



FACULTAD DE INGENIERIA

Universidad de Buenos Aires

ACÚSTICA - 66.67 / 86.57

Clase de laboratorio

ENSAYOS ACÚSTICOS DE PANTALLAS

Alumnos:

DE AGUIRRE María del Rocío Padrón N° 98734
rocio.de.aguirre@gmail.com

LUNA Diego Padrón N° 75451
diegorluna@gmail.com

RIZZO Gonzalo Gabriel Padrón N° 96772
gonzalorizzo95@gmail.com

Docentes:

Ing. VECHIATTI Nilda.
Dr. Ing. GOMEZ Pablo

01 de Noviembre de 2019

Índice

Índice	I
1. Introducción	1
2. Medición de Aislamiento Acústico	2
3. Medición de Absorción en cámara reverberante	7
4. Análisis de resultados obtenidos	11
5. Bibliografía	13
Apéndices	15

Índice de figuras

2.1. Comparación de niveles sonoros medidos	5
2.2. Curva de R	6
3.1. Tiempos de reverberación en la cámara reverberante	8
3.2.	9

Índice de cuadros

1.0.1.Requerimientos a cumplir	1
2.0.1.Niveles sonoros y tiempos de reverberación medidos	2
2.0.2.valores del Índice de Reducción Sonora R	4
2.0.3.Categorías de comportamiento de aislamiento al ruido aéreo	6
3.0.1.Tiempos de reverberación medidos, en seg	7
3.0.2.Coeficiente de absorción	9
3.0.3.Caption	10
4.0.1.Análisis final de los resultados para ruido ferroviario	11
4.0.2.Análisis final de los resultados para ruido de tráfico	11

1. Introducción

En el presente informe se analizan las características acústicas de pantallas diseñadas para favorecer el aislamiento del ruido aéreo y la absorción sonora, y para ser colocadas a lo largo del viaducto del Tren Mitre, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. La pantalla diseñada está conformada por la conjunción de una chapa de acero galvanizado (ciega), una capa de lana de roca, y una chapa de acero galvanizado perforada (densidad de perforación del 40 %).

Se realizan pruebas sobre muestras de $10m^2$ de dichas pantallas, en las cámaras de transmisión horizontal y de reverberación del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia (LAL) de la ciudad de La Plata. Allí, se miden niveles de presión sonora y tiempos de reverberación. Luego, se calculan parámetros a partir de los cuales se logra clasificar el material utilizado.

En definitiva, se desea verificar que las pantallas diseñadas cumplan con los requerimientos establecidos acorde a las siguiente normas (Tabla [1.0.1](#)):

Característica	Requerimiento	Normativa de aplicación
Aislamiento al ruido aéreo	Categoría B3	UNE-EN 1793-2:2014, Anexo A
Absorción sonora	Categoría A3	UNE-EN 1793-2:2014, Anexo A

Cuadro 1.0.1: Requerimientos a cumplir

2. Medición de Aislamiento Acústico

Se desea determinar si la pantalla diseñada cumple con el requerimiento de pertenecer a la Categoría B3 de la norma UNE-EN 1793-2:2014, Anexo A. Para ello se coloca una muestra de de $10m^2$ entre las cámaras de transmisión horizontal del LAL y se miden, a tercios de octavas entre las frecuencias 100Hz y 5000Hz, los niveles de presión sonora en cada cámara, el ruido de fondo y los tiempos de reverberación. Dichas mediciones se realizan respetando el procedimiento propuesto por la Norma IRAM 4063-3/2002: Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico a ruido aéreo de los elementos de construcción; e IRAM 4063-1/2002.

A partir de las mediciones realizadas se obtuvieron los datos presentados en la Tabla [2.0.1].

Banda	L1 (dB)	L2 (dB)	RF (dB)	TR (s)
50	62,5	52,9	17,9	6,910
63	62,6	51,3	19,5	7,780
80	76,5	61,4	23,4	7,320
100	80,0	66,6	34,7	5,970
125	81,2	68,6	27,4	5,300
160	80,6	64,4	19,6	3,690
200	77,9	59,4	9,2	2,950
250	79,1	56,0	6,5	2,080
315	79,6	52,7	5,8	2,210
400	82,8	52,1	4,5	1,880
500	81,8	47,9	3,8	1,880
630	78,2	44,2	5,3	1,780
800	77,7	44,7	5,1	1,800
1000	79,0	46,4	5,1	1,770
1250	78,1	46,0	9,7	1,730
1600	79,9	51,0	7,5	1,830
2000	79,8	50,8	7,1	1,840
2500	79,4	47,2	6,4	1,780
3150	79,1	50,1	6,9	1,810
4000	82,3	51,6	7,8	1,640
5000	80,7	50,5	8,0	1,480

Cuadro 2.0.1: Niveles sonoros y tiempos de reverberación medidos

El criterio de clasificación de la pantalla requiere el cálculo del Índice de evaluación del aislamiento acústico. Este mismo corresponde a la diferencia entre: la suma energética de niveles de presión sonora de cada tercio de octava (L_i), y la suma energética de la diferencia entre los niveles sonoros y el índice de reducción sonora ($L_i - R_i$).

$$\begin{aligned}
 DL_R &= 10 \cdot \log\left(\sum_{i=1}^{18} 10^{L_i/10}\right) - 10 \cdot \log\left(\sum_{i=1}^{18} 10^{(L_i - R_i)/10}\right) \\
 &= 10 \cdot \log\left(\sum_{i=1}^{18} 10^{L_i \cdot 0,1}\right) - 10 \cdot \log\left(\sum_{i=1}^{18} 10^{L_i \cdot 0,1} \cdot 10^{-R_i \cdot 0,1}\right)
 \end{aligned}$$

$$DL_R = -10 \cdot \log \left(\frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i} \cdot 10^{-0,1 \cdot R_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i}} \right) \quad (2.0.1)$$

En donde:

- R_i : Índice de reducción sonora en la i-ésima banda de tercio de octava correspondiente a la muestra ensayada.
- L_i : Nivel de presión sonora de ruido normalizado ponderado A, en dB, de la i-ésima banda de tercio de octava del ruido normalizado ferroviario (UNE-EN 16272-3).

Para obtener el resultado de dicha ecuación, necesitamos los valores de R_i para cada tercio de octava. Estos valores se obtienen de la siguiente forma:

$$R_i = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \left(\frac{S_{muestra}}{A_{iEq}} \right) \quad (2.0.2)$$

Donde:

- L_1 y L_2 : corresponden los niveles sonoros continuos equivalentes medidos en cámara emisora y receptora respectivamente, en dB.
- $S_{muestra}$: es la superficie real de la muestra ensayada, es decir, $10m^2$.
- A_{iEq} : área equivalente

Es necesario a continuación calcular el *área equivalente* del material ensayado (Ecuación (2.0.3)), correspondiente a la absorción de una superficie con coeficiente de absorción acústica igual a 1 y área igual a la absorción total del elemento.

$$A_{iEq} = \frac{55,3}{C} \cdot \frac{V_{Receptora}}{TR_i} \quad (2.0.3)$$

Donde:

- C : es la velocidad del sonido en $\frac{m}{seg}$, la cuál se calcula considerando la temperatura de las cámaras durante el ensayo mediante $C = 332 \cdot m/s + 0,608 \cdot T^\circ$. Para $T = 20^\circ C$, $C = 344,16m/seg$
- $V_{Receptora}$: Es el volumen de la cámara receptora, que es $113,9m^3$
- TR_i : Es el tiempo de reverberación percibido en la cámara receptora en la i-ésima banda medida.

A partir de estas relaciones, logramos obtener los valores del Índice de Reducción Sonora (R_i) plasmados en la Tabla [2.0.2]:

Banda	R[dB]
50	15,37
63	17,59
80	21,12
100	18,54
125	17,22
160	19,25
200	20,57
250	23,66
315	27,72
400	30,82
500	34,02
630	33,88
800	32,93
1000	32,46
1250	31,86
1600	28,90
2000	29,02
2500	32,08
3150	28,95
4000	30,22
5000	29,28

Cuadro 2.0.2: valores del Índice de Reducción Sonora R

A partir de los valores obtenidos, comenzamos el análisis de las mediciones realizadas. En primer lugar, sabemos que el instrumento de medición ubicado en la cámara receptora estará ligado a un ruido de fondo indicado en la tabla [2.0.1]. Bajo esta consideración, presentamos un gráfico con los valores obtenidos. En el Gráfico [2.1] podemos observar de forma simultánea, los niveles sonoros medidos en la cámara emisora y la cámara receptora, y el ruido de fondo de la sala cuando no se está emitiendo la banda de sonido de prueba.

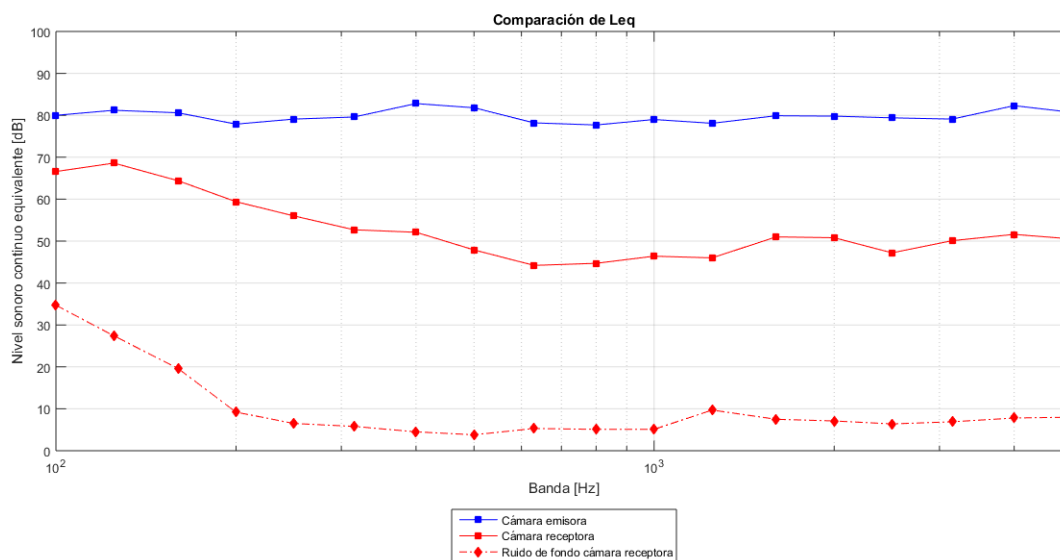


Figura 2.1: Comparación de niveles sonoros medidos

En primer lugar, se observa con claridad una reducción en el nivel sonoro en la cámara receptora respecto a la emisora. Dicha diferencia, se hace más notable a frecuencias mayores, donde el material es más efectivo. Comienza por haber una diferencia de 10dB a bajas frecuencias y alcanza una diferencia máxima de 35dB.

También puede observarse que los niveles sonoros del ruido de fondo de la cámara receptora, son muy bajos en comparación con los sonidos de prueba, mayores a 25dB. Aún así se realiza la resta energética de los niveles medidos con el ruido de fondo para que este último no afecte en lo más mínimo con el análisis.

Una vez realizada dicha corrección, se calculan los valores de R_i pertinentes, utilizando las ecuaciones mencionadas. Los resultados pueden observarse en el cuadro [2.0.2], junto con el gráfico de la curva de R en la figura [2.2].

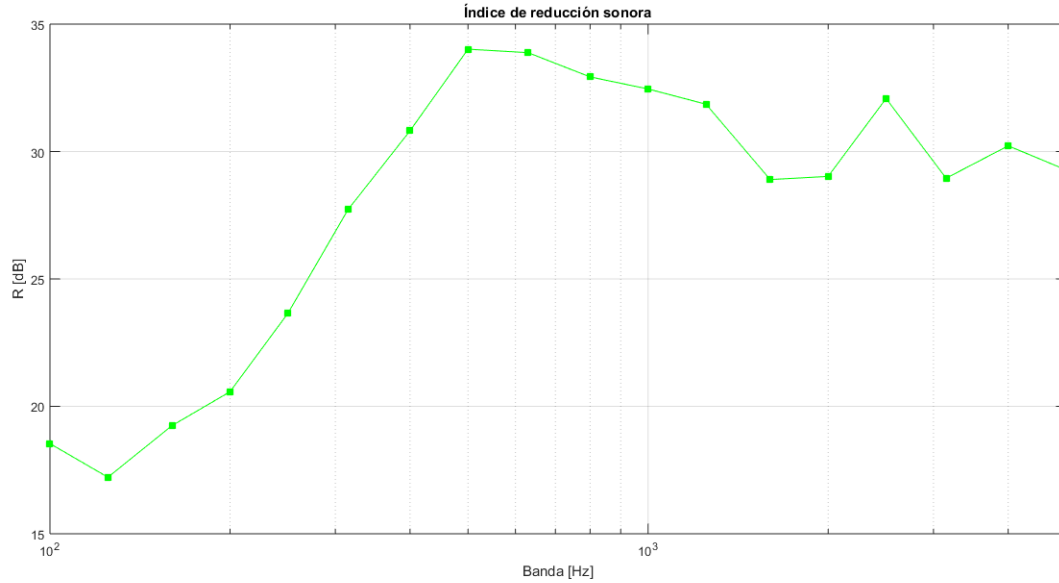


Figura 2.2: Curva de R

Como se observó en la Figura 1 y consecuentemente, era de esperarse en la Figura 2, existe una diferencia en la reducción sonora entre bajas y altas frecuencias. Alcanzando una diferencia máxima de $16dB$, y un valor máximo a los $50Hz$.

A partir de los datos de la Tabla [2.0.1], los valores de R obtenidos y de la ecuación (2.0.1), se obtiene el Índice de evaluación del aislamiento acústico:

$$DL_R = 29,5887 \approx 30$$

Para definir la categoría a la que pertenece la pantalla utilizada, es necesario conocer los valores de DL_R asignados de acuerdo a la clasificación de la norma UNE-EN 1793-2:2014, Anexo A, presentados en el Cuadro 4.

Categoría	DL_R en dB
B_0	No determinado
B_1	$DL_R < 15$
B_2	15 a 24
B_3	25 a 34
B_4	$DL_R > 34$

Cuadro 2.0.3: Categorías de comportamiento de aislamiento al ruido aéreo

De forma concluyente en esta sección, podemos determinar que la pantalla diseñada corresponde a la categoría B_3 , como era deseado. Por ende, se determina válida su implementación en términos del aislamiento acústico buscado.

3. Medición de Absorción en cámara reverberante

Para calcular la absorción sonora se deben medir los tiempos de reverberación siguiendo el procedimiento de la Norma IRAM 4065/1995 “Acústica. Medición de absorción de sonido en sala reverberante”.

Durante el ensayo se utilizan 2 posiciones diferentes de las fuentes sonoras y 6 posiciones del micrófono, realizándose 3 registros por cada combinación fuente-micrófono. De este modo, cada tiempo de reverberación es el resultado del promedio de 36 caídas. Este procedimiento se lleva a cabo para dos condiciones: la cámara vacía y la cámara con la muestra ensayada en su interior, obteniéndose los resultados del cuadro [3.0.1].

Banda TR	Sala con muestra (T2)	TR Sala vacía (T1)
100	4,60	14,92
125	4,47	12,22
160	3,71	9,97
200	3,20	9,08
250	2,89	9,19
315	2,72	9,74
400	2,38	8,74
500	2,28	7,59
630	2,26	7,15
800	2,21	7,03
1000	2,28	7,21
1250	2,23	6,58
1600	2,21	5,87
2000	2,23	5,08
2500	2,22	4,44
3150	2,17	3,59
4000	2,08	2,98
5000	1,84	2,29

Cuadro 3.0.1: Tiempos de reverberación medidos, en seg

En este caso, se desea clasificar la pantalla implementada de acuerdo a las categorías de la norma UNE-EN 1793-2: “Características intrínsecas relativas al aislamiento al ruido aéreo en condiciones de campo sonoro difuso”. Para ello, se calcula el número global:

$$DL_{\alpha} = -10 \cdot \log\left(\frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i} \cdot \alpha_{si}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i}}\right) \quad (3.0.1)$$

Donde:

- α_{si} : Coeficiente de absorción sonora de la i-ésima banda de tercio de octava.
- L_i : Nivel de presión sonora de ruido normalizado ponderado A, en dB, de la i-ésima banda de tercio de octava del ruido normalizado ferroviario.

Para obtener los resultados de dicha ecuación, se necesitan los valores de relación de absorción sonora α . Para obtener dicho valor, utilizamos nuevamente la expresión del área acústica equivalente del material, pero considerando ambos tiempos de reverberación como se muestra en la ecuación (3.0.2):

$$A_{iEq} = 55,3 \cdot \frac{V_{camara}}{C} \cdot \left(\frac{1}{TR_2} - \frac{1}{TR_1} \right) \quad (3.0.2)$$

Donde:

- V_{camara} : En este caso $189m^3$.
- C : Velocidad del sonido a temperatura $26,7^\circ$. Entonces $C = 348,23m/seg$.
- TR_1 y TR_2 : Los tiempos de reverberación de la cámara vacía y con la muestra respectivamente.

A partir de este resultado, solo queda utilizar la relación :

$$\alpha_{si} = A_{iEq}/S_{muestra}; \quad (3.0.3)$$

Donde $S_{muestra} = 10m^2$ es la superficie de muestra utilizada.

Podemos observar en la figura [3.1] como se comparan los tiempos de reverberación. Queda en evidencia, que el tiempo de reverberación disminuye con la inclusión de la muestra en la sala y su efectividad disminuye a medida que aumenta la frecuencia.

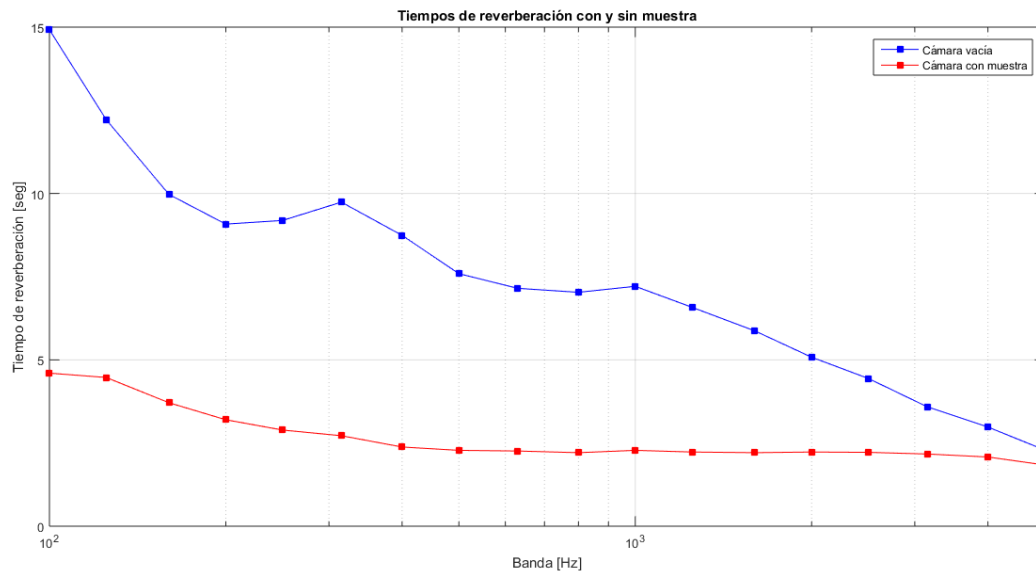


Figura 3.1: Tiempos de reverberación en la cámara reverberante

Presentamos en el cuadro [3.0.2] y en la figura [3.2] los resultados obtenidos mediante las mediciones.

Banda	Coef Absorción
100	45,13
125	42,58
160	50,79
200	60,74
250	71,19
315	79,53
400	91,77
500	92,09
630	90,83
800	93,11
1000	90,01
1250	88,98
1600	84,68
2000	75,51
2500	67,60
3150	54,71
4000	43,58
5000	32,05

Cuadro 3.0.2: Coeficiente de absorción

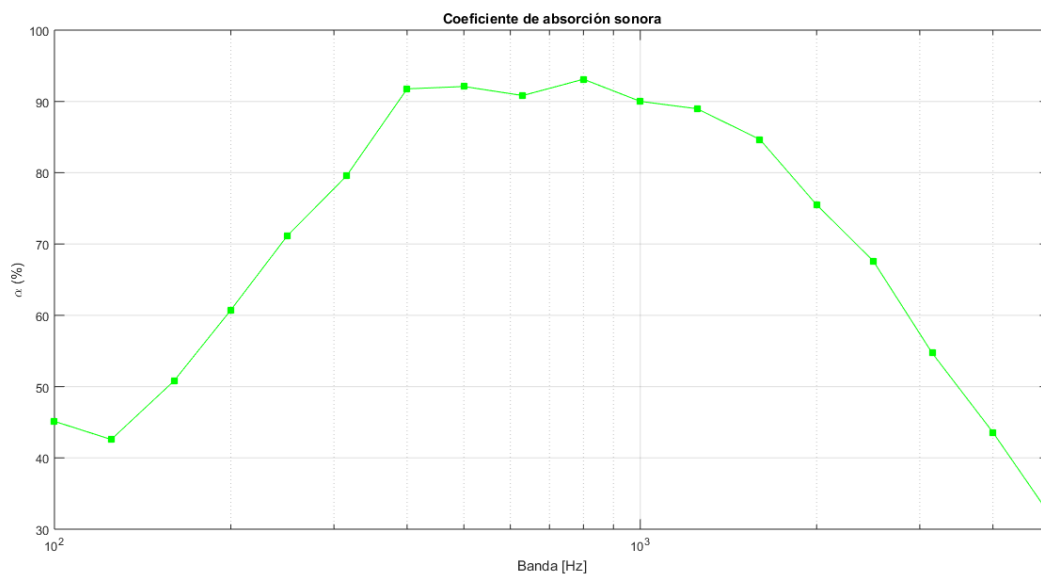


Figura 3.2

A partir de dichos resultados, podemos obtener el valor de evaluación:

$$DL_{\alpha} = 6,4780 \approx 6 \quad (3.0.4)$$

Por lo tanto, podemos confirmar que el material cumple con la categoría A_2 .

Categoría	DL_α en dB
A0	No determinado
A1	$DL_\alpha < 4$
A2	4 a 7
A3	8 a 11
A4	12 a 15
A5	$DL_\alpha > 15$

Cuadro 3.0.3: Caption

Característica	Categoría Requerida	Categoría Obtenida	Cumple
Aislamiento al ruido aéreo	B_3	B_3	Sí
Absorción sonora	A_3	A_2	No

Cuadro 4.0.1: Análisis final de los resultados para ruido ferroviario

Característica	Categoría Requerida	Categoría Obtenida	Cumple
Aislamiento al ruido aéreo	B_3	B_3	Sí
Absorción sonora	A_3	A_2	No

Cuadro 4.0.2: Análisis final de los resultados para ruido de tráfico

4. Análisis de resultados obtenidos

Los requerimientos de la obra especifican que las pantallas a utilizar deben ser categoría B_3 en aislamiento al ruido aéreo y categoría A_3 en absorción sonora.

Dado los resultados obtenidos en las secciones anteriores podemos definir:

Por lo tanto, queda en evidencia que el panel **no cumple** con las especificaciones requeridas.

En el caso que los paneles se quieran instalar en una autopista y los requerimientos acústicos fueran los mismos, utilizamos las mismas mediciones pero al momento de calcular los índices de evaluación, se utilizan los espectros normalizados de ruido de tráfico (UNE-EN 1793-3). Se obtienen los siguientes valores de índices

$$DL_R(\text{Tráfico}) = 28,0657 \approx 28 \quad (4.0.1)$$

$$DL_\alpha(\text{Tráfico}) = 7,3446 \approx 7 \quad (4.0.2)$$

En este caso podemos ver en el cuadro [4.0.2]:

El desempeño mejora para el caso de ruido de tráfico para el caso de absorción. El espectro es importante para analizar que ruidos tienen dominancia (graves o agudos) y a partir de esto decidir si el material es adecuado para lo que necesitamos. En el caso de los ruidos ferroviarios, predominan los ruidos agudos, y en el caso del tráfico, los graves. Aún así, observamos que estamos en la misma situación que en el caso de ruido ferroviario y **no se cumplen** las características suficientes para cumplir con los requerimientos.

5. Bibliografía

Referencias

- [1] *Digital Design: Principles and Practices (4th Edition)*

Author: John F. Wakerly

Publisher: Pearson

Copyright: © 2006, Pearson

ISBN 13: 9780131863897

Website: [Digital Design: Principles and Practices \(4th Edition\)](#)

- [2] *Electrónica digital integrada (1^{er} Edición)*

Author: Taub, Herbert

Author: Schilling, Donald

Publisher: Marcombo, S.A., Madrid

Copyright: © 1980, Marcombo, S.A

ISBN 10: 8426703852

ISBN 13: 9788426703859

Website: [Electrónica digital integrada \(1^{er} Edición\)](#)

- [3] *Microelectronic circuits (5th Edition)*

Author: Adel. S. Sedra

Author: Kenneth C. Smith

Publisher: Oxford, University press; 5th Edition (2004)

Copyright: © 2004, 1998, 1991, 1987, 1982, Oxford, University press Inc.

ISBN 10: 0195142527

Website: [Microelectronic circuits \(5th Edition\)](#)

Apéndices