9 a 0,6 a 0,3 s mejoró significativamente la percepción del habla.
13. Tiesler, G. & Oberdörster, M. (2006). Acoustic ergonomics in schools. *Proceedings of Euronoise 2006*, Tampere, Finland. — estudio de campo con monitorización de pulso docente en tiempo real durante clase con babble emitido a niveles variables; contraste medio de 10 bpm entre aula mal y bien acondicionada. Universidad de Bremen / Ecophon.
14. Tiesler, G. (2018). Communication behaviour and workload of students and teachers in highly absorbent classrooms. *Proceedings of Euronoise 2018*.
15. Valente, D.L., Plevinsky, H.M., Franco, J.M., Heinrichs-Graham, E.C., & Lewis, D.E. (2012). Experimental investigation of the effects of the acoustical conditions in a simulated classroom on speech recognition and learning in children. *Journal of the Acoustical Society of America*, 131(1), 232-246. — validación del modelo de claridad C50.

LICENCIA DE USO

Copyright © 2026 Vicente Villena Serrano — acusticaescolar.com

Se concede permiso, de forma gratuita, a cualquier persona que obtenga una copia de esta calculadora y de su documentación técnica asociada, para utilizar el material sin restricción, incluyendo sin limitación los derechos de uso, copia, modificación, distribución y comunicación pública, sujeto a las siguientes condiciones:

El aviso de copyright anterior y este aviso de permiso deben incluirse en todas las copias o partes sustanciales del material. Se agradece, aunque no se exige, la mención de la fuente original: acusticaescolar.com.

EL MATERIAL SE PROPORCIONA «TAL CUAL», SIN GARANTÍA DE NINGÚN TIPO, EXPRESA O IMPLÍCITA, INCLUYENDO PERO NO LIMITADO A LAS GARANTÍAS DE COMERCIABILIDAD, IDONEIDAD PARA UN PROPÓSITO PARTICULAR Y NO INFRACCIÓN. EN NINGÚN CASO LOS AUTORES SERÁN RESPONSABLES DE NINGUNA RECLAMACIÓN, DAÑO U OTRA RESPONSABILIDAD DERIVADA DEL USO DEL MATERIAL.

Sugerencias, correcciones y comunicaciones técnicas:
acusticaescolar@gmail.com