

Tema 1 – Muestreo de señales continuas

3º Ingeniería Sistemas de Telecomunicación

FPS – Univ. San Pablo – CEU

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Muestreo Periódico

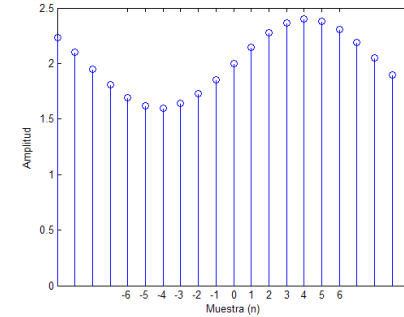
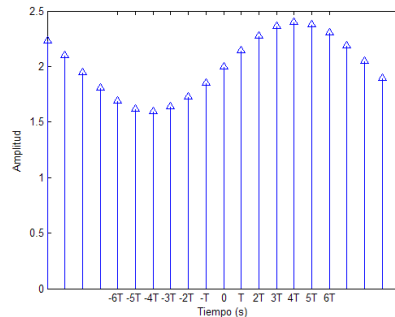
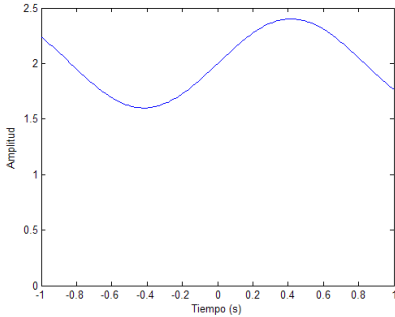
The logo for Cartagena99 features the text "Cartagena99" in a stylized, dark green font. The "99" is significantly larger and more prominent than the "Cartagena" part. The text is set against a light blue background with a white swoosh underneath, all contained within a yellow rectangular box.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

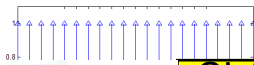
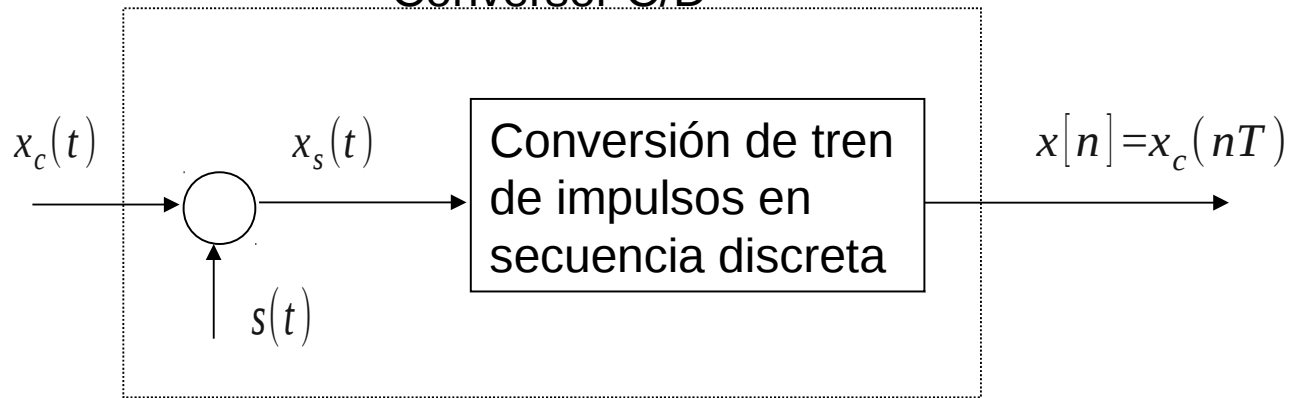
- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Muestreo periódico



Convertor C/D



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TDS EPS-San Pablo CEU

3

Representación del muestreo en el dominio de la frecuencia

Dominio del tiempo

Dominio de la frecuencia

Applet:

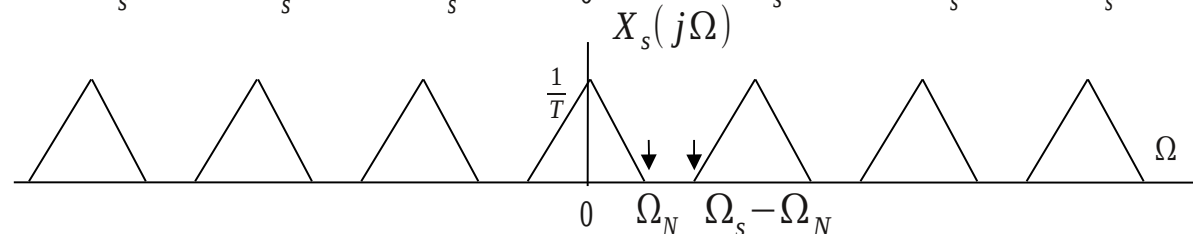
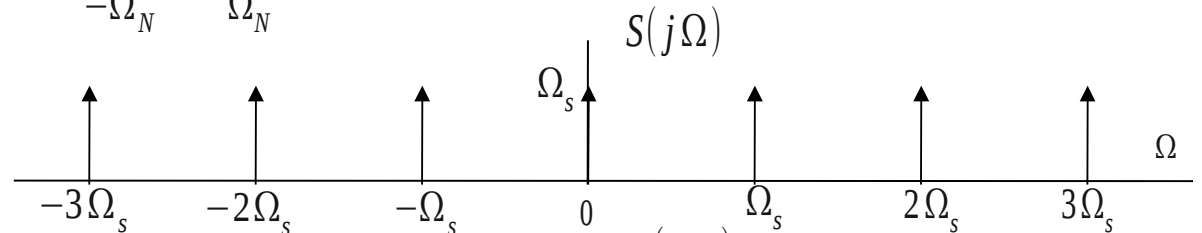
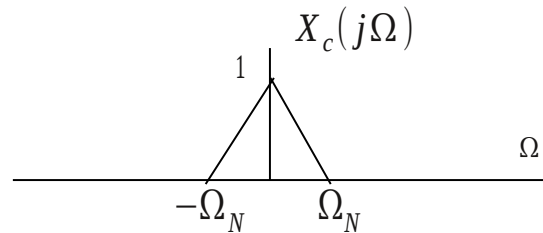
<http://www.jhu.edu/~signals/sampling/index.html>

$$x_c(t)$$

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$$

$$x_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_c(nT) \delta(t - nT)$$

$$x[n] = x_c(nT)$$



$$X(e^{j\omega})$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Representación del muestreo en el dominio de la frecuencia

Dominio del tiempo

Dominio de la frecuencia

$$x_c(t)$$

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t-nT)$$

$$x_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_c(nT)\delta(t-nT)$$

$$x[n] = x_c(nT)$$

$$X_c(j\Omega)$$

$$S(j\Omega) = \Omega_s \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(\Omega - k\Omega_s) \quad \Omega_s = \frac{2\pi}{T} \quad (1.1)$$

$$X_s(j\Omega) = \frac{1}{2\pi} X_c(j\Omega) * S(j\Omega) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_c(j(\Omega - k\Omega_s)) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_c(nT) e^{-j\Omega nT} \quad (1.2)$$

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-j\omega n} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_c(nT) e^{-j\omega n} \quad (1.3)$$

$$(1.4) \quad X(e^{j\Omega T}) = X_s(j\Omega)$$

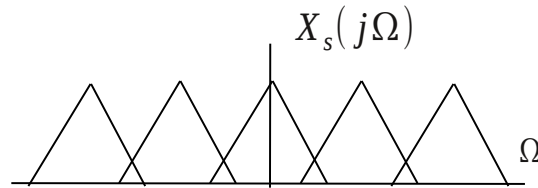
$$(1.5) \quad X(e^{j\omega}) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_c(j(\frac{\omega}{T} - k\frac{2\pi}{T}))$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

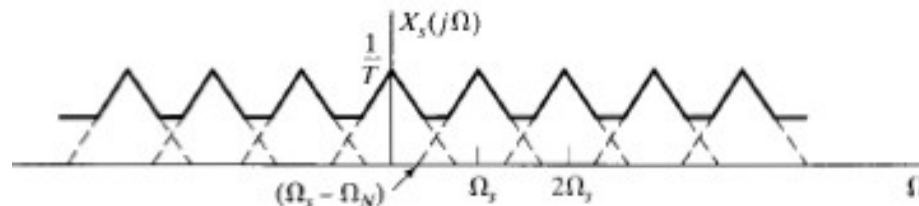
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Aliasing

Se produce aliasing cuando $\Omega_N > \Omega_s - \Omega_N$ (1.7)



(c)



(d)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

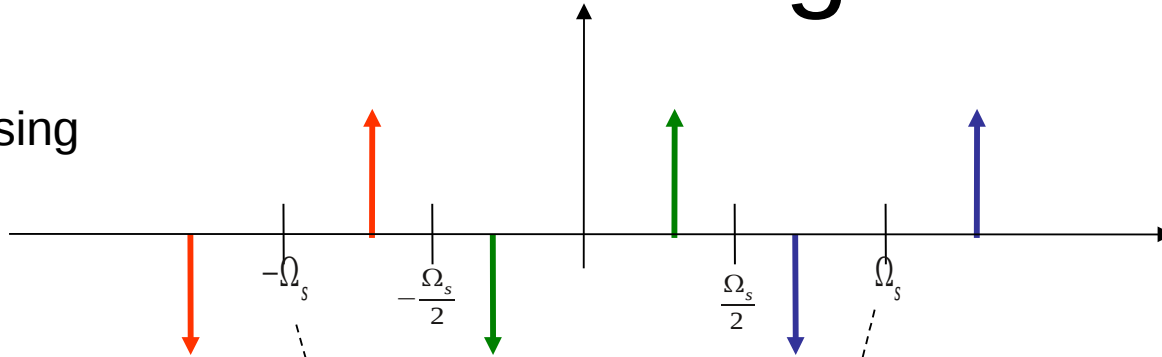
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

TDS EPS-San Pablo CEU

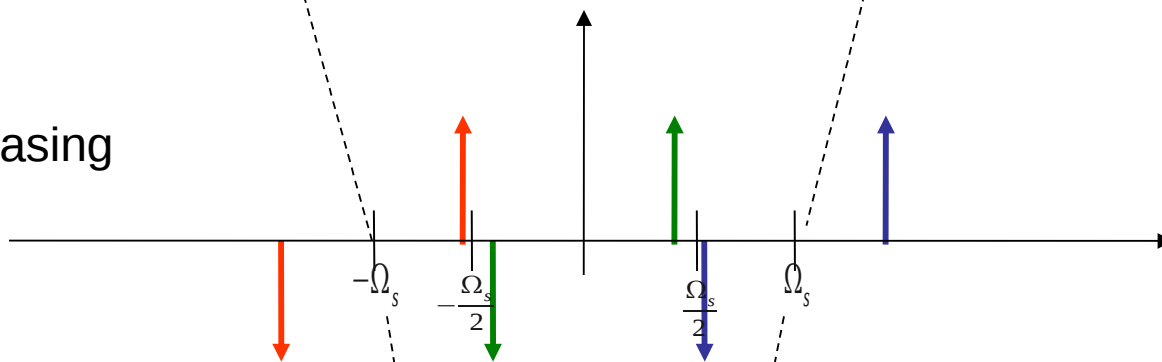
6

Aliasing

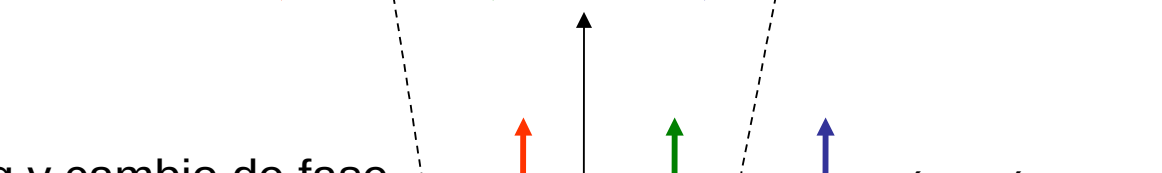
No aliasing



Casi aliasing



Aliasing y cambio de fase

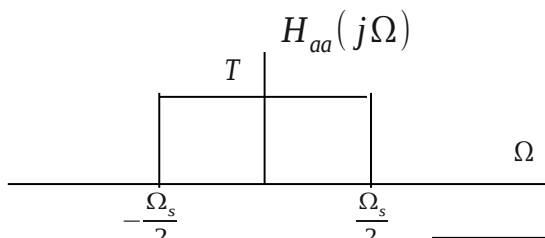
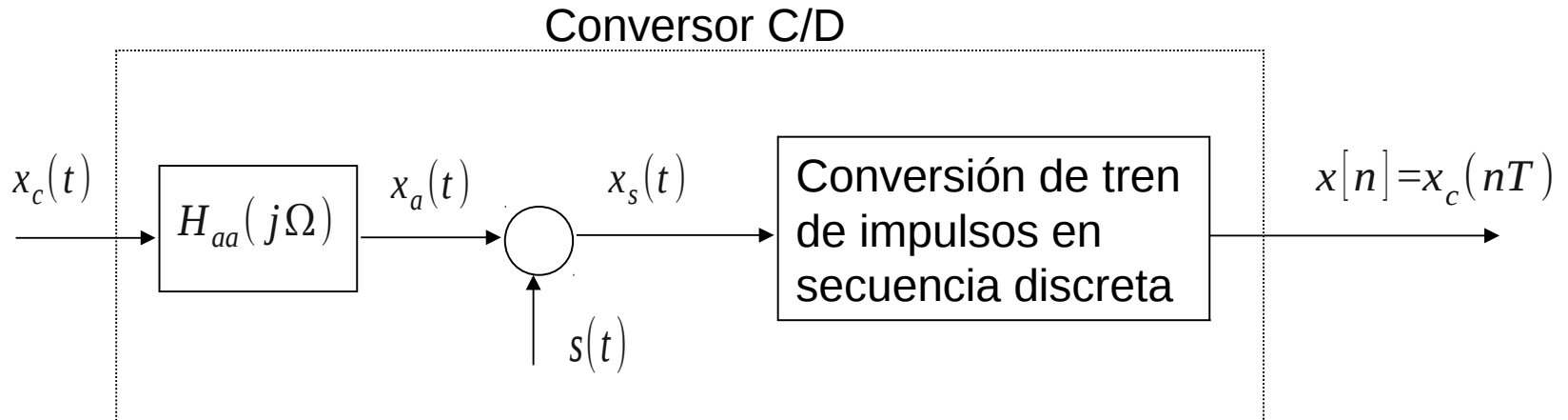


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Filtro Anti-aliasing



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TDS EPS-San Pablo CEU

8

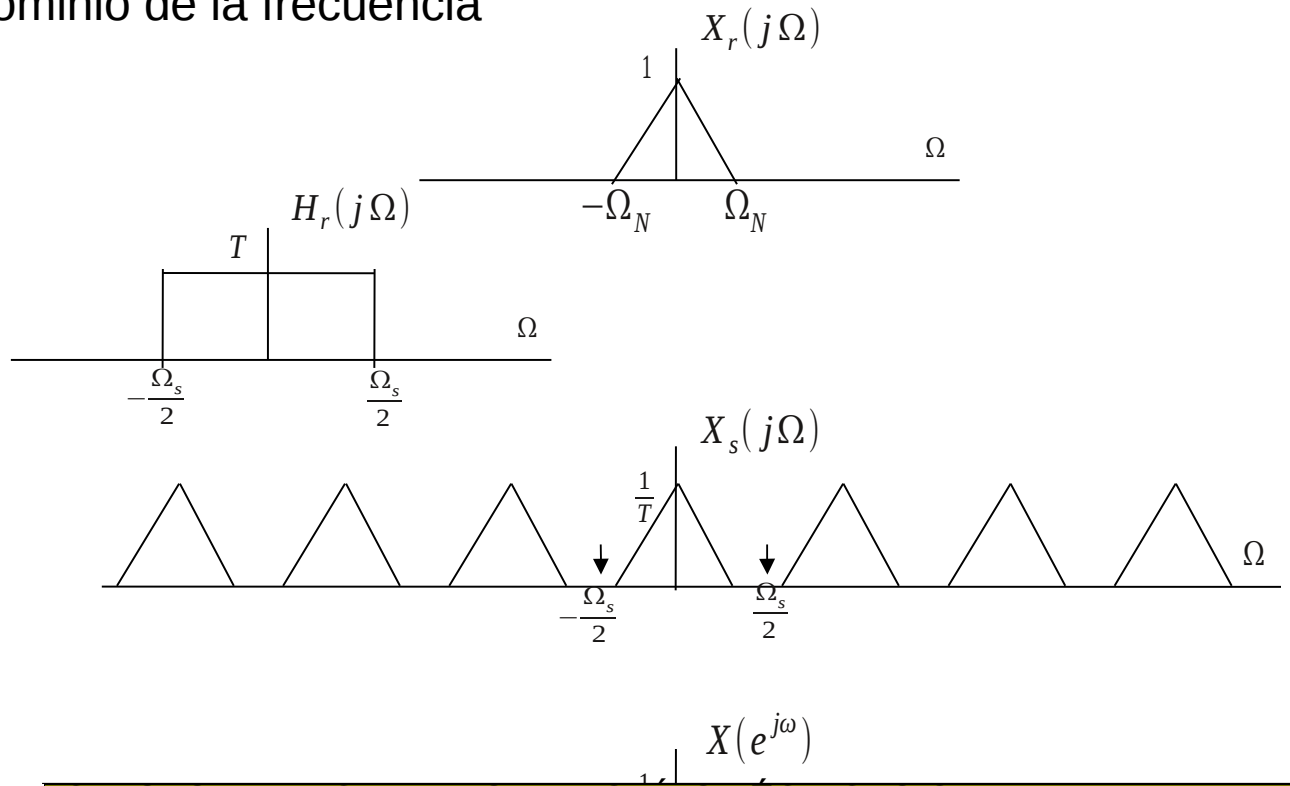
Reconstrucción de la señal

Dominio del tiempo

Dominio de la frecuencia

$$x_r(t) = x_s(t) * h_r(t)$$

$$x_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \delta(t - nT)$$

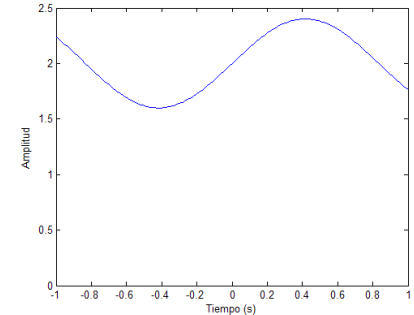
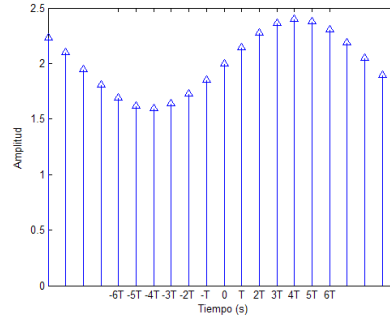
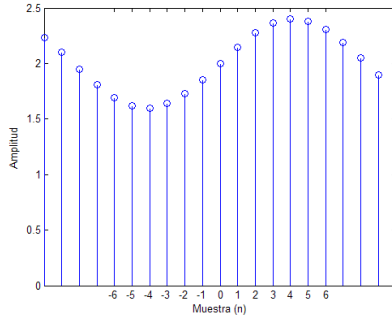


Cartagena99

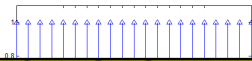
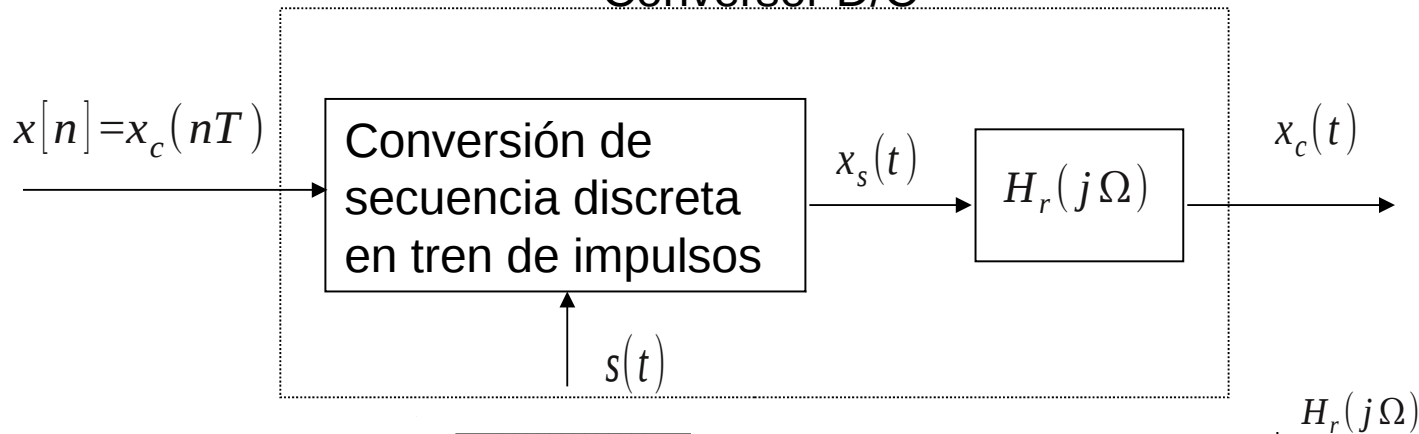
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Reconstrucción de la señal



Convertor D/C



$H_r(j\Omega)$
 T

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

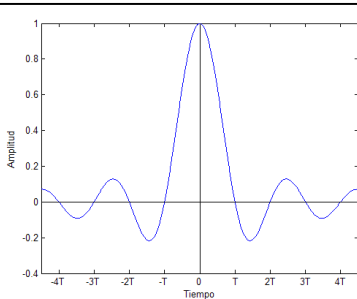
TDS EPS-San Pablo CEU

10

Reconstrucción de la señal

Dominio del tiempo

$$x_r(t) = x_s(t) * h_r(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] h_r(t - nT) \quad (1.11)$$



$$h_r(t) = \text{sinc}\left(\frac{t}{T}\right)$$

$$x_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \delta(t - nT) \quad (1.13)$$

$$x[n] = x_c(nT) \quad (1.15)$$

Dominio de la frecuencia

$$X_r(j\Omega) = H_r(j\Omega) X_s(j\Omega) = H_r(j\Omega) X(e^{j\Omega T}) \quad (1.12)$$

$$X_s(j\Omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-j\Omega nT} = X(e^{j\Omega T}) \quad (1.14)$$

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-j\omega n} \quad (1.16)$$

Cartagena99

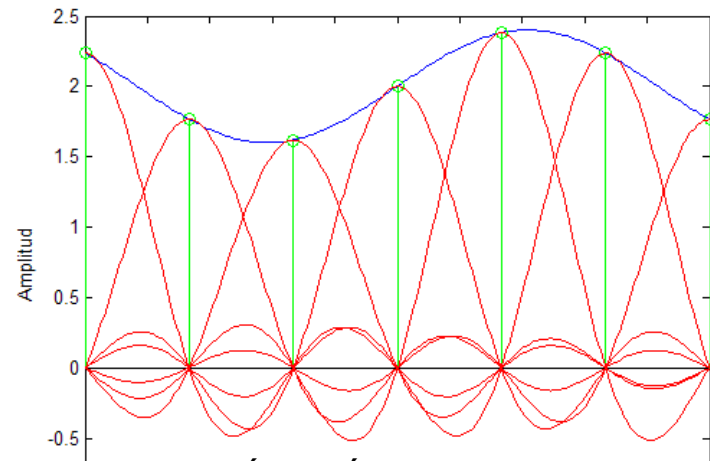
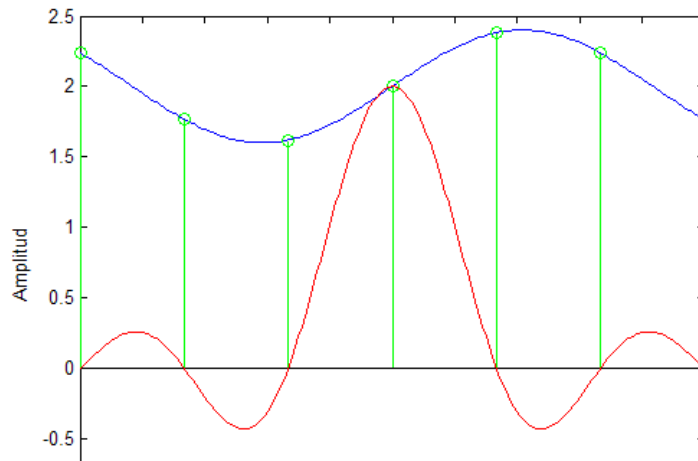
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Reconstrucción de la señal

$$x_r(t) = x_s(t) * h_r(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] h_r(t - nT) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \frac{\text{sen}[\pi(t - nT)/T]}{\pi(t - nT)/T}$$

$$h_r(t) = \text{sinc}\left(\frac{t}{T}\right)$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TDS EPS-San Pablo CEU

12

Teorema del muestreo (1.17)

Sea una señal $x_c(t)$ limitada en ancho de banda cuya frecuencia máxima es f_{\max} . Entonces, esta señal se puede recuperar exactamente a partir de sus muestras tomadas a una frecuencia $\frac{1}{T} = f_s \geq 2f_{\max}$ mediante la

función de interpolación $h_r(t) = \text{sinc}\left(\frac{t}{T}\right)$. La fórmula correspondiente de

interpolación es $x_r(t) = x_s(t) * h_r(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]h_r(t-nT)$

The logo for Cartagena99, featuring the text "Cartagena99" in a stylized font with a blue and orange gradient background.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cambio de la Frecuencia de Muestreo

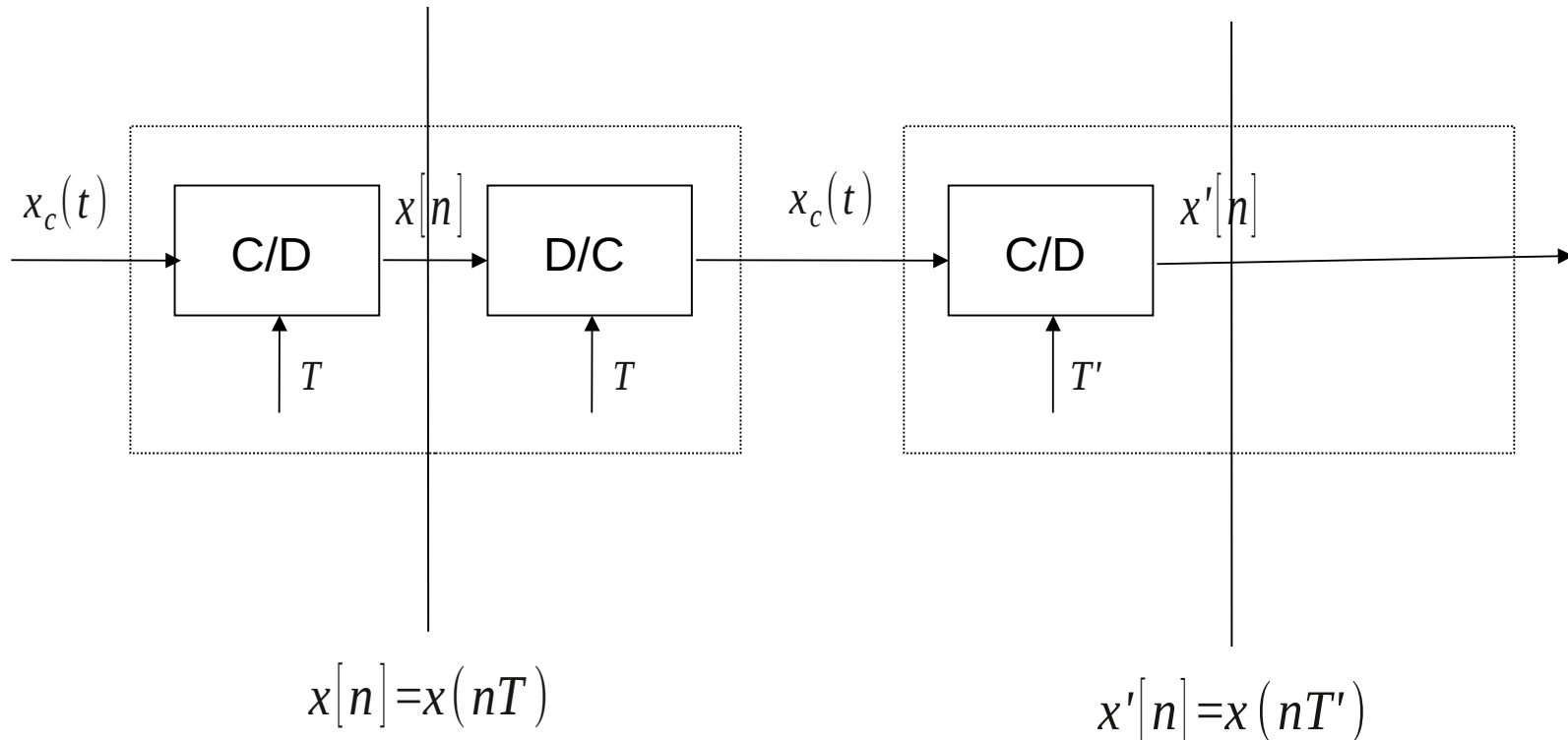
The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, dark green font. The '99' is significantly larger and more prominent than the rest of the text. The logo is set against a light blue and orange gradient background that resembles a stylized wave or a banner.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cambio de la frecuencia de muestreo

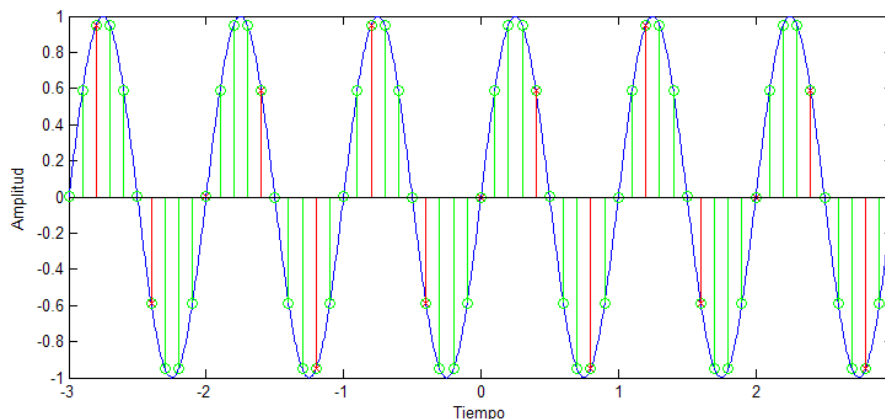
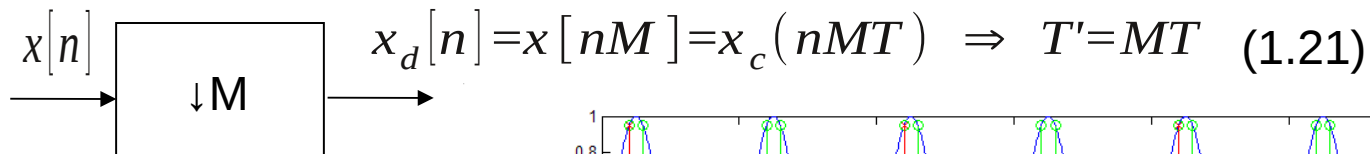


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Reducción de la frecuencia de muestreo



$$[1.4] \quad X(e^{j\omega}) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_c(j(\frac{\omega}{T} - k\frac{2\pi}{T}))$$

$$r = i + kM$$

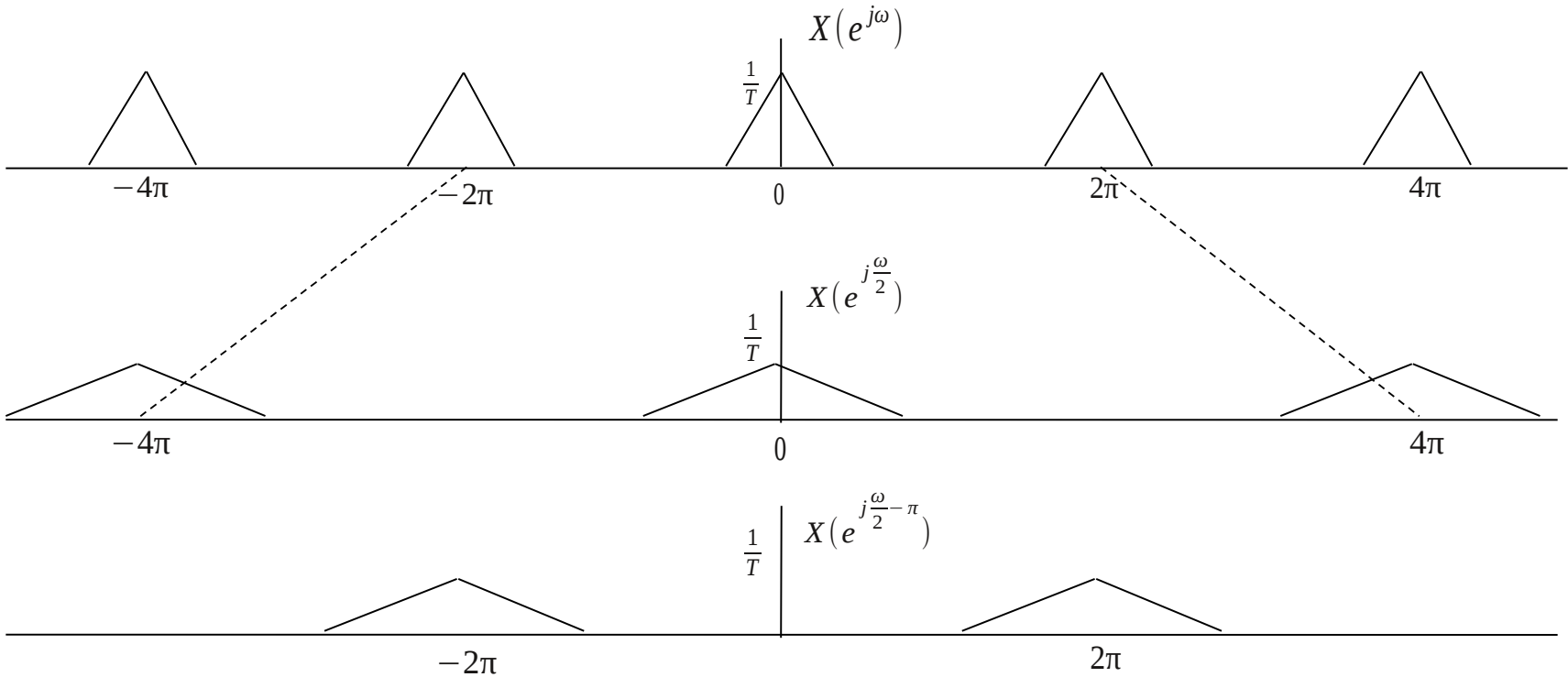
$$X_d(e^{j\omega}) = \frac{1}{T'} \sum_{r=-\infty}^{\infty} X_c(j(\frac{\omega}{T'} - r\frac{2\pi}{T'})) = \frac{1}{MT} \sum_{r=-\infty}^{\infty} X_c(j(\frac{\omega}{MT} - r\frac{2\pi}{MT})) = \begin{matrix} \downarrow \\ -\infty < k < \infty \\ 0 \leq i \leq M - 1 \end{matrix}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Reducción de la frecuencia de muestreo



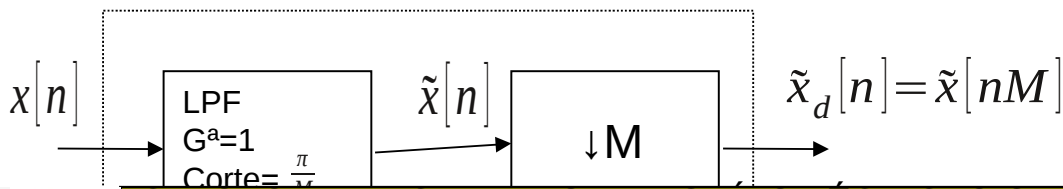
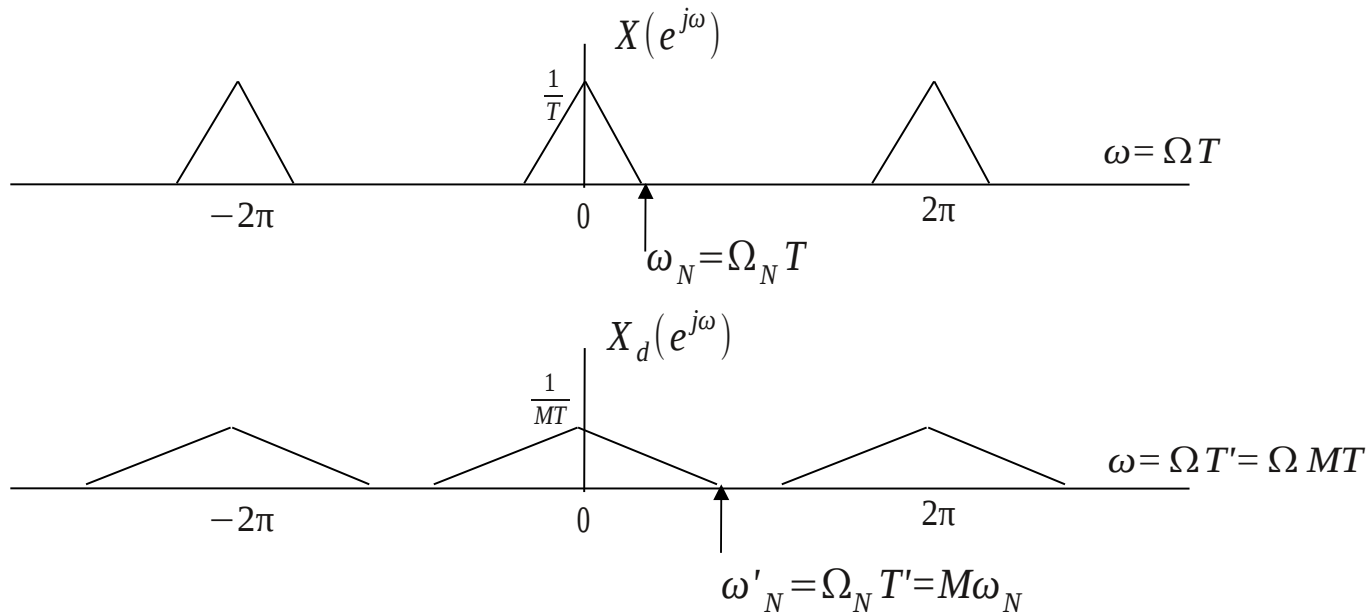
$$X_d(e^{j\omega}) = \frac{1}{2} X(e^{j\frac{\omega}{2}}) + \frac{1}{2} X(e^{j(\frac{\omega}{2}-\pi)})$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Reducción de la frecuencia de muestreo

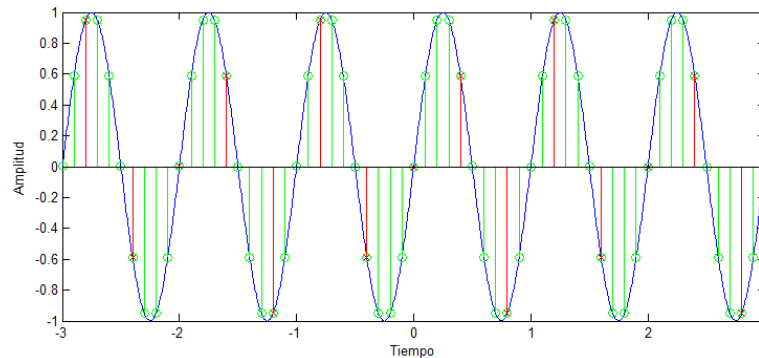
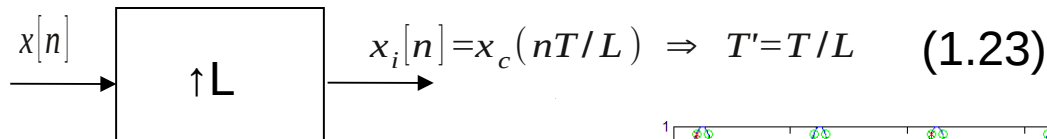


Cartagena99

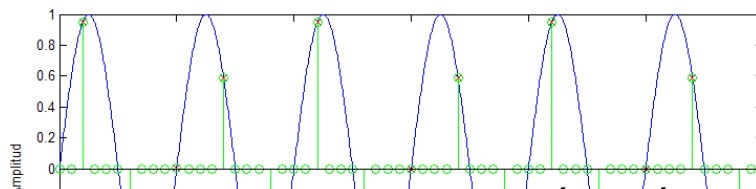
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Incremento de la frecuencia de muestreo



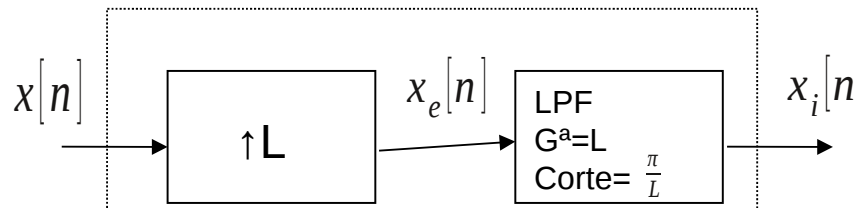
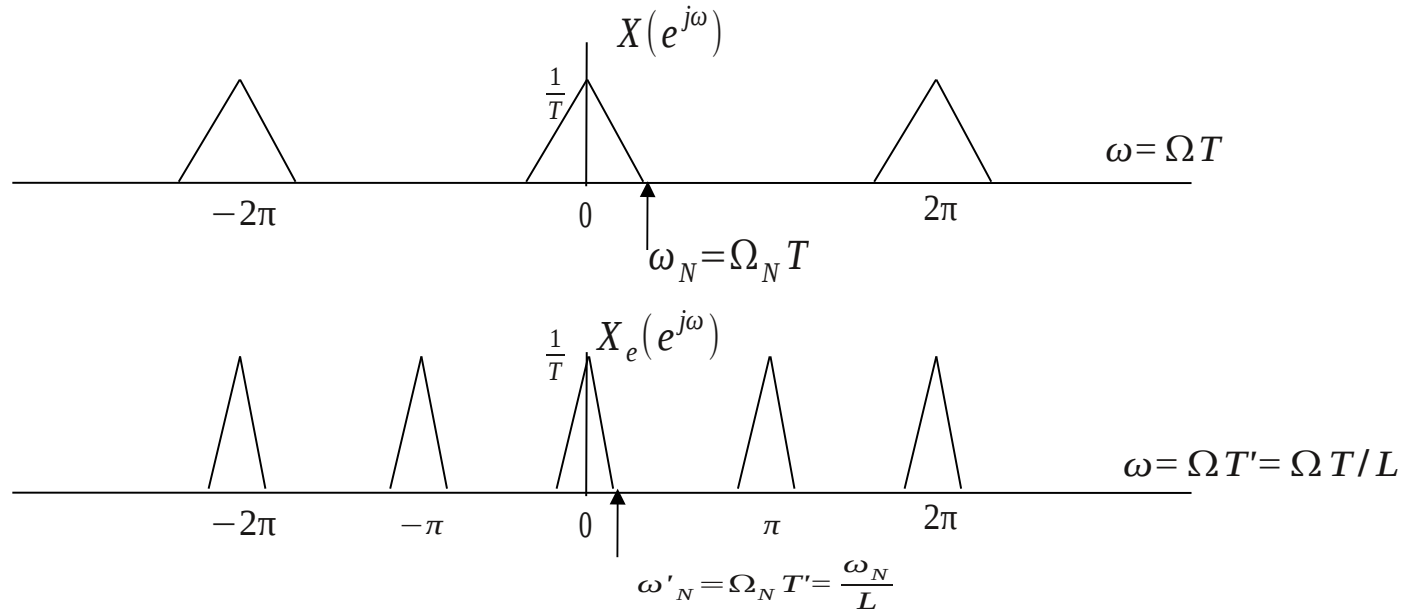
$$(1.24) \quad x_e[n] = \begin{cases} x[n/L] & n=0, \pm L, \pm 2L, \dots \\ 0 & \text{resto} \end{cases} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] \delta[n - kL] \longleftrightarrow X_e(e^{j\omega}) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] e^{j\omega k L} = X(e^{j\omega L}) \quad (1.25)$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Incremento de la frecuencia de muestreo

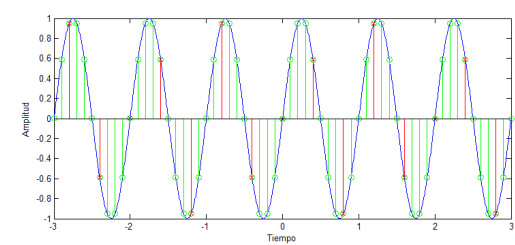
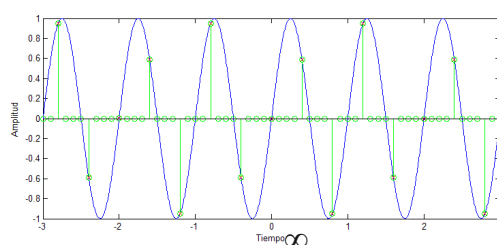
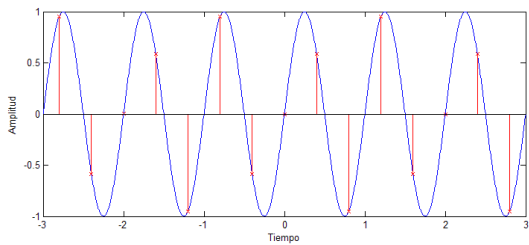
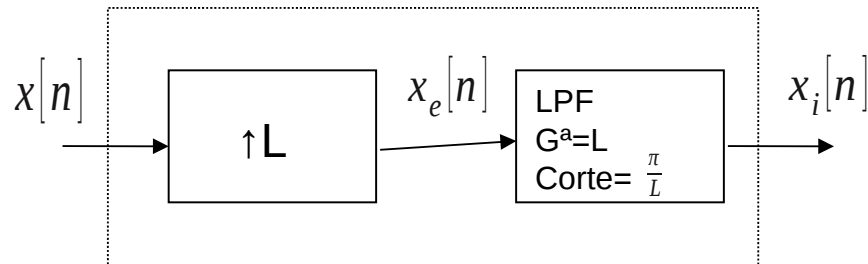


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

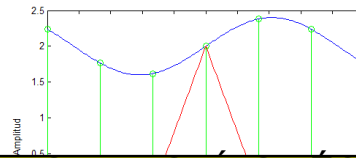
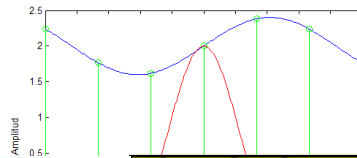
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Incremento de la frecuencia de muestreo



$$x_i[n] = x_e[n] * h_i[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x_e[kL] h_i[n - kL] \quad (1.26)$$

$$h_i[n] = \text{sinc}\left(\frac{n}{L}\right) \quad (1.27)$$



$$h_i[n] = \begin{cases} 1 - \frac{|n|}{L} & |n| < L \\ 0 & \text{resto} \end{cases}$$

Cartagena99

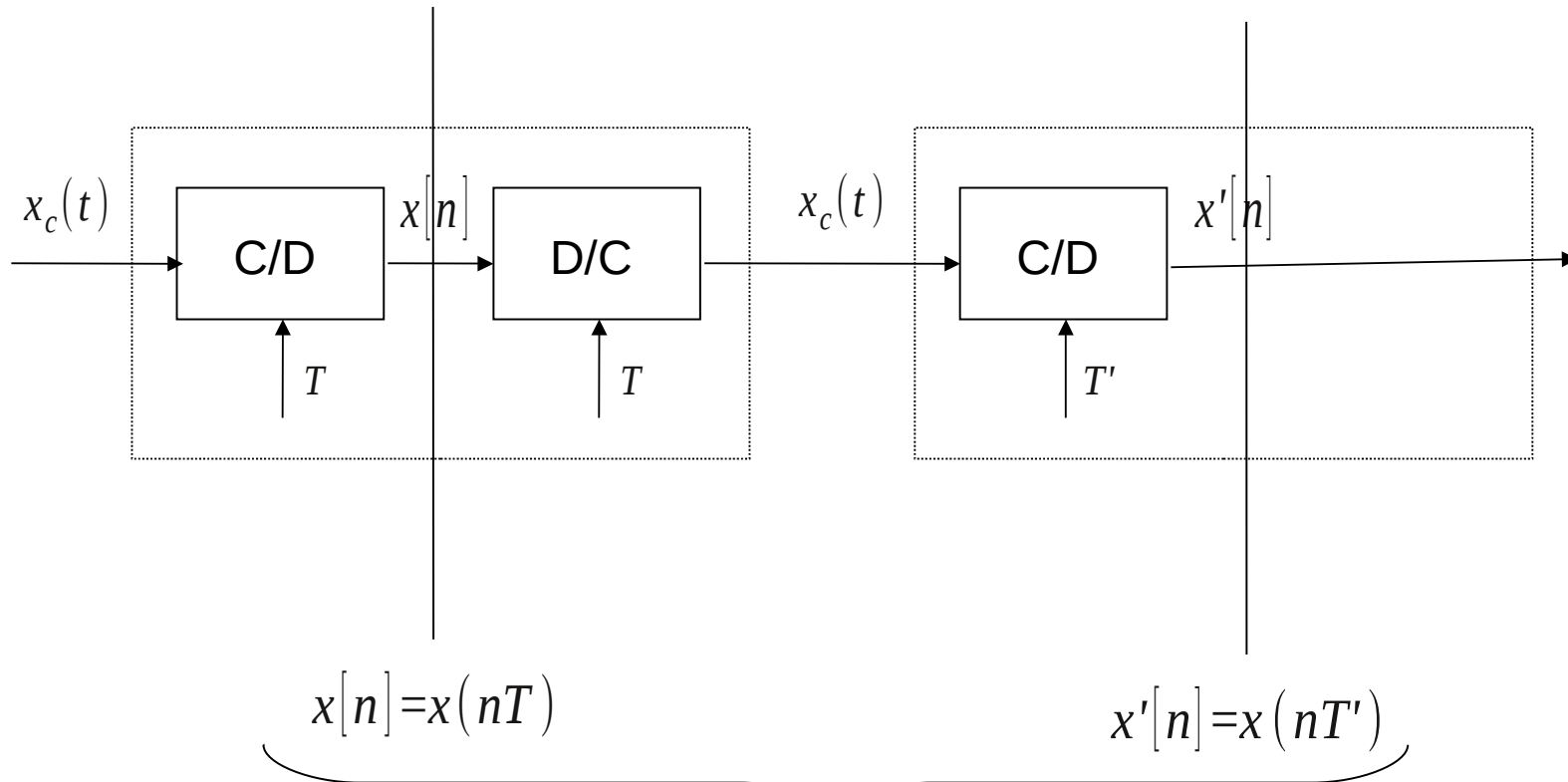
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TDS EPS-San Pablo CEU

21

Cambio de la frecuencia de muestreo por un factor racional

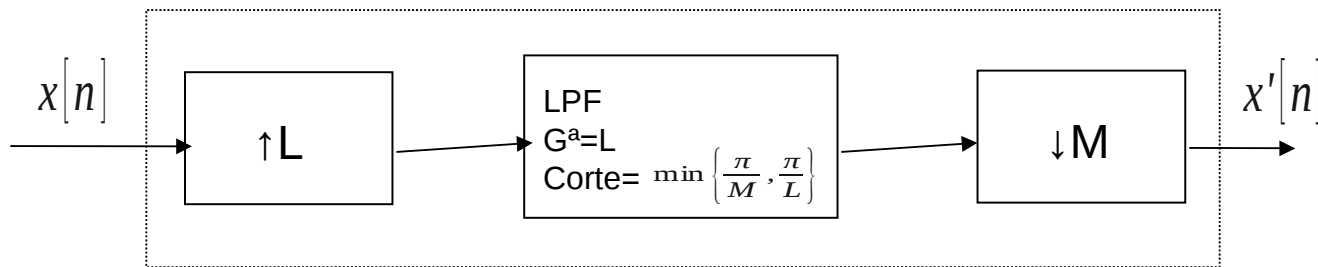
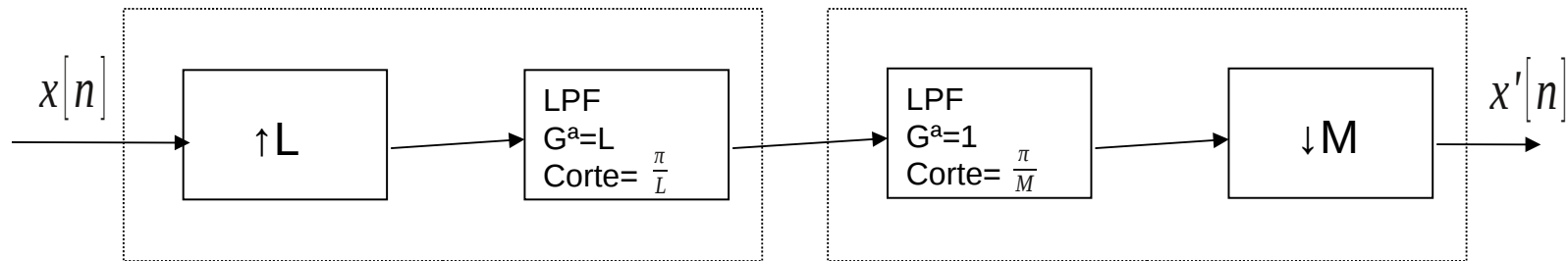


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cambio de la frecuencia de muestreo por un factor racional



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Procesado discreto de señales continuas

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, dark green font. The '99' is significantly larger and more prominent than the rest of the text. The logo is set against a light blue and orange gradient background that resembles a stylized wave or a banner.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Procesado discreto de señales continuas

Ejemplo:

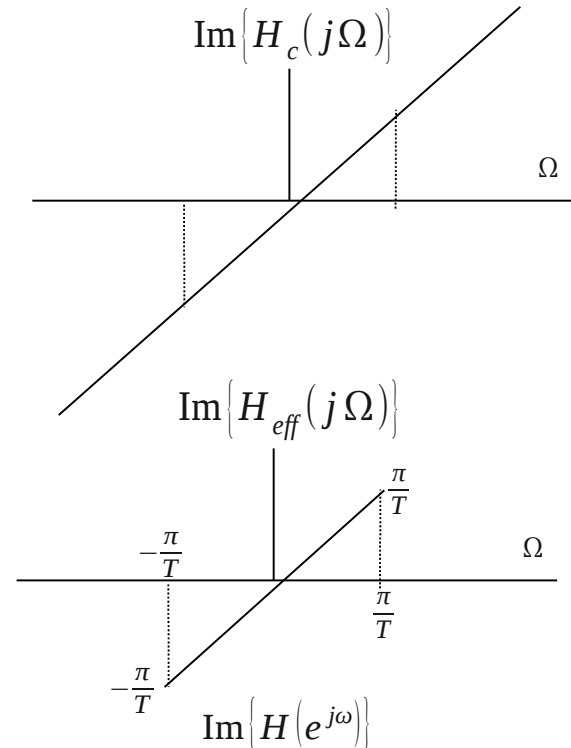


$$y_c(t) = \frac{dx_c(t)}{dt}$$

$$H_c(j\Omega) = j\Omega$$

$$H_{eff}(j\Omega) = \begin{cases} j\Omega & |\Omega T| < \pi \\ 0 & \text{resto} \end{cases}$$

$$H(e^{j\omega}) = j \frac{\omega}{T} \quad \forall \omega : |\omega| < \pi$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

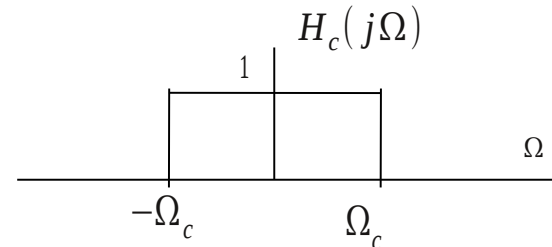
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Procesado discreto de señales continuas



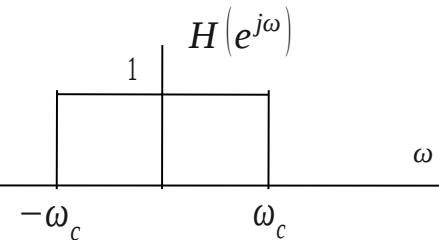
Ejemplo:

$$H_c(j\Omega) = H_{eff}(j\Omega) = \begin{cases} 1 & |\Omega| < \Omega_c : \Omega_c T < \pi \\ 0 & \text{resto} \end{cases}$$



$$h(t) = \frac{\Omega_c}{\pi} \text{sinc}\left(\frac{\Omega_c}{\pi} t\right)$$

$$h[n] = T h(nT) = T \frac{\Omega_c}{\pi} \text{sinc}\left(\frac{\Omega_c}{\pi} nT\right) = \frac{\omega_c}{\pi} \text{sinc}\left(\frac{\omega_c}{\pi} n\right)$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Muestreo de señales paso banda

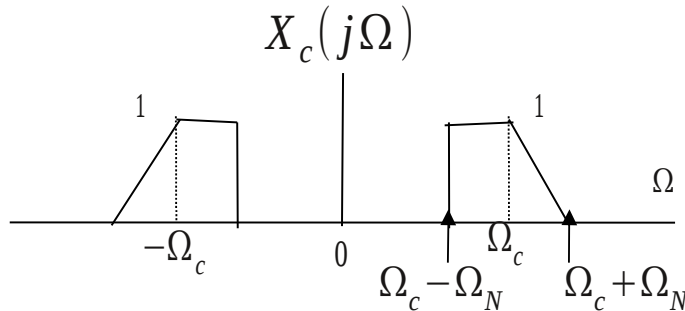
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Muestreo de señales paso banda



$$\Omega_s \geq 2(\Omega_c + \Omega_N) !!$$

Solución: Muestrear el equivalente paso bajo

[0.153] $x(t) = x_c(t) \cos \Omega_c t - x_s(t) \sin \Omega_c t$

El ancho de banda de la señal equivalente paso bajo es Ω_N .

La idea es muestrear la componente en fase y en cuadratura por separado

Supongamos que $\Omega_c + \Omega_N = k(2\Omega_N)$ (1.52)

$$\Omega_s = 2(2\Omega_N) \quad (1.53)$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Muestreo de señales paso banda

[0.153] $x(t) = x_c(t) \cos \Omega_c t - x_s(t) \sin \Omega_c t$

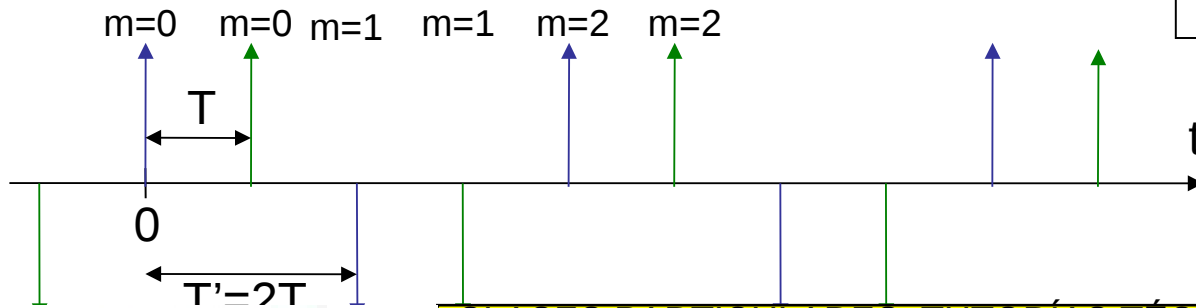
(1.54) $x[n] = x(nT) = x_c(nT) \cos \Omega_c nT - x_s(nT) \sin \Omega_c nT =$

$$= x_c(nT) \cos\left(\pi n \frac{2k-1}{2}\right) - x_s(nT) \sin\left(\pi n \frac{2k-1}{2}\right) =$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Omega_c + \Omega_N = k(2\Omega_N) \\ \Omega_s = 2(2\Omega_N) = \frac{2\pi}{T} \end{array} \right. \quad [1.52, 1.53]$$

$$= \begin{cases} x_c(mT')(-1)^m & n = 2m \\ (-1)^{k+1} x_s(mT' - T)(-1)^m & n = 2m - 1 \end{cases}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Omega_c + \Omega_N = k(2\Omega_N) \rightarrow \Omega_N = \frac{\Omega_c}{2k-1} \\ \Omega_s = 2(2\Omega_N) = \frac{2\pi}{T} \rightarrow \Omega_N = \frac{\pi}{2T} \\ \frac{\Omega_c}{2k-1} = \frac{\pi}{2T} \Rightarrow \Omega_c T = \pi \frac{2k-1}{2} \end{array} \right\}$$



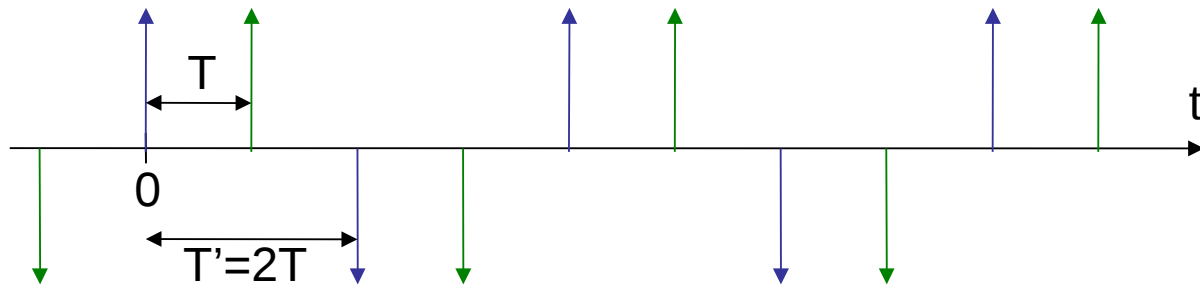
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Muestreo de señales paso banda

Reconstrucción de cada una de las componentes



$$\begin{aligned}
 x[0] &= x_c[0](-1)^0 \\
 x[1] &= x_s[0](-1)^{k+1} \\
 x[2] &= x_c[1](-1)^1 \\
 x[3] &= x_s[1](-1)^{1+k+1} \\
 x[4] &= x_c[2](-1)^2 \\
 x[5] &= x_s[2](-1)^{2+k+1}
 \end{aligned}$$

$$(1.56) \quad x_c[m] = x[2m](-1)^m$$

$$x_s[m] = x[2m+1](-1)^{m+k+1} \quad (1.57)$$

$$(1.58) \quad x_c(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x_c[m] h_r(t - mT')$$

$$x_s(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x_s[m] h_r(t - (mT' + T)) \quad (1.59)$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 - - -
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Muestreo de señales paso banda

$$x(t) = x_c(t) \cos \Omega_c t - x_s(t) \sin \Omega_c t \quad [0.153, 1.58, 1.59]$$

$$= \sum_{m=-\infty}^{\infty} (x_c[m] h_r(t - mT') \cos \Omega_c t - x_s[m] h_r(t - (mT' + T)) \sin \Omega_c t) =$$

$$= \sum_{m=-\infty}^{\infty} (x[2m] (-1)^m h_r(t - mT') \cos \Omega_c t - x[2m+1] (-1)^{m+k+1} h_r(t - (mT' + T)) \sin \Omega_c t) =$$

$\cos(a+b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b$
 $\Omega_c T = \pi \frac{2k-1}{2}$

$$= \sum_{m=-\infty}^{\infty} (x[2m] h_r(t - 2mT) \cos \Omega_c (t - 2mT) - x[2m+1] h_r(t - (2m+1)T) \cos \Omega_c (t - (2m+1)T)) =$$

$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] h_r(t - nT) \cos \Omega_c (t - nT)$$

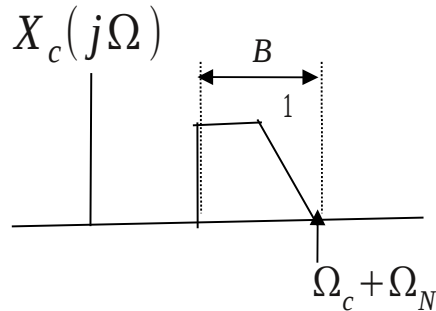
Suponiendo que $\Omega_c + \Omega_N = k(2\Omega_N)$ [1.52]

(1.60)

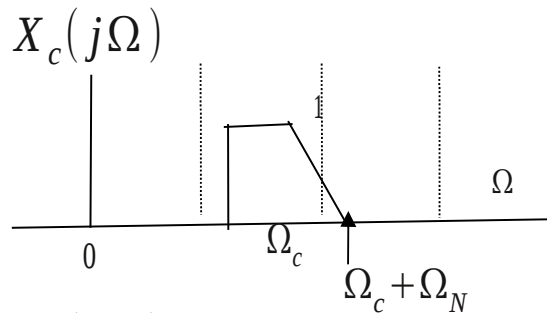


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 - - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Muestreo de señales paso banda

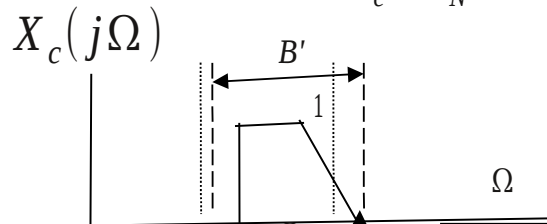


Supongamos que $\Omega_c + \Omega_N = kB$



Supongamos que $\Omega_c + \Omega_N \neq kB$ (1.61)

Entonces $k = \left\lfloor \frac{\Omega_c + \Omega_N}{B} \right\rfloor$ (1.62)



$$B' = 2\Omega'_N = \frac{\Omega_c + \Omega_N}{k} \quad (1.63)$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Aplicaciones del Oversampling

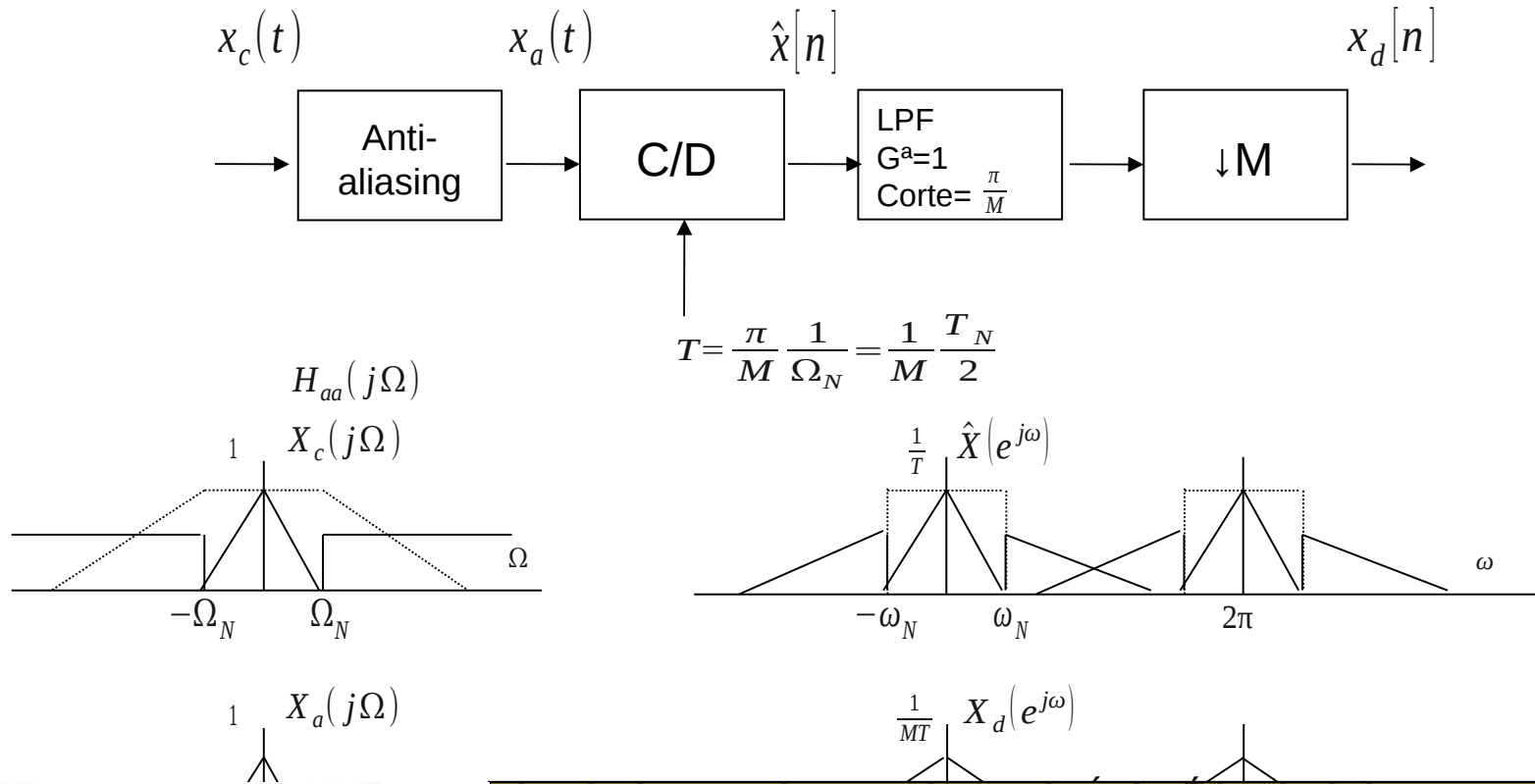
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Aplicaciones del oversampling: Filtros antialiasing

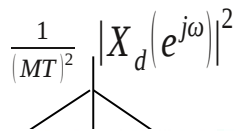
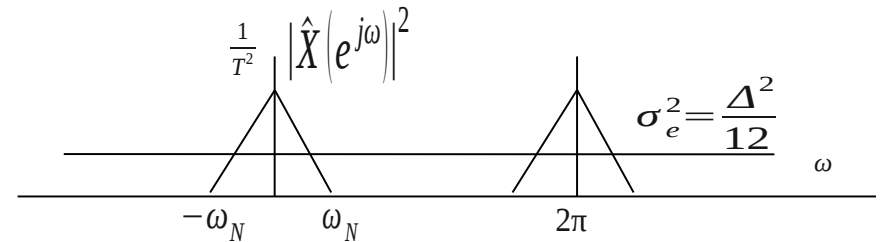
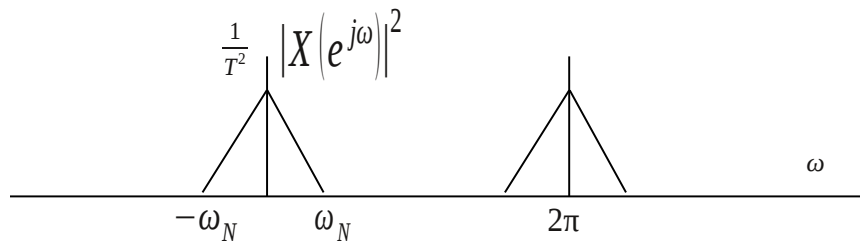
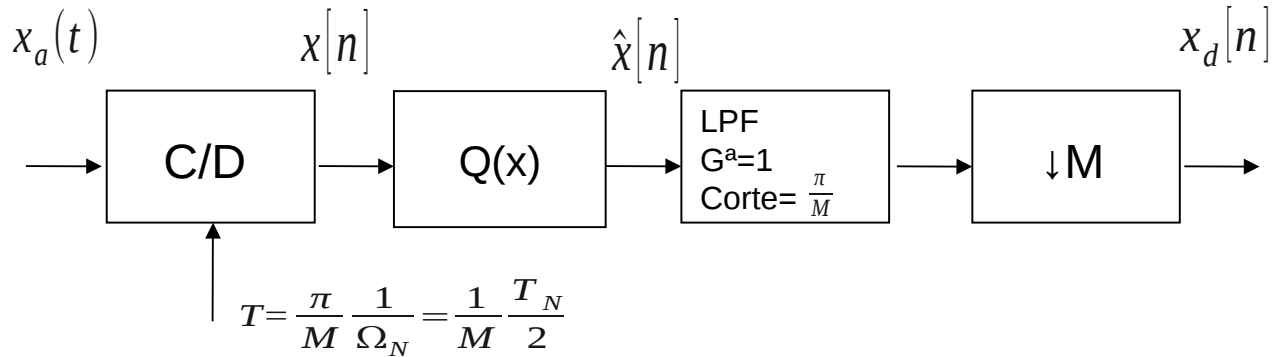


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Aplicaciones del oversampling: Reducción del ruido de muestreo



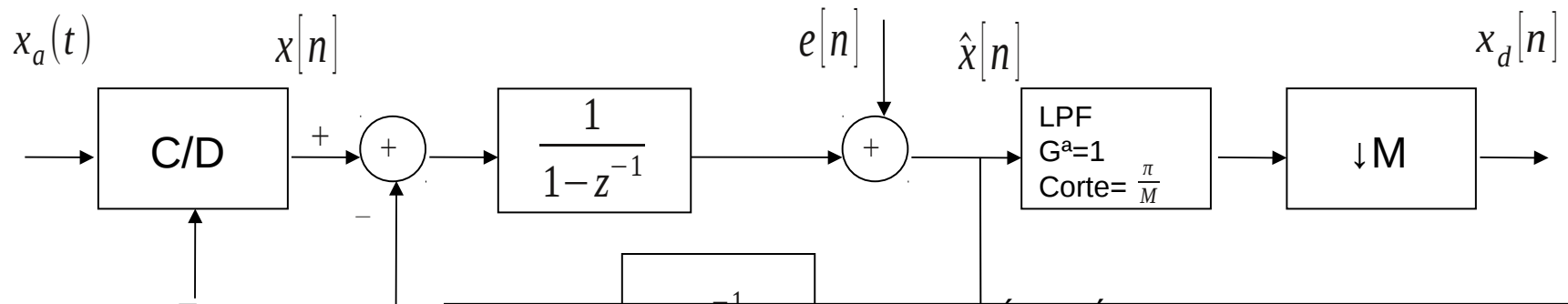
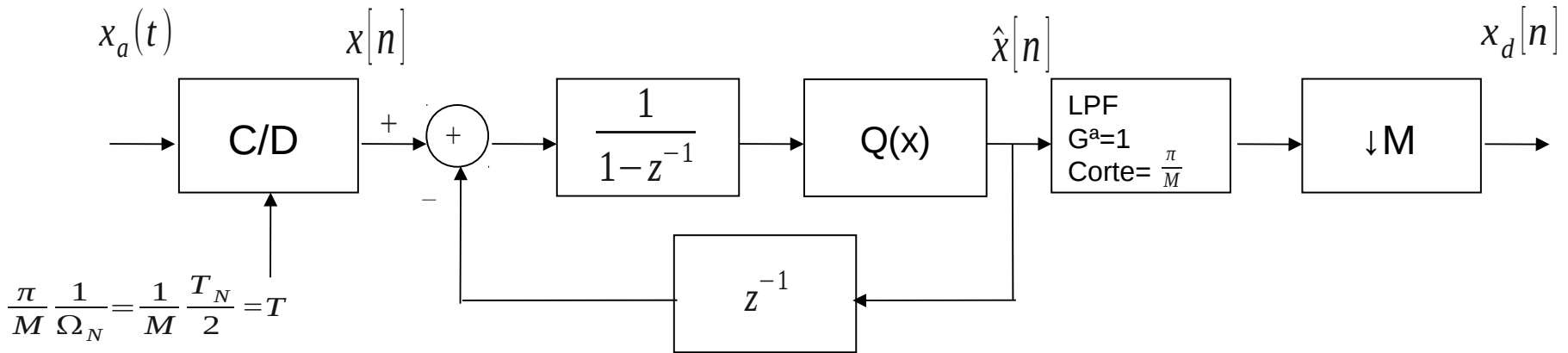
$$E\{x_d^2[n]\} = E\{x^2[n]\}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Aplicaciones del oversampling: Noise shaping

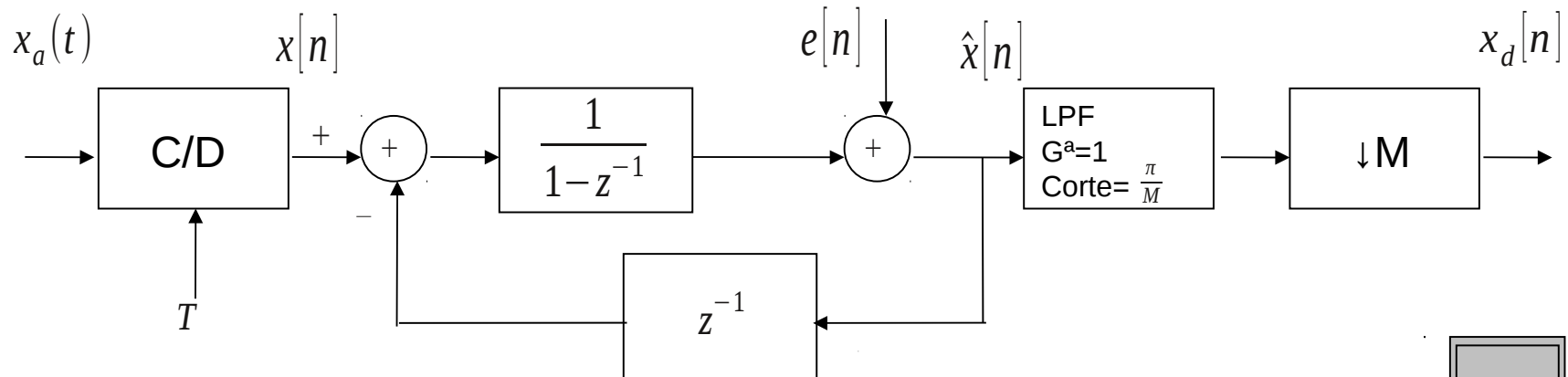


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

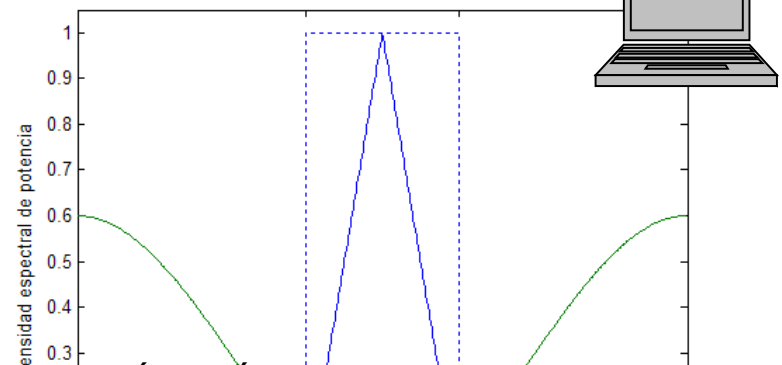
Aplicaciones del oversampling: Noise shaping



$$\hat{X}(z) = (X(z) - z^{-1}\hat{X}(z)) \frac{1}{1-z^{-1}} + E(z)$$

$$(1.68) \hat{X}(z) = X(z) + (1-z^{-1})E(z)$$

$$(1.69) \hat{x}[n] = x[n] + e[n] - e[n-1] = x[n] + e'[n]$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Tema 1 – Muestreo de señales continuas

3º Ingeniería Sistemas de
Telecomunicación

EPS – Univ. San Pablo – CEU

Oppenheim II (Cap. 4). Proakis (Cap. 9). Oppenheim I (Cap. 7)

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The '99' is significantly larger and more prominent than the rest of the text. The logo is set against a light blue background with a white shadow effect, and a yellow banner is positioned below the text.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

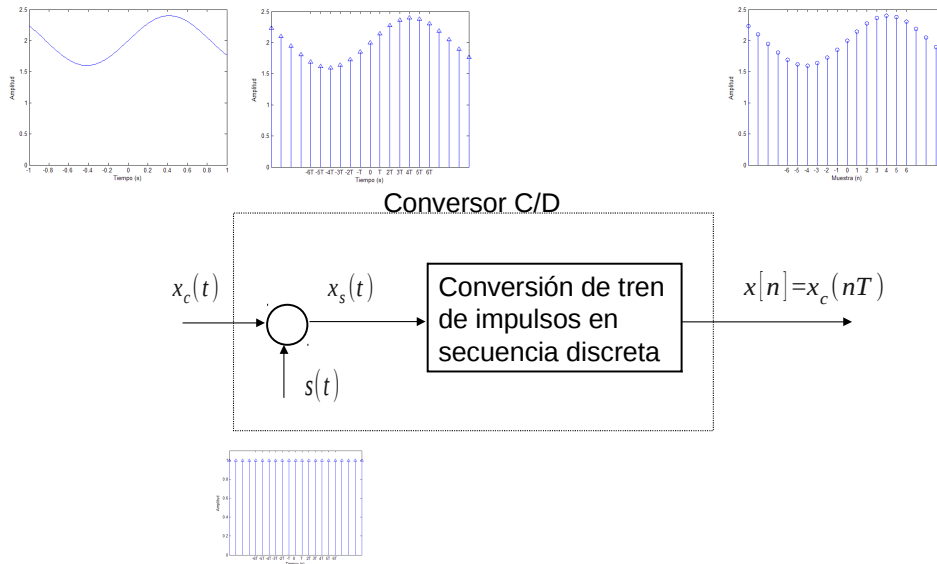
Muestreo Periódico

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The '99' is significantly larger and more prominent than the rest of the text. The logo is set against a light blue, abstract background that resembles a stylized 'C' or a wave. Below the text, there is a horizontal orange bar with a slight gradient.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Muestreo periódico



TDS EPS-San Pablo CEU

3

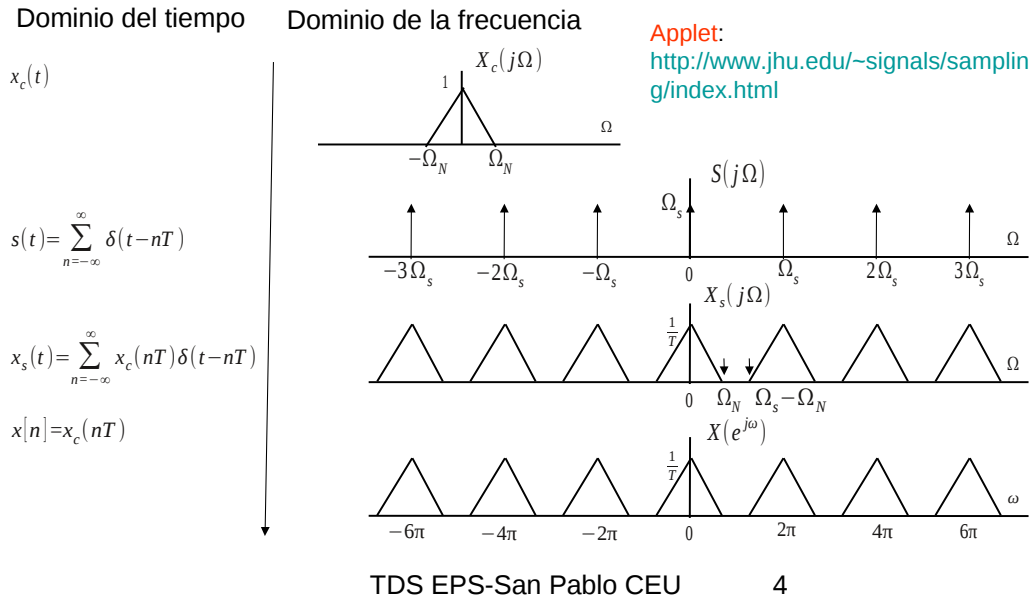
Bibliografía: Opp 4.1
Problemas Opp: 4.1

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Representación del muestreo en el dominio de la frecuencia



Bibliografía: Opp 4.2

Problemas Opp: 4.7*, 4.10, 4.11

Problemas Pro: 1.15, 9.6



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Representación del muestreo en el dominio de la frecuencia

Dominio del tiempo	Dominio de la frecuencia
$x_c(t)$	$X_c(j\Omega)$
$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t-nT)$	$S(j\Omega) = \Omega_s \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(\Omega - k\Omega_s) \quad \Omega_s = \frac{2\pi}{T}$ (1.1)
$x_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_c(nT)\delta(t-nT)$	$X_s(j\Omega) = \frac{1}{2\pi} X_c(j\Omega) * S(j\Omega) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_c(j(\Omega - k\Omega_s)) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_c(nT)e^{-j\Omega nT}$ (1.2)
$x[n] = x_c(nT)$	$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]e^{-j\omega n} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_c(nT)e^{-j\omega n}$ (1.3)
	(1.4) $X(e^{j\Omega T}) = X_s(j\Omega)$
	(1.5) $X(e^{j\omega}) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_c(j(\frac{\omega}{T} - k\frac{2\pi}{T}))$
	(1.6) $X(e^{j\Omega T}) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_c(j(\Omega - k\Omega_s))$ $\omega = \Omega T$

Bibliografía: Opp 4.2

Problemas Opp: 4.2*, 4.3*, 4,4*.

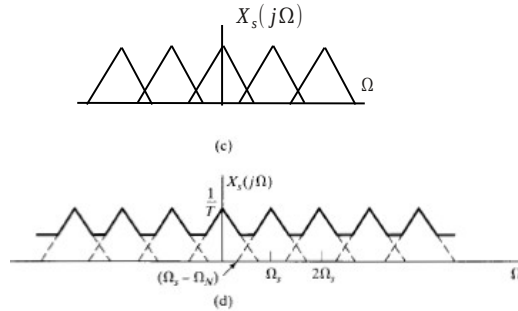


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Aliasing

Se produce aliasing cuando $\Omega_N > \Omega_s - \Omega_N$ (1.7)



TDS EPS-San Pablo CEU

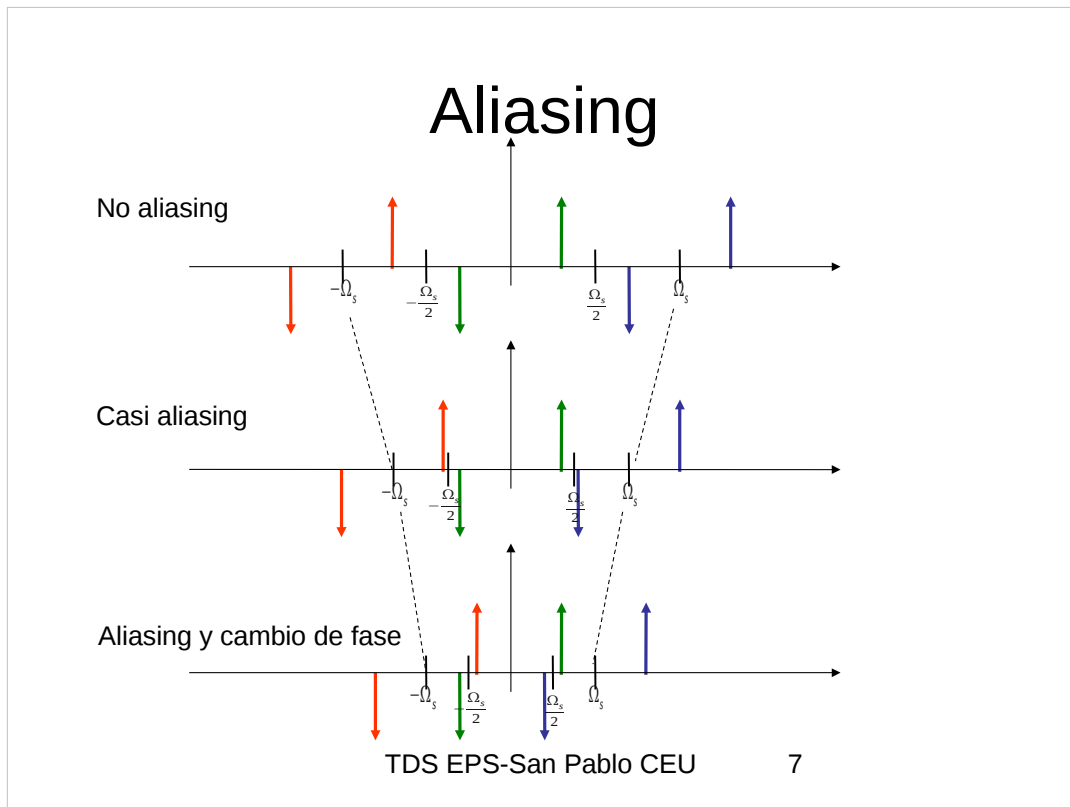
6

Bibliografía: Opp 4.2

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



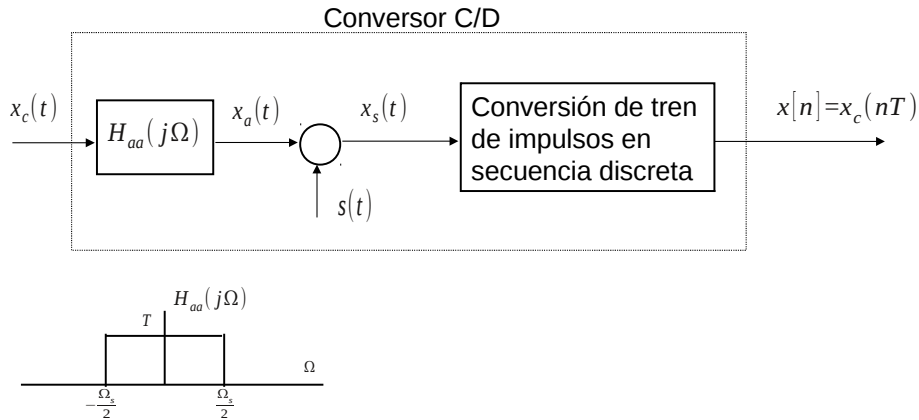
Bibliografía: Opp 4.2



**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Filtro Anti-aliasing



TDS EPS-San Pablo CEU

8

Bibliografía: Opp 4.2

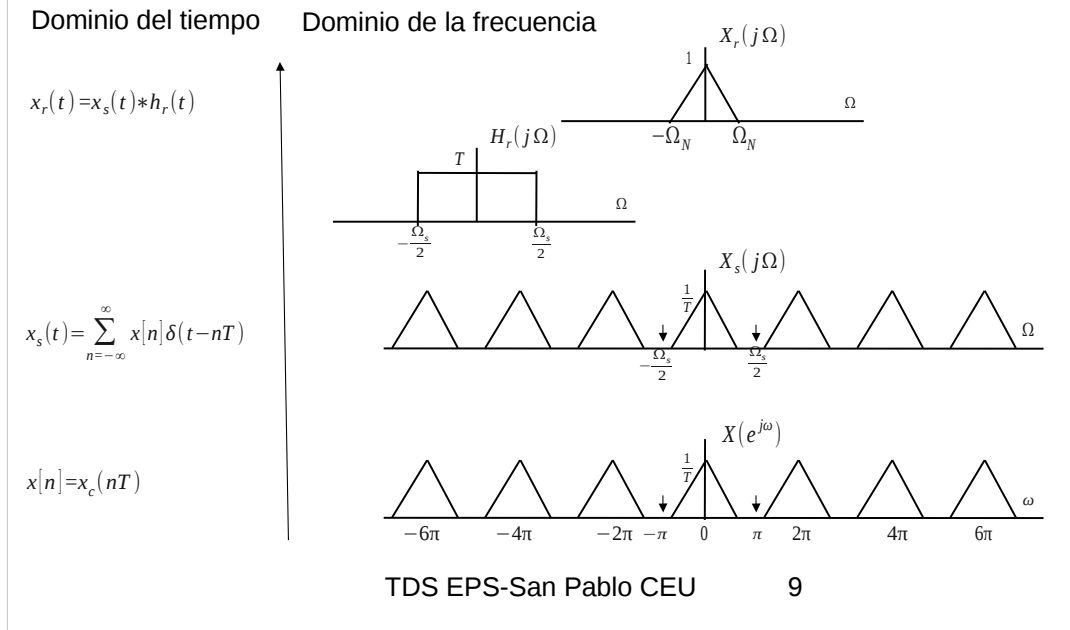
Problemas Opp: 4.5*, 4.8*

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Reconstrucción de la señal



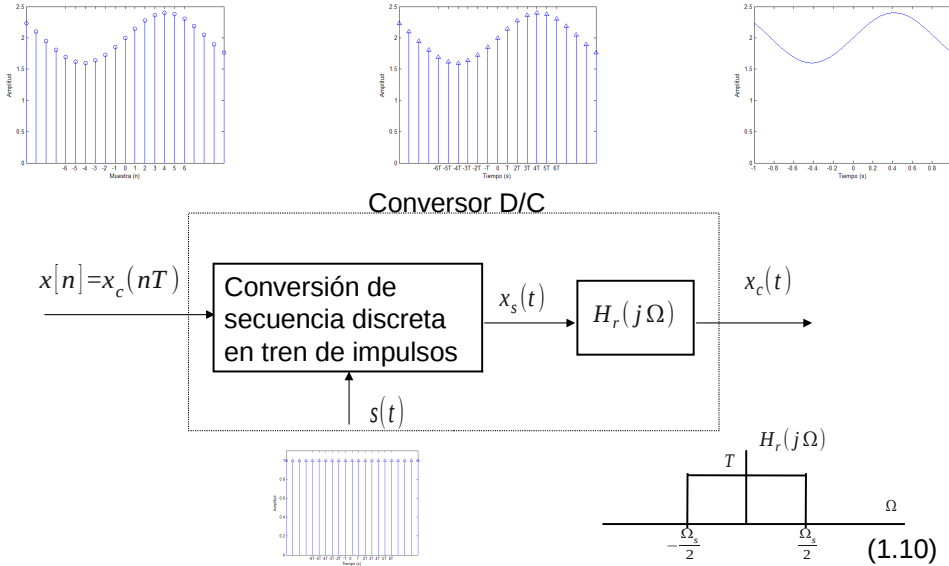
Bibliografía: Opp 4.3

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Reconstrucción de la señal



TDS EPS-San Pablo CEU

10

Bibliografía: Opp 4.3

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

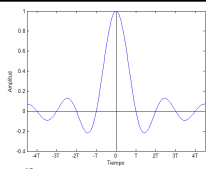
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Reconstrucción de la señal

Dominio del tiempo

$$x_r(t) = x_s(t) * h_r(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] h_r(t-nT) \quad (1.11)$$



$$h_r(t) = \text{sinc}\left(\frac{t}{T}\right)$$

$$x_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \delta(t-nT) \quad (1.13)$$

$$x[n] = x_c(nT) \quad (1.15)$$

Dominio de la frecuencia

$$X_r(j\Omega) = H_r(j\Omega) X_s(j\Omega) = H_r(j\Omega) X(e^{j\Omega T}) \quad (1.12)$$

$$X_s(j\Omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-j\Omega nT} = X(e^{j\Omega T}) \quad (1.14)$$

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-j\omega n} \quad (1.16)$$

TDS EPS-San Pablo CEU

11

Bibliografía: Opp 4.3

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

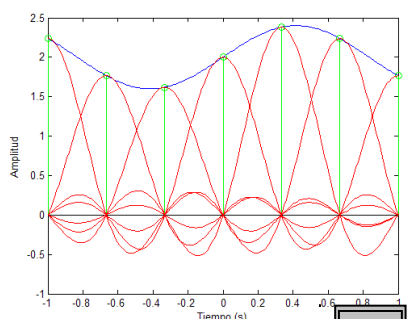
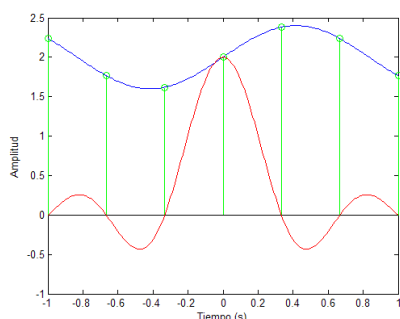
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Reconstrucción de la señal

$$x_r(t) = x_s(t) * h_r(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] h_r(t - nT) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \frac{\text{sen}[\pi(t - nT)/T]}{\pi(t - nT)/T}$$

$$h_r(t) = \text{sinc}\left(\frac{t}{T}\right)$$



TDS EPS-San Pablo CEU

12

Bibliografía: Opp 4.3

Problemas Opp: 4.19

Problemas Pro: 9.12

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Teorema del muestreo (1.17)

Sea una señal $x_c(t)$ limitada en ancho de banda cuya frecuencia máxima es f_{\max} . Entonces, esta señal se puede recuperar exactamente a partir de sus muestras tomadas a una frecuencia $\frac{1}{T} = f_s \geq 2f_{\max}$ mediante la

función de interpolación $h_r(t) = \text{sinc}\left(\frac{t}{T}\right)$. La fórmula correspondiente de

interpolación es $x_r(t) = x_s(t) * h_r(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]h_r(t-nT)$

Bibliografía: Proakis, Pag 28

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The '99' is significantly larger and more prominent than the rest of the text. The logo is set against a light blue background with a white shadow effect.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

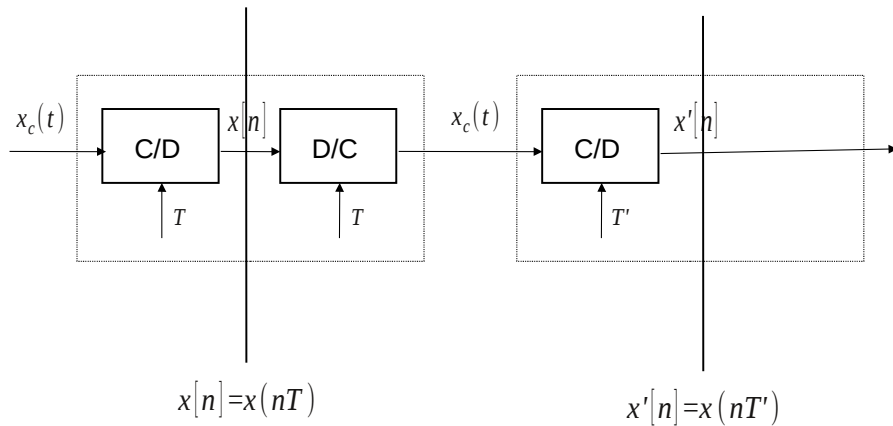
Cambio de la Frecuencia de Muestreo

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The '99' is significantly larger and more prominent than the 'Cartagena' part. The text is set against a light blue, abstract background that resembles a stylized 'C' or a wave. Below the text, there is a horizontal orange and yellow gradient bar.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cambio de la frecuencia de muestreo



TDS EPS-San Pablo CEU

15

Bibliografía: Opp 4.6

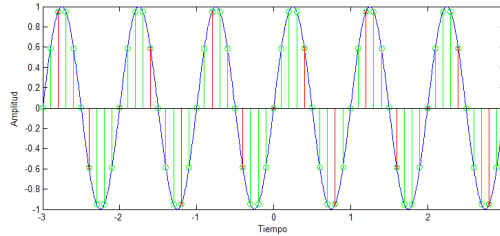
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Reducción de la frecuencia de muestreo

$$x[n] \xrightarrow{\downarrow M} x_d[n] = x[nM] = x_c(nMT) \Rightarrow T' = MT \quad (1.21)$$



$$[1.4] \quad X(e^{j\omega}) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_c(j(\frac{\omega}{T} - k\frac{2\pi}{T})) \quad r = i + kM$$

$$\boxed{X_d(e^{j\omega})} = \frac{1}{T'} \sum_{r=-\infty}^{\infty} X_c(j(\frac{\omega}{T'} - r\frac{2\pi}{T'})) = \frac{1}{MT} \sum_{r=-\infty}^{\infty} X_c(j(\frac{\omega}{MT} - r\frac{2\pi}{MT})) = \begin{matrix} \downarrow \\ -\infty < k < \infty \\ 0 \leq i \leq M-1 \end{matrix}$$

$$= \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_c(j(\frac{\omega}{MT} - k\frac{2\pi}{T} - i\frac{2\pi}{MT})) = \boxed{\frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} X(e^{j(\frac{\omega}{M} - \frac{2\pi i}{M})})} \quad (1.22)$$

TDS EPS-San Pablo CEU

16

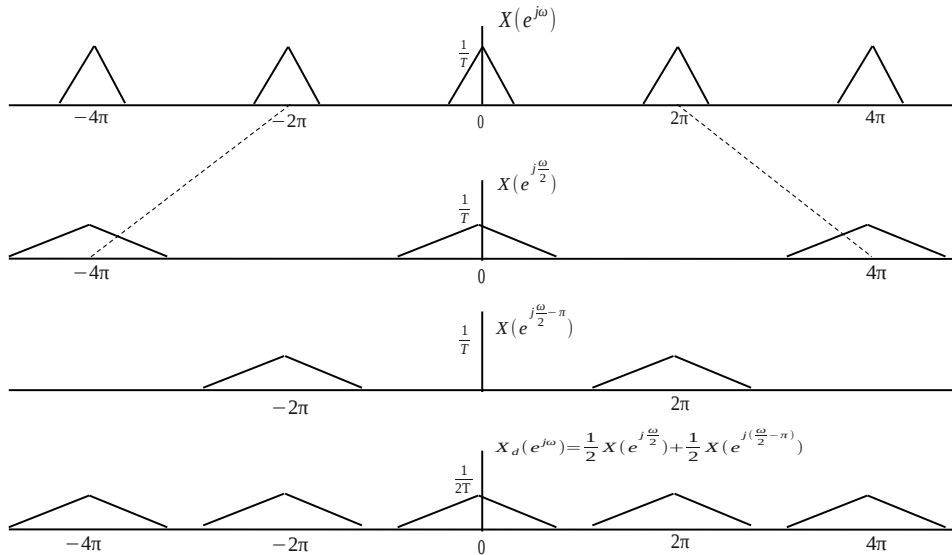
Bibliografía: Opp 4.6

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Reducción de la frecuencia de muestreo



TDS EPS-San Pablo CEU

17

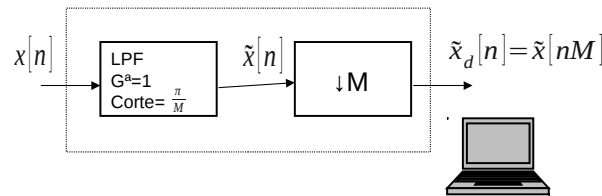
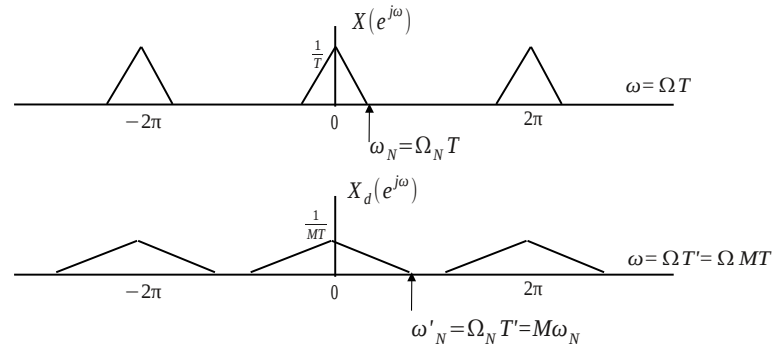
Bibliografía: Opp 4.6

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Reducción de la frecuencia de muestreo



TDS EPS-San Pablo CEU

18

Bibliografía: Opp 4.6

Problemas Opp: 4.9*, 4.14, 4.26, 4.36, 4.46

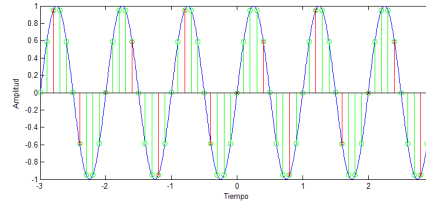
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

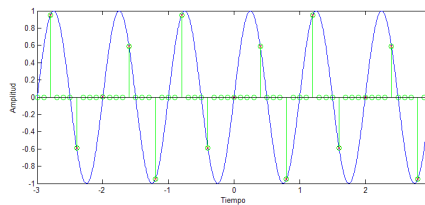
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Incremento de la frecuencia de muestreo

$$x[n] \xrightarrow{\uparrow L} x_i[n] = x_c(nT/L) \Rightarrow T' = T/L \quad (1.23)$$



$$(1.24) \quad x_e[n] = \begin{cases} x[n/L] & n=0, \pm L, \pm 2L, \dots \\ 0 & \text{resto} \end{cases} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] \delta[n-kL] \longleftrightarrow X_e(e^{j\omega}) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] e^{j\omega k L} = X(e^{j\omega L}) \quad (1.25)$$



TDS EPS-San Pablo CEU

19

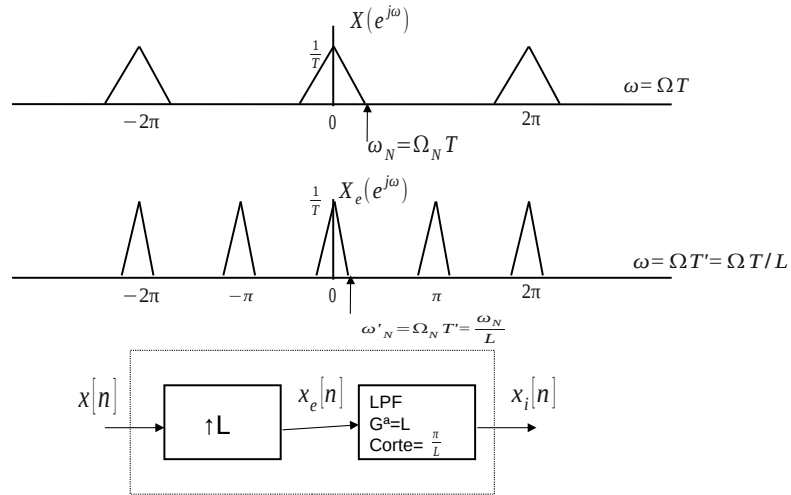
Bibliografía: Opp 4.6

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Incremento de la frecuencia de muestreo



TDS EPS-San Pablo CEU

20

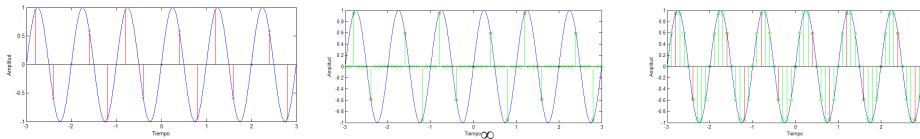
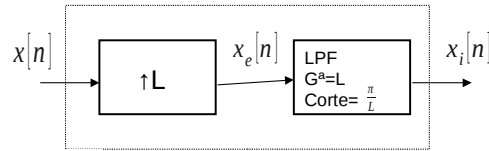
Bibliografía: Opp 4.6

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

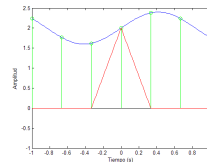
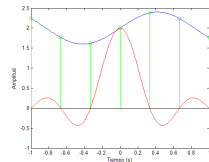
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Incremento de la frecuencia de muestreo



$$x_i[n] = x_e[n] * h_i[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x_e[kL] h_i[n - kL] \quad (1.26)$$

$$h_i[n] = \text{sinc}\left(\frac{n}{L}\right) \quad (1.27)$$



$$h_i[n] = \begin{cases} 1 - \frac{|n|}{L} & |n| < L \\ 0 & \text{resto} \end{cases} \quad (1.28)$$



TDS EPS-San Pablo CEU

21

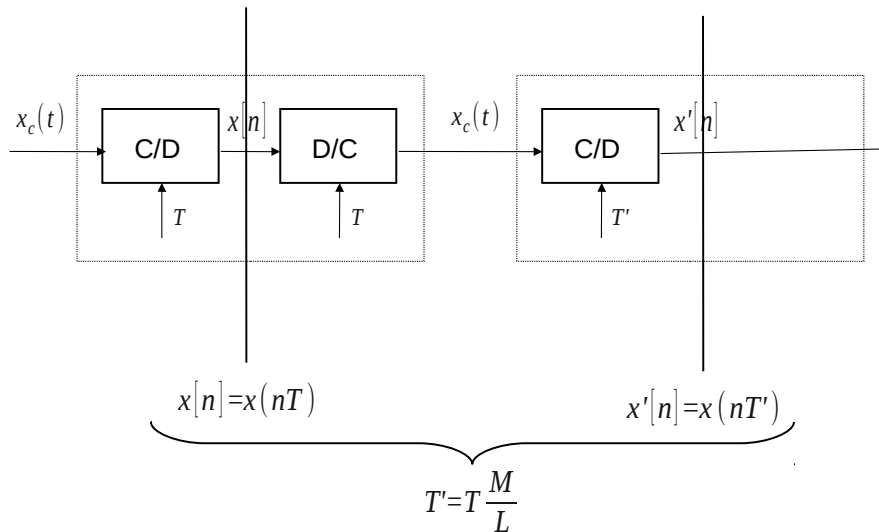
Bibliografía: Opp 4.6

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cambio de la frecuencia de muestreo por un factor racional



TDS EPS-San Pablo CEU

22

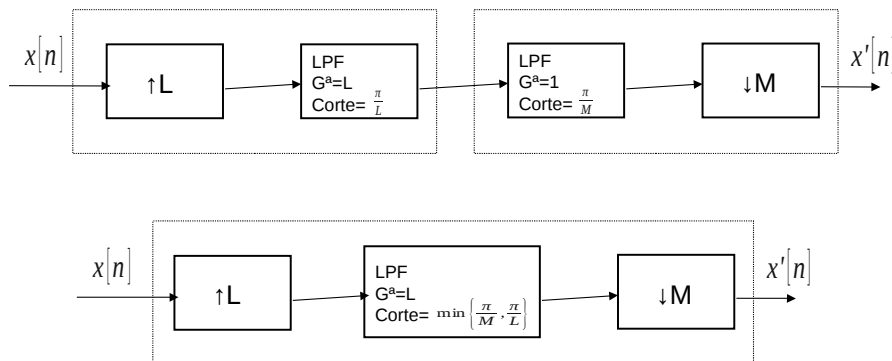
Bibliografía: Opp 4.6

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cambio de la frecuencia de muestreo por un factor racional



TDS EPS-San Pablo CEU

23

Bibliografía: Opp 4.6

Problemas Opp: 4.16*, 4.17*, 4.18, 4.38*, 4.40*, 4.41, 4.42, 4.44, 4.51, 4.52, 4.53, 4.54, 4.55, 4.58, 4.59, 4.60

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

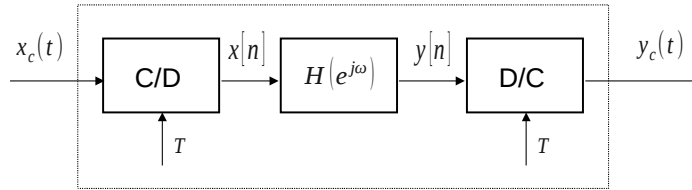
Procesado discreto de señales continuas

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The '99' is significantly larger and more prominent than the 'Cartagena' part. The text is set against a light blue, abstract background that resembles a stylized arrow or a splash of paint. Below the text, there is a horizontal orange bar with a slight gradient.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Procesado discreto de señales continuas



$$[1.4] \quad X(e^{j\omega}) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_c(j(\frac{\omega}{T} - k\frac{2\pi}{T})) \quad \rightarrow \quad Y(e^{j\omega}) = H(e^{j\omega})X(e^{j\omega}) \quad \rightarrow \quad Y_c(j\Omega) = H_r(j\Omega)Y(e^{j\Omega T}) \quad [1.12]$$

$$Y_c(j\Omega) = H_{eff}(j\Omega)X_c(j\Omega)$$

$$H_{eff}(j\Omega) = \begin{cases} H(e^{j\Omega T}) & |\Omega T| < \pi \\ 0 & \text{resto} \end{cases} \quad (1.18)$$

$$H(e^{j\omega}) = H_{eff}(j\frac{\omega}{T}) \quad \forall \omega: |\omega| < \pi \quad (1.19)$$

Invarianza de la respuesta al impulso

$$h[n] = Th_{eff}(nT) \quad (1.20)$$



[1.4]

TDS EPS-San Pablo CEU

25

Bibliografía: Opp 4.4

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Procesado discreto de señales continuas

Ejemplo:



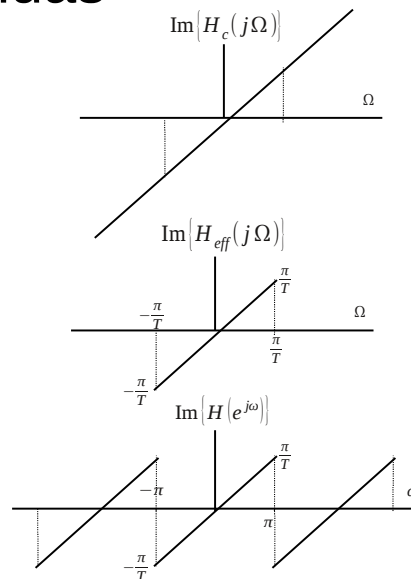
$$y_c(t) = \frac{dx_c(t)}{dt}$$

$$H_c(j\Omega) = j\Omega$$

$$H_{eff}(j\Omega) = \begin{cases} j\Omega & |\Omega T| < \pi \\ 0 & \text{resto} \end{cases}$$

$$H(e^{j\omega}) = j \frac{\omega}{T} \quad \forall \omega: |\omega| < \pi$$

[0.125]
$$h[n] = \begin{cases} 0 & n=0 \\ \frac{\cos \pi n}{nT} & n \neq 0 \end{cases}$$



TDS EPS-San Pablo CEU

26

Bibliografía: Opp 4.4

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

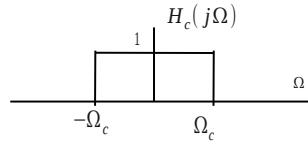
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Procesado discreto de señales continuas

Ejemplo:

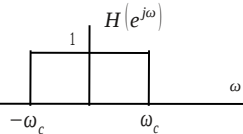


$$H_c(j\Omega) = H_{eff}(j\Omega) = \begin{cases} 1 & |\Omega| < \Omega_c : \Omega_c T < \pi \\ 0 & \text{resto} \end{cases}$$



$$h(t) = \frac{\Omega_c}{\pi} \text{sinc}\left(\frac{\Omega_c}{\pi} t\right)$$

$$h[n] = Th(nT) = T \frac{\Omega_c}{\pi} \text{sinc}\left(\frac{\Omega_c}{\pi} nT\right) = \frac{\omega_c}{\pi} \text{sinc}\left(\frac{\omega_c}{\pi} n\right)$$



$$H(e^{j\omega}) = \begin{cases} 1 & |\omega| < \omega_c : \omega_c < \pi \\ 0 & \text{resto} \end{cases} \quad \begin{matrix} \omega_c = \Omega_c T \\ -\pi \leq \omega < \pi \end{matrix}$$

[1.11]

TDS EPS-San Pablo CEU

27

Bibliografía: Opp 4.4

Problemas Opp: 4.12, 4.13, 4.20*, 4.22, 4.23, 4.24*, 4.25, 4.28*, 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.37, 4.45, 4.49

Problemas Pro: 9.4, 9.5

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Muestreo de señales paso banda

TDS EPS-San Pablo CEU

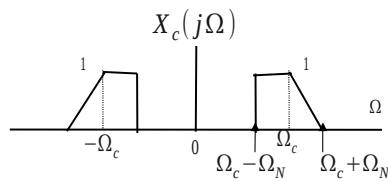
28

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The '99' is significantly larger and more prominent than the rest of the text. The logo is set against a light blue, abstract background that resembles a stylized 'C' or a wave.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Muestreo de señales paso banda



$$\Omega_s \geq 2(\Omega_c + \Omega_N) !!$$

Solución: Muestrear el equivalente paso bajo

[0.153] $x(t) = x_c(t) \cos \Omega_c t - x_s(t) \sin \Omega_c t$

El ancho de banda de la señal equivalente paso bajo es Ω_N .

La idea es muestrear la componente en fase y en cuadratura por separado

Supongamos que $\Omega_c + \Omega_N = k(2\Omega_N)$ (1.52)

$\Omega_s = 2(2\Omega_N)$ (1.53)

Nyquist

Bibliografía: Proakis 9.1

Hacer aquí Opp 4.21

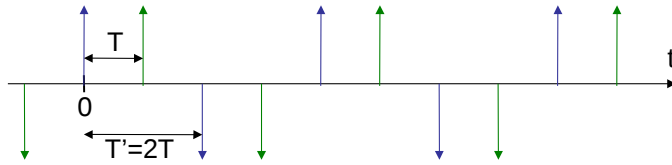
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Muestreo de señales paso banda

Reconstrucción de cada una de las componentes



$$\begin{aligned} x[0] &= x_c[0](-1)^0 \\ x[1] &= x_s[0](-1)^{k+1} \\ x[2] &= x_c[1](-1)^1 \\ x[3] &= x_s[1](-1)^{1+k+1} \\ x[4] &= x_c[2](-1)^2 \\ x[5] &= x_s[2](-1)^{2+k+1} \end{aligned}$$

$$(1.56) \quad x_c[m] = x[2m](-1)^m$$

$$x_s[m] = x[2m+1](-1)^{m+k+1} \quad (1.57)$$

$$(1.58) \quad x_c(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x_c[m] h_r(t - mT')$$

$$x_s(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x_s[m] h_r(t - (mT' + T)) \quad (1.59)$$

Bibliografía: Proakis 9.1

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Muestreo de señales paso banda

$$\begin{aligned}
 x(t) &= x_c(t) \cos \Omega_c t - x_s(t) \sin \Omega_c t && [0.153, 1.58, 1.59] \\
 &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} (x_c[m] h_r(t-mT) \cos \Omega_c t - x_s[m] h_r(t-(mT+T)) \sin \Omega_c t) = \\
 &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} (x[2m] (-1)^m h_r(t-mT) \cos \Omega_c t - x[2m+1] (-1)^{m+k+1} h_r(t-(mT+T)) \sin \Omega_c t) = \\
 &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} (x[2m] h_r(t-2mT) \cos \Omega_c(t-2mT) - x[2m+1] h_r(t-(2m+1)T) \cos \Omega_c(t-(2m+1)T)) = \\
 &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] h_r(t-nT) \cos \Omega_c(t-nT) && \text{Suponiendo que } \Omega_c + \Omega_N = k(2\Omega_N) \quad [1.52] \\
 & && (1.60)
 \end{aligned}$$

$\cos(a+b) = \cos a \cos b + \sin a \sin b$
 $\Omega_c T = \pi \frac{2k-1}{2}$

TDS EPS-San Pablo CEU

32

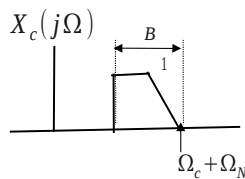
Bibliografía: Proakis 9.1



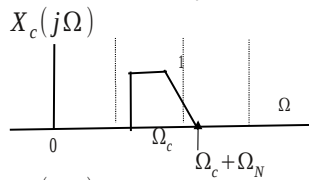
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Muestreo de señales paso banda

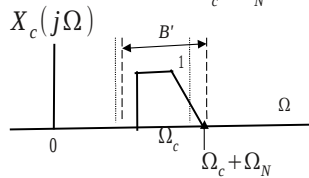


Supongamos que $\Omega_c + \Omega_N = kB$



Supongamos que $\Omega_c + \Omega_N \neq kB$ (1.61)

Entonces $k = \left\lfloor \frac{\Omega_c + \Omega_N}{B} \right\rfloor$ (1.62)



$$B' = 2\Omega_N' = \frac{\Omega_c + \Omega_N}{k} \quad (1.63)$$

$$\Omega_c' + \Omega_N' = kB' \quad (1.64)$$

$$2(2\Omega_N) \leq \Omega_s' < 4(2\Omega_N) \quad (1.65)$$

TDS EPS-San Pablo CEU

33

Bibliografía: Proakis 9.1

Problemas Pro: 9.1, 9.2, 9.3, 9.13

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

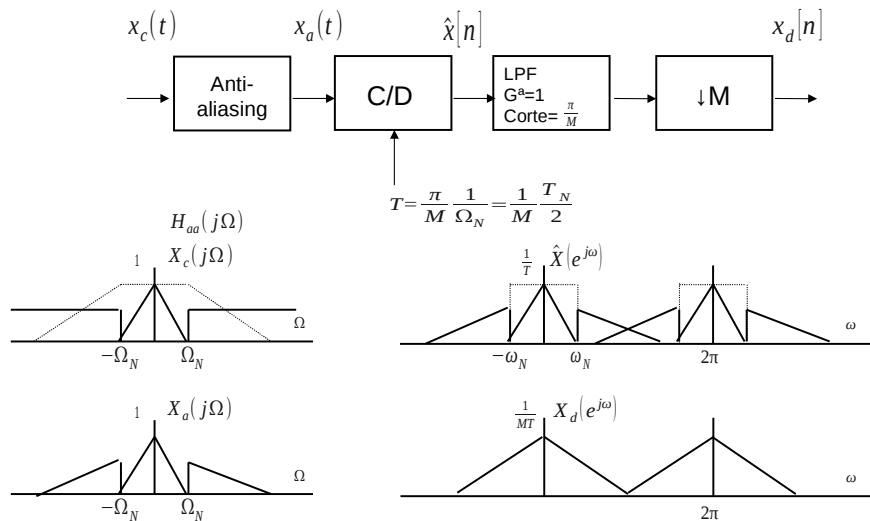
Aplicaciones del Oversampling

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Cartagena99

Aplicaciones del oversampling: Filtros antialiasing



TDS EPS-San Pablo CEU

35

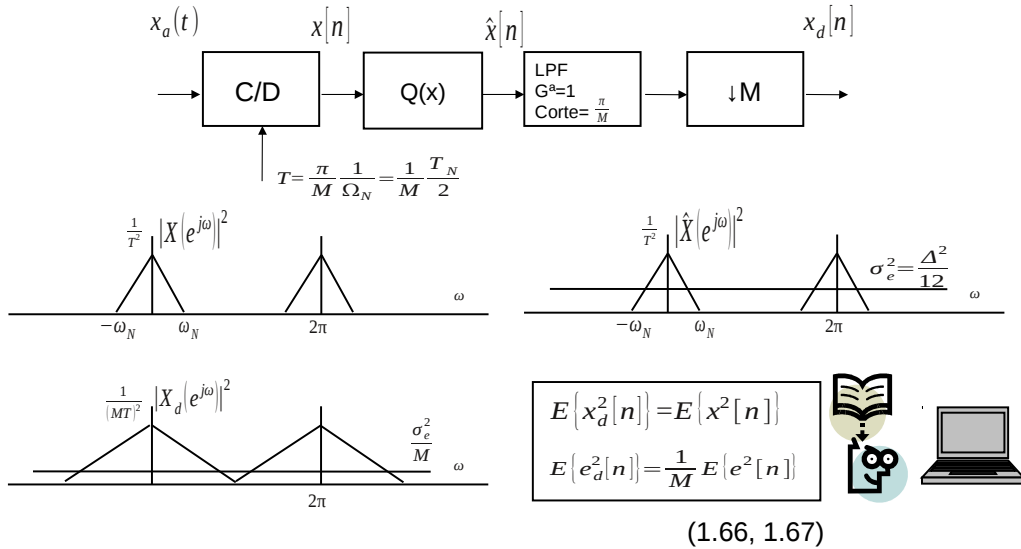
Bibliografía: Opp 4.9

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Aplicaciones del oversampling: Reducción del ruido de muestreo



TDS EPS-San Pablo CEU 36

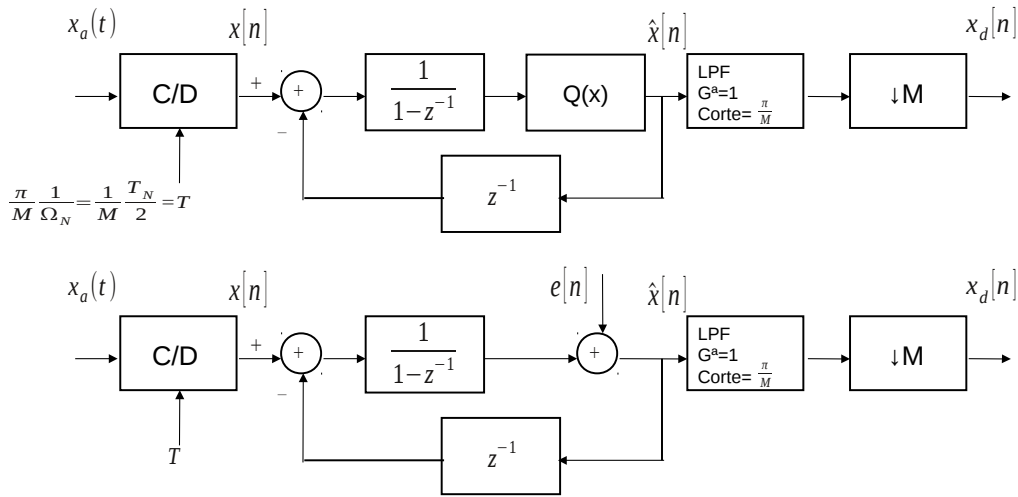
Bibliografía: Opp 4.9



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Aplicaciones del oversampling: Noise shaping



TDS EPS-San Pablo CEU

37

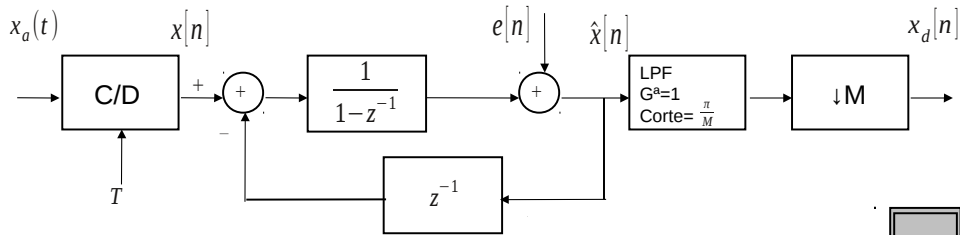
Bibliografía: Opp 4.9

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Aplicaciones del oversampling: Noise shaping

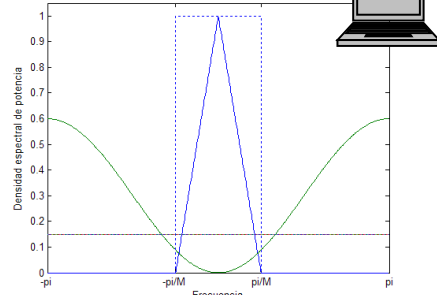


$$\hat{X}(z) = (X(z) - z^{-1} \hat{X}(z)) \frac{1}{1-z^{-1}} + E(z)$$

$$(1.68) \quad \hat{X}(z) = X(z) + (1-z^{-1})E(z)$$

$$(1.69) \quad \hat{x}[n] = x[n] + e[n] - e[n-1] = x[n] + e'[n]$$

$$(1.71) \quad S_{e'}(e^{j\omega}) = |1 - e^{-j\omega}|^2 \sigma_e^2 = \left(2 \sin \frac{\omega}{2}\right)^2 \sigma_e^2 \quad (1.70)$$



TDS EPS-San Pablo CEU

38

Bibliografía: Opp 4.9

Problemas Opp: 4.61, 4.62

Problemas Pro: 9.8

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70