

Evaluación Acústica de Recintos

Acondicionamiento Acústico

Prof. Ing. Andrés Barrera A.

2010

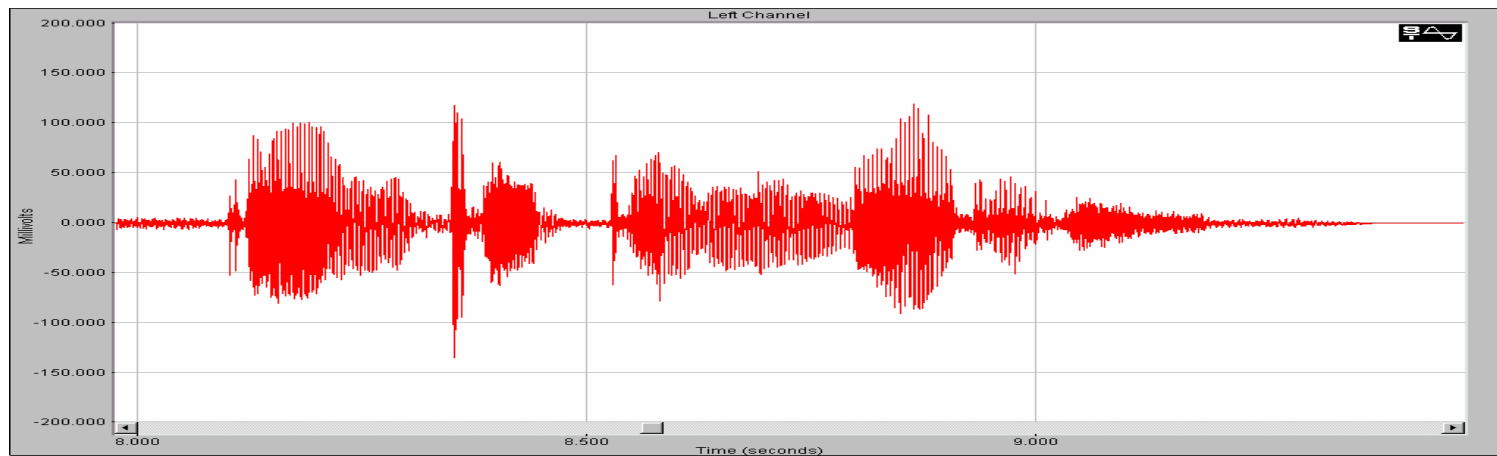
EVALUACIÓN

- Concepto de evaluación
 - Características óptimas de una sala según su uso (teatros, salas de conferencias, estudios de grabación, etc.)
- Evaluación objetiva v/s subjetiva
- Evaluación según el tipo de sala
 - Salas de uso de la palabra
 - Salas de uso musical

RECINTOS PARA USO DE LA PALABRA

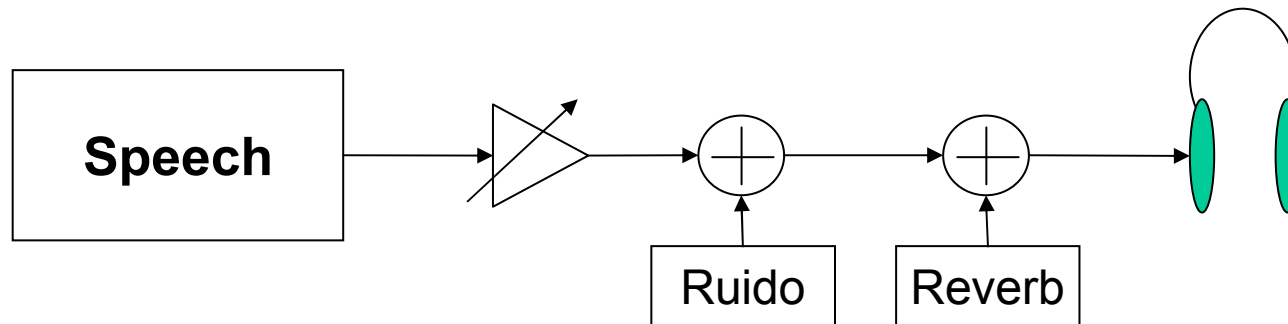
Características del Habla

- Vocales v/s consonantes
- Zonas de baja energía → factores que disminuyen la inteligibilidad del mensaje



Inteligibilidad de la Palabra

- **Inteligibilidad**: proporción de elementos del habla (sílabas, palabras o frases) que son oídos correctamente en un ambiente ruidoso y/o reverberante.
- La inteligibilidad se evalúa con tres materiales de examen: **sílabas sin sentido, palabras monosílabas y frases.**



Formatos de Examen de Inteligibilidad

- Los formatos de examen se clasifican en 2 grandes grupos:
 - **Conjunto abierto de respuestas:** el oyente elige la alternativa correcta de un conjunto infinito de respuestas probables. Influyen fuertemente los factores cultural y social. Por ejemplo, PALABRAS FONÉTICAMENTE BALANCEADAS (frecuencia de ocurrencia de los fonemas en cada palabra es representativa de su frecuencia de ocurrencia en el habla cotidiana).
 - **Conjunto cerrado de respuestas:** el oyente debe elegir la alternativa correcta de un conjunto finito de respuestas posibles. Por ejemplo: “BABA, VACA, BATA, VAGA, BALA, BAZA”
- Clasificación según Norma ANSI S3.2 – 1990

| % Inteligibilidad | Condición Subjetiva |
|----------------------|---------------------|
| $\geq 90\%$ | Excelente |
| 80 – 90% | Buena |
| 70 – 80% | Satisfactoria |
| ≤ 70 | Insatisfactoria |

Predicción de la Inteligibilidad de la Palabra a partir de medidas físicas

- Depende de tres factores principales:

- **Tiempo de Reverberación (T)**
- **NPS del ruido de fondo**
- **NPS de la señal**

- Se puede definir la **Relación Señal–Ruido (S/N)**

$$\frac{S}{N} = Lp_{PEAK\ HABLA} - Lp_{RMS\ RUIDO} \quad [dB]$$

$$con \quad Lp_{PEAK\ HABLA} = Lp_{RMS\ HABLA} + 12dB$$

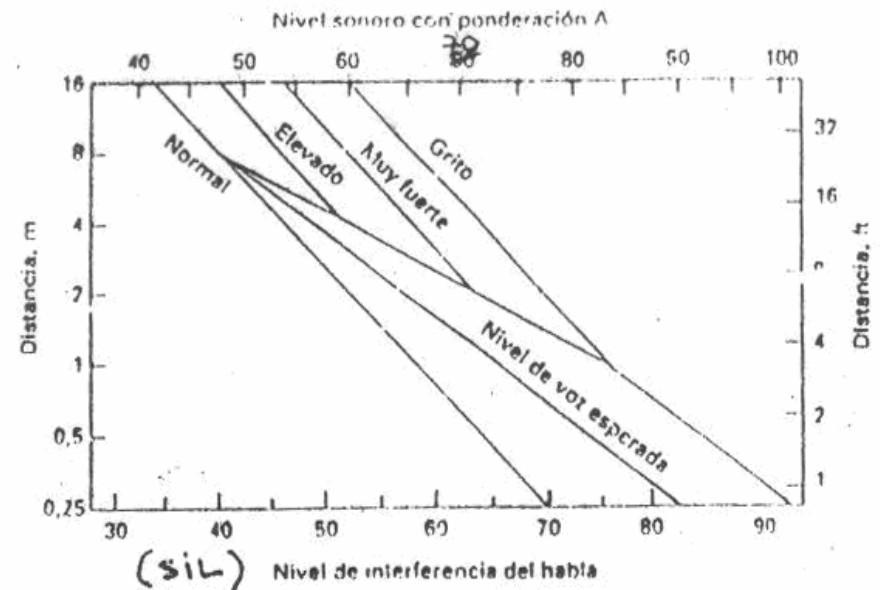
- Existen 2 grandes grupos de criterios, de acuerdo al parámetro más influyente sobre la pérdida de inteligibilidad:
 - **Criterios que evalúan el nivel de señal y/o el ruido de fondo** (EAD: distancia acústica equivalente, AI: Índice de Articulación, SIL: Nivel de Interferencia de la Palabra, etc.)
 - **Criterios que evalúan la reverberación** (%ALCons: Porcentaje de pérdida de Articulación de Consonantes, RASTI: Índice Rápido de Transmisión Sonora)

Evaluación Acústica

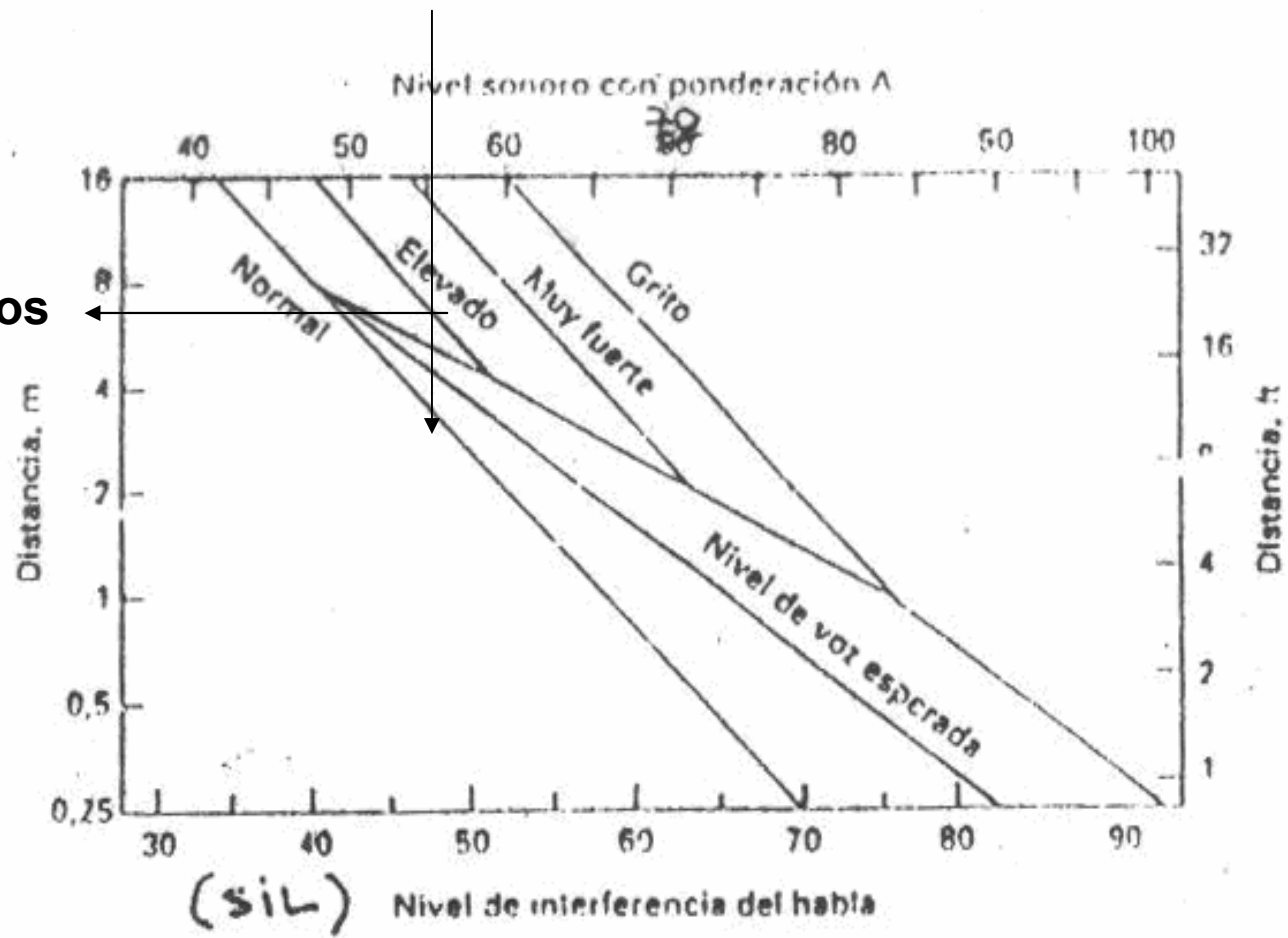
Criterio N°1

Nivel Sonoro en dB(A) del ruido de fondo

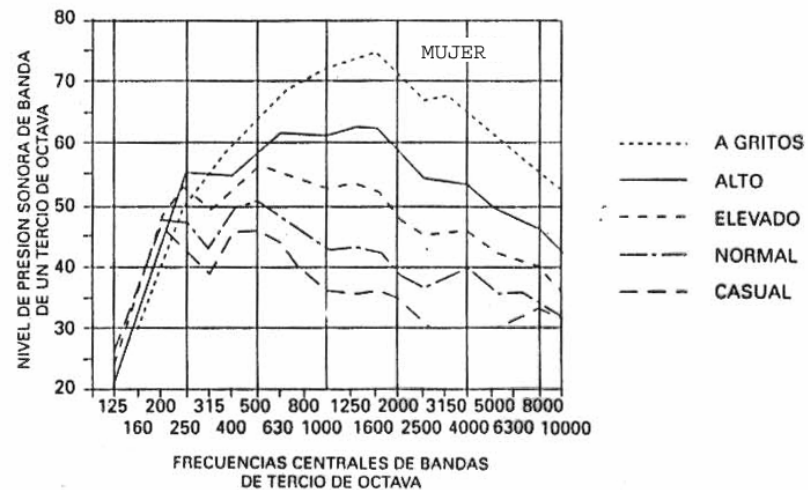
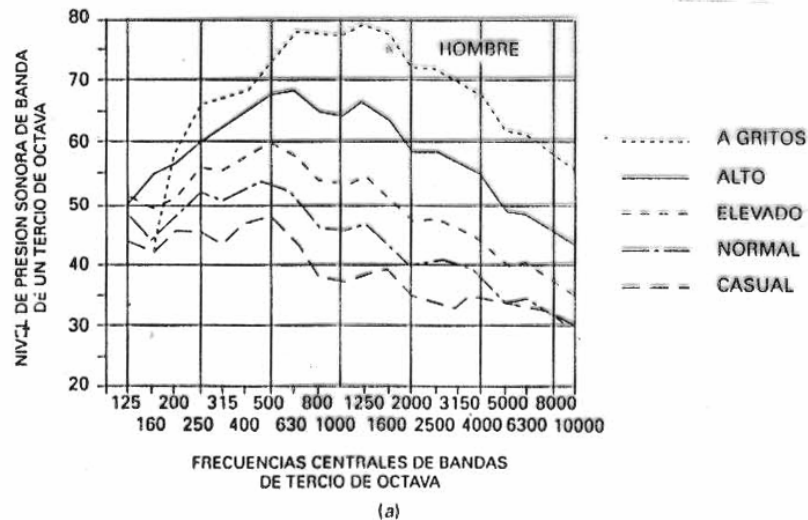
- Uso 1
- Predecir las distancias máximas permitidas entre hablante y oyente para asegurar una comunicación mínimamente fiable (70% monosílabos PB, 90% frases)
- Ejemplo: ¿Cuál es la distancia máxima a la cual pueden ubicarse dos personas que conversan con un nivel de voz normal en un ambiente con un ruido de fondo de 55 dB(A).



7 metros



Características espectrales del habla



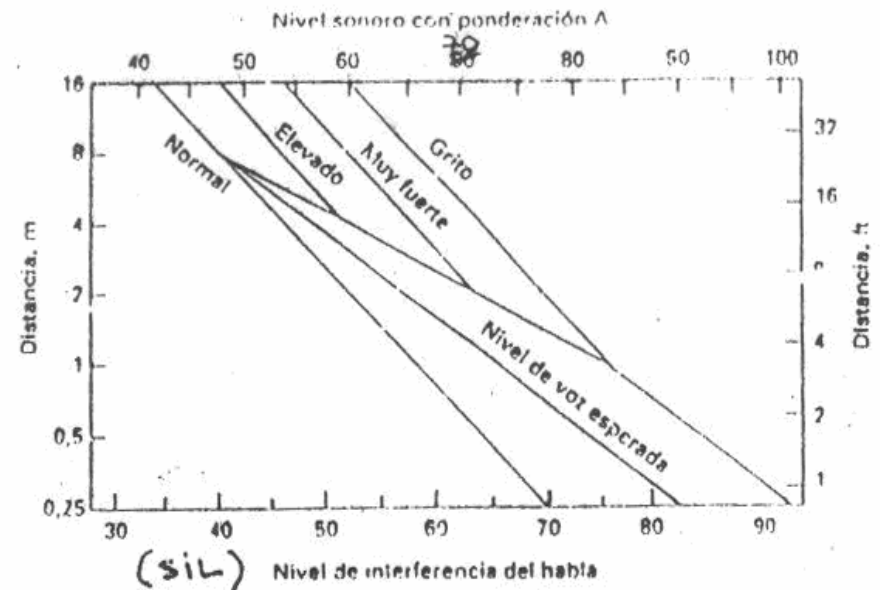
NPS del habla (medias a largo plazo) en condiciones de silencio a 1m en cámara anecoica

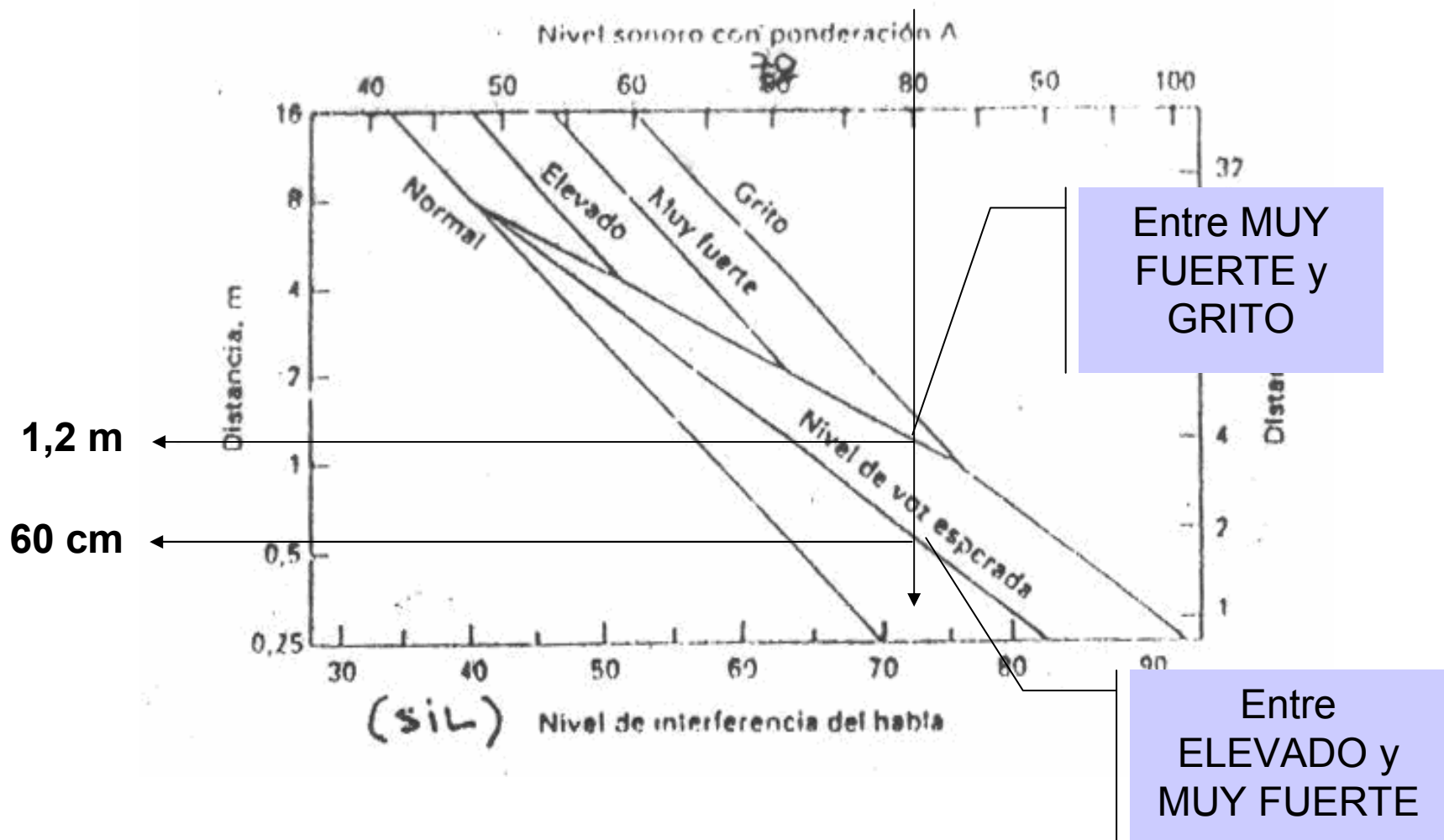
| Esfuerzo Vocal | Hombre dB(A) | Mujer dB(A) |
|----------------|--------------|-------------|
| Casual | 53 | 50 |
| Normal | 58 | 55 |
| Elevado | 65 | 62 |
| Alto | 75 | 71 |
| A Gritos | 88 | 82 |

Criterio N°1

Nivel Sonoro en dB(A) del ruido de fondo

- Uso 2
- Predecir el nivel de voz esperado (normal, elevado, muy fuerte o a gritos) y los rangos de distancias típicas que dos personas tienden a mantener naturalmente ante distintos niveles de ruido de fondo.
- Ejemplo: Si el ruido de fondo es de 80dB(A) ¿Con qué niveles de voz y entre qué distancias se comunicarán dos personas?

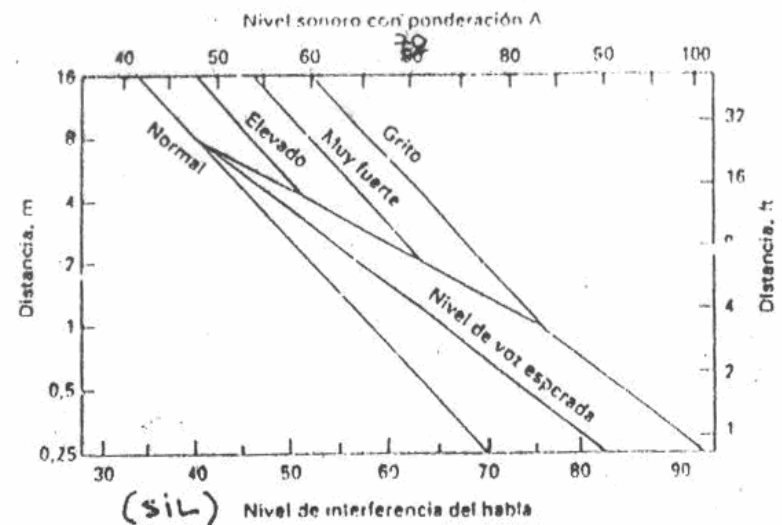




Criterio N°1

Nivel Sonoro en dB(A) del ruido de fondo

- Restricciones del criterio:
 - Ambientes poco reverberantes ($T < 1,5$ a 2 seg)
 - Ruido de fondo de espectro plano sin componentes tonales
 - Ruido estable: variaciones menores a 10dB(A)
 - Habla distorsionada



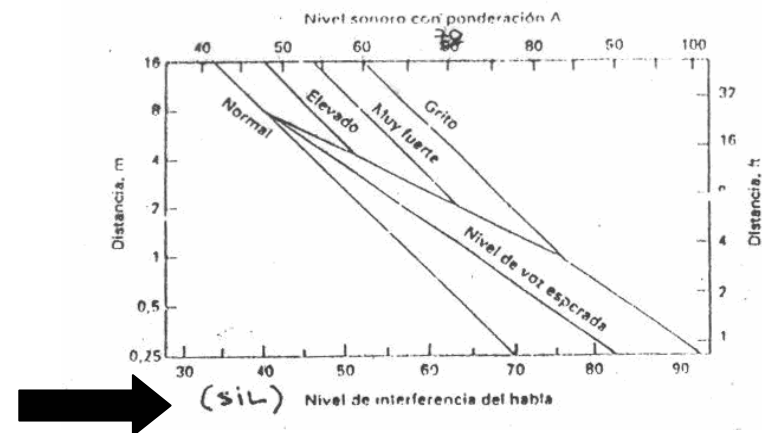
Criterio N°2

Nivel de Interferencia de la Palabra SIL (Speech Interference level)

- El SIL es un promedio aritmético de los NPS del ruido de fondo de las bandas de frecuencias medias.

$$SIL = \frac{Lp_{RMS\ RUIDO\ 500Hz} + Lp_{RMS\ RUIDO\ 1kHz} + Lp_{RMS\ RUIDO\ 2kHz} + Lp_{RMS\ RUIDO\ 4kHz}}{4} \quad [dB]$$

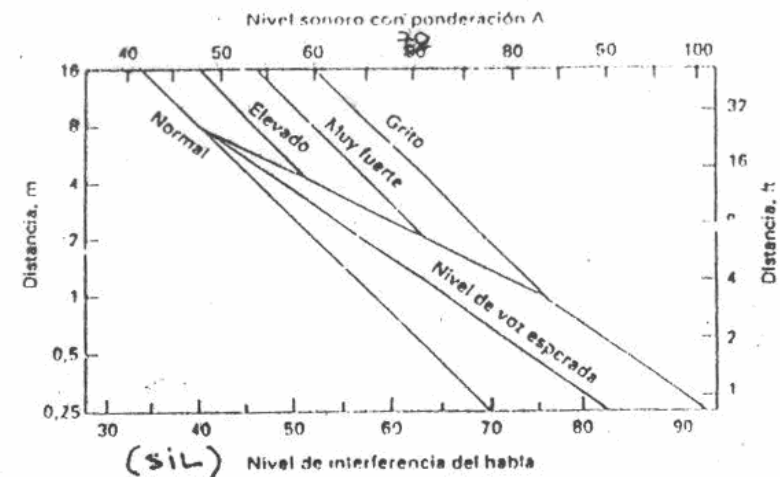
- Se evalúa midiendo el ruido de fondo por bandas de octava entre 500Hz y 4kHz. La inteligibilidad se calcula con el mismo procedimiento del criterio anterior.



Criterio N°2

Nivel de Interferencia de la Palabra SIL (Speech Interference level)

- Restricciones del criterio:
 - Ambientes poco reverberantes ($T < 1,5$ a 2 seg)
 - Ruido estable: variaciones menores a 10dB en cada una de las bandas.
 - Habla distorsionada.



Criterio N°3

Índice de Articulación (IA)

- IA es un índice que varía entre 0 y 1
- Análisis de S/N por bandas de octava (250 – 4000Hz) o por bandas de tercio de octava (200 – 5000Hz)
- Aplicación en sistemas de refuerzo sonoro en exteriores o en locales poco reverberantes ($T_{60} < 1,5$ seg)

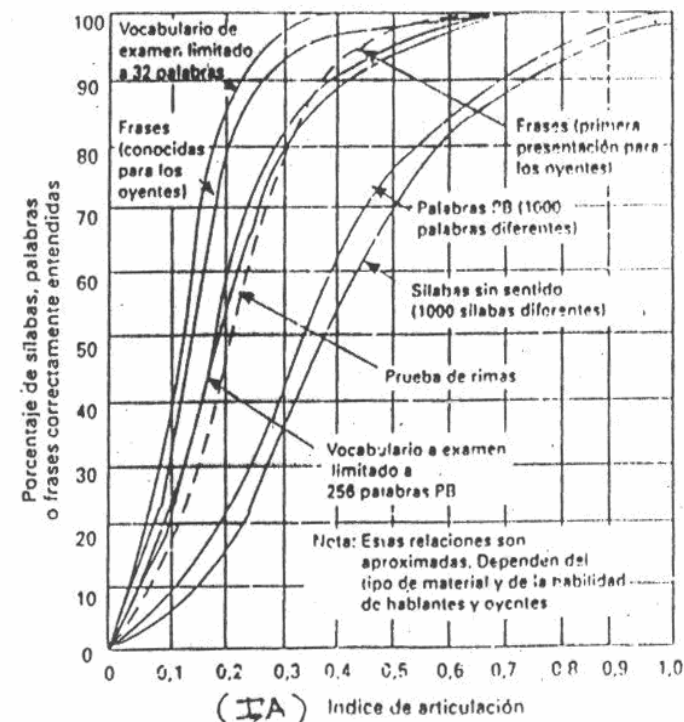
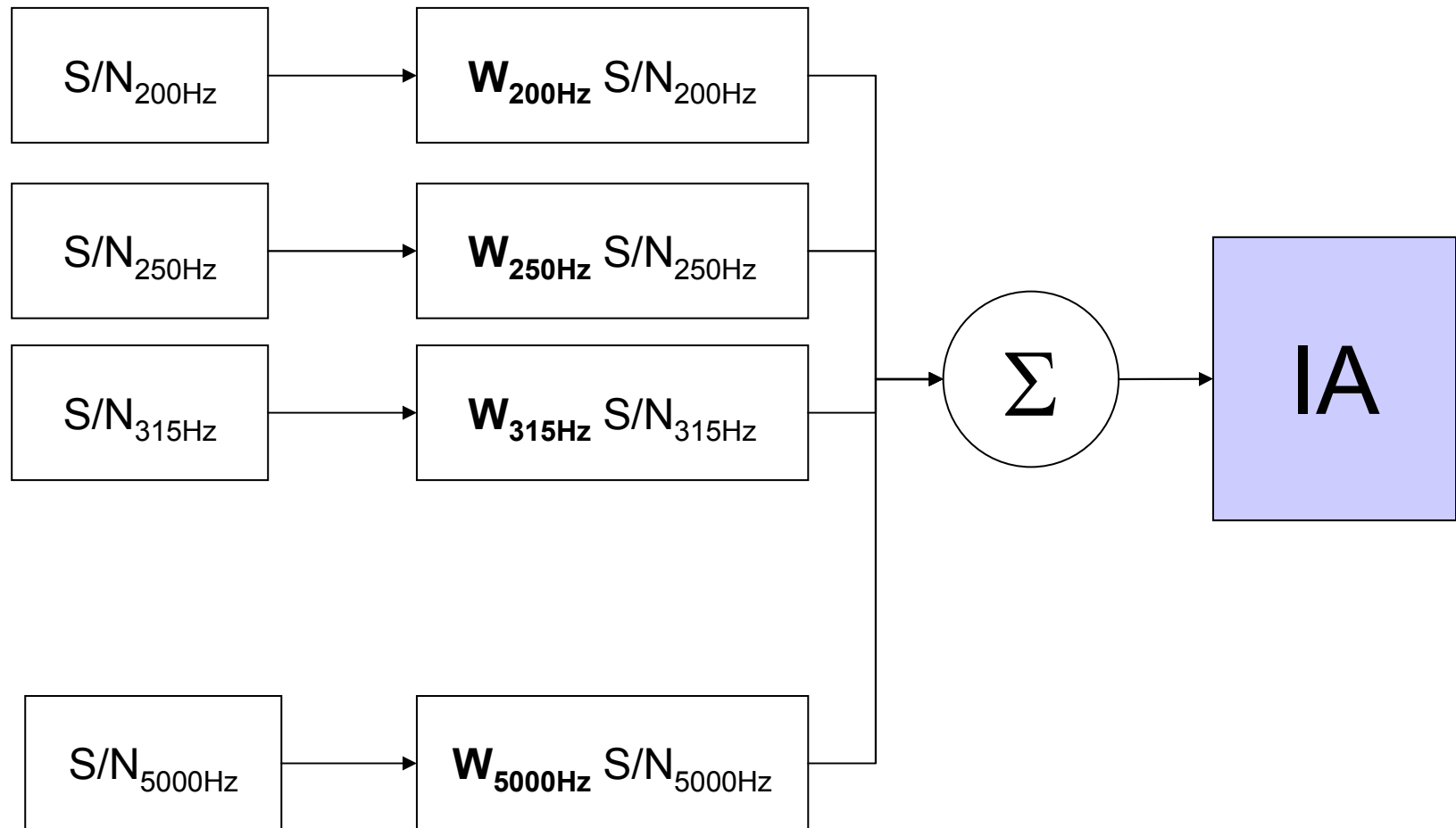


FIGURA 16.9. Las curvas muestran la inteligibilidad del habla esperada en función del índice de articulación. Estas curvas, relacionando el porcentaje de inteligibilidad con el índice de articulación, se muestran para los distintos tipos de materiales de examen. (De la Referencia 22.)



Criterio N°3

Consideraciones en el método de cálculo IA

- Cada W_i es un factor de ponderación que representa el aporte de cada banda a la inteligibilidad.
- El IA resulta entonces:

$$IA = \sum_{i=1}^n \left[W_i \cdot \left(\frac{S}{N} \right)_i \right]$$

- Con $n = 5$ para bandas de octava
- Con $n = 15$ para bandas de tercio
- Al calcular las S/N por cada banda deben truncarse los datos si:
 - $S/N > 30\text{dB} \rightarrow S/N = 30\text{dB}$
 - $S/N < 0\text{dB} \rightarrow S/N = 0\text{dB}$

Criterio N°3

Método de Bandas de Tercio de Octava

TABLE V. One-third-octave bands.

| Col. 1 | | Col. 2 | Col. 3 | Col. 4 |
|-----------------------|-------------|--|--------|-----------------|
| One-third-octave band | | Speech peak-to-noise diff. in decibels (from Step 4) | Weight | Col. 2 × Col. 3 |
| 1. | 179-224 cps | 200 cps | 0.0003 | |
| 2. | 224-280 | 250 | 0.0007 | |
| 3. | 280-353 | 315 | 0.0010 | |
| 4. | 353-448 | 400 | 0.0016 | |
| 5. | 448-560 | 500 | 0.0017 | |
| 6. | 560-706 | 630 | 0.0017 | |
| 7. | 706-896 | 800 | 0.0027 | |
| 8. | 896-1120 | 1000 | 0.0030 | |
| 9. | 1120-1400 | 1250 | 0.0033 | |
| 10. | 1400-1790 | 1600 | 0.0037 | |
| 11. | 1790-2240 | 2000 | 0.0036 | |
| 12. | 2240-2800 | 2500 | 0.0030 | |
| 13. | 2800-3530 | 3150 | 0.0027 | |
| 14. | 3530-4480 | 4000 | 0.0026 | |
| 15. | 4480-5600 | 5000 | 0.0017 | |
| | | | | AI = |

Criterio N°3

Método de Bandas de Octava

TABLE VII. Octave bands—preferred frequencies.

| Col. 1 | | Col. 2 | Col. 3 | Col. 4 |
|----------------|---------|--|--------|-----------------|
| Octave band | | Speech peak-to-noise diff. in decibels (from Step 4) | Weight | Col. 2 × Col. 3 |
| 1. 180–355 cps | 250 cps | _____ | 0.0018 | _____ |
| 2. 355–710 | 500 | _____ | 0.0050 | _____ |
| 3. 710–1400 | 1000 | _____ | 0.0075 | _____ |
| 4. 1400–2800 | 2000 | _____ | 0.0107 | _____ |
| 5. 2800–5600 | 4000 | _____ | 0.0083 | _____ |
| | | | | AI = _____ |

Criterio N°3

Ejemplo Numérico

- Determine el Índice de Articulación para los siguientes datos. Indique en este caso el % de inteligibilidad para:
 - Frases conocidas por los oyentes
 - Palabras fonéticamente balanceadas PB
 - Sílabas sin sentido

| f , Hz | Lp habla peak, dB | Lp rms ruido de fondo, dB | W_i | S/N_i | $W_i S/N_i$ |
|--------|----------------------|------------------------------|--------|---------|-------------|
| 250 | 62 | 30 | 0.0018 | 30* | 0.054 |
| 500 | 65 | 36 | 0.0050 | 29 | 0.145 |
| 1000 | 57 | 42 | 0.0075 | 15 | 0.1125 |
| 2000 | 52 | 48 | 0.0107 | 4 | 0.0428 |
| 4000 | 50 | 54 | 0.0083 | 0* | 0 |
| | | | | IA | 0.35 |

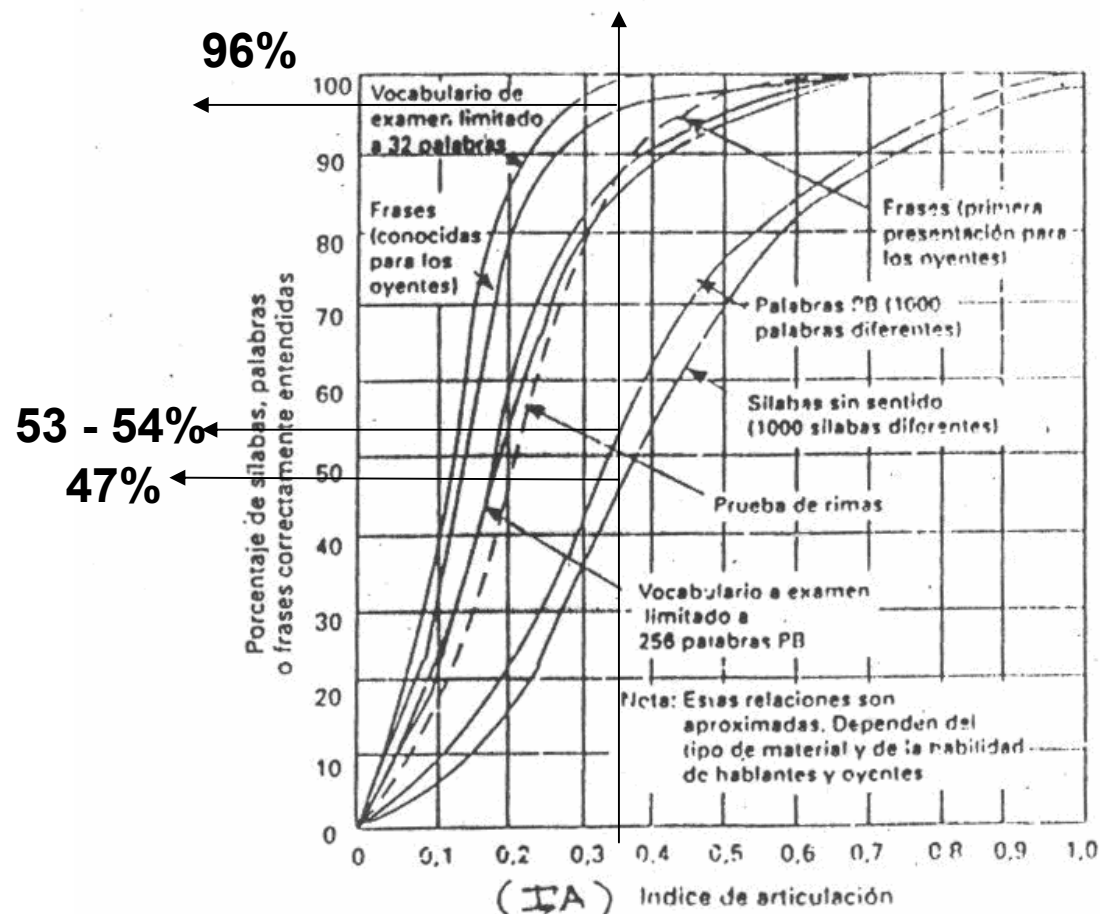


FIGURA 16.9. Las curvas muestran la inteligibilidad del habla esperada en función del índice de articulación. Estas curvas, relacionando el porcentaje de inteligibilidad con el índice de articulación, se muestran para los distintos tipos de materiales de examen. (De la Referencia 22.)

% INTELIGIBILIDAD

- ☐ Frases conocidas por los oyentes = 96%
- ☐ Palabras fonéticamente balanceadas PB = 53 – 54%
- ☐ Sílabas sin sentido = 47%

Criterio N°4

Porcentaje de Pérdida de Articulación de Consonantes (%ALCons)

- Uso principal en sistemas de refuerzo sonoro en recintos cerrados reverberantes.
- Fundamentos
 - La inteligibilidad decrece al alejarse de la fuente hasta llegar a una distancia límite D_L

$$D_L = 3,16 D_C = 3,16 \sqrt{\frac{QR}{16\pi}} \frac{1}{n} \quad [m]$$

- Con n = cantidad de fuentes funcionando dentro del recinto.
- La inteligibilidad más allá de la distancia límite depende sólo del T60.
- Si $S/N = L_{p_{RMS,SEÑAL}} - L_{p_{RMS,RUIDO}} > 25 \text{ dB(A)}$, el ruido de fondo no influye sobre la inteligibilidad.

Criterio N°4

Evaluación del %ALCons

$$\begin{aligned} \%ALCons &= \frac{200D^2T^2}{VQ} & si \quad D \leq D_L \\ \%ALCons &= 9T & si \quad D > D_L \end{aligned}$$

- Donde
 - D: distancia fuente – oyente [m]
 - T: Tiempo de reverberación en la banda de octava de 2kHz [seg]
 - Q: factor de directividad de la fuente [m]
 - V: Volumen del recinto [m³]

CRITERIO %ALCons < 15%

Criterio N°4

Evaluación del %ALCons

| %ALCons | Condición Subjetiva |
|-----------------|---------------------|
| $\leq 5\%$ | Excelente |
| 5 – 10% | Buena |
| 10 – 15% | Adecuada |
| 15 – 20% | Mala |
| 20 – 30% | Muy Mala |

Criterio N°4

Objetivos de Diseño %ALCons

$$D_{MÁX} = \sqrt{\frac{15VQ}{200T^2}} \quad \text{Distancia máxima para un \%ALCons = 15\%}$$
$$T_{MÁX} = \sqrt{\frac{15VQ}{200D^2}} \quad \text{T máximo para un \%ALCons = 15\%}$$
$$Q_{MIN} = \frac{200D^2T^2}{15V} \quad \text{Factor de Directividad del arreglo de parlantes mínimo para un \%ALCons = 15\%}$$

Criterio N°4

Ejemplo Numérico

- Recinto 15 x 25 x 10m
- $T = 3$ [seg] @ 2kHz
- $Q = 2,5$ (Orador sin sistema de refuerzo sonoro)

a) Determinar el %ALCons para un espectador ubicado a 20 metros del orador.

El área y volumen de la sala:

$$S = 1550[m^2]$$

$$V = 3750[m^3]$$

La absorción de la sala:

$$A = 0,16 \frac{V}{T} = 203,75[m^2 Sabine]$$

Criterio N°4

Ejemplo Numérico

Entonces: $\bar{\alpha} = \frac{A}{S} = 0,131 \Rightarrow R = \frac{S\bar{\alpha}}{1-\alpha} = 233,7[m^2 Sabine]$

Y la distancia crítica:

$$Dc = \sqrt{\frac{QR}{16\pi}} \frac{1}{n} = 3,4[m] \Rightarrow D_L = 3,16 Dc = 10,8[m]$$

Como $r = 25[m] > DL = 10,8 [m]$:

$$\%ALCons = 9T = 27\%$$

**MUY MALA
INTELIGIBILIDAD!**

Criterio N°4

Ejemplo Numérico

b) Determinar el %ALCons a la distancia límite.

$$\%ALCons = 200 \frac{D^2 T^2}{VQ} \approx 22\% \quad \text{para} \quad D = D_L = 10,8[m]$$

c) Determinar a qué distancia del orador el %ALCons es 5%, 10% y 15%.

$$\%ALCons = 200 \frac{D^2 T^2}{VQ} = 5\% \quad \Rightarrow r = 5,1[m]$$

$$\%ALCons = 200 \frac{D^2 T^2}{VQ} = 10\% \quad \Rightarrow r = 7,2[m]$$

$$\%ALCons = 200 \frac{D^2 T^2}{VQ} = 15\% \quad \Rightarrow r = 8,8[m]$$

Evaluación Acústica de Recintos

Acondicionamiento Acústico

Prof. Ing. Andrés Barrera A.

2010