

Lección 3: Formato y Modulación en Banda Base. Parte I

Gianluca Cornetta, Ph.D.

Dep. de Ingeniería de Sistemas de Información y Telecomunicación Universidad San Pablo-CEU

Cartagena99

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

Contenido

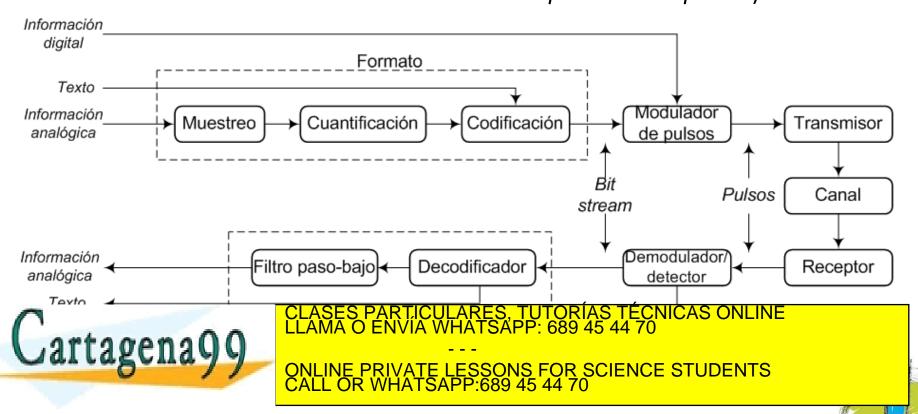
- ☐Sistemas en Banda Base
- ☐ Formato de Texto
- Mensajes, Caracteres y Símbolos
- ☐ Formato de Información Analógica
- ☐ Fuentes de Distorsión

Cartagena99

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

Sistemas en Banda Base

- ☐ El primer tipo de procesado digital de la señal consiste en asignar un formato a los datos a transmitir transformándolos en símbolos digitales (este proceso se conoce como codificación de fuente)
- Una vez codificada, la información debe ser convertida en una serie de formas de onda compatibles con el canal de transmisión (en el caso de transmisión en banda base las señales compatibles son pulsos)



www.cartap#r/1914/07/013 se hace respon@ble/the1a2n@ipaplon.comt@ior met presente inpumpintarion in mesi Digitales Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comerció Electiónico, de 11 de julio de 2002 Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Formato de Texto

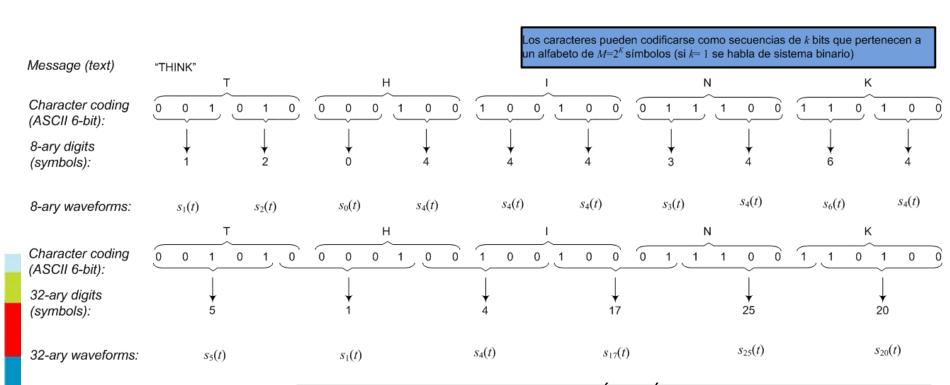
□La forma más común de intercambio de datos es a través de mensajes de texto o codificación analógica □Existen varios formatos estándar de codificación de texto: □American Standard Code for Information Interchange (ASCII) □ Extended Binary Coded Decimal Interchange Code (EBCDIC)

Cartagena99

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



Mensajes, Caracteres y Símbolos

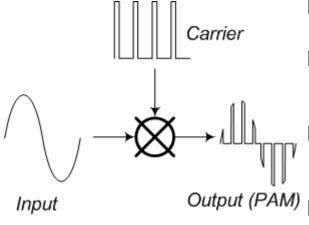


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

www.cartar4r/94/07/01 3e hace respon@old to la Información y de Comercio Electronico, de 11 de julio de 2002 Si la información y de Comercio Electronico, de 11 de julio de 2002 Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.



- Si la información es analógica es necesario convertirla en un formato digital compatible con el sistema de comunicación
- El primer paso a realizar es el <u>muestreo de la señal realizado</u> <u>mediante un mecanismo de muestreo y retención de</u> valores denominado *sample & hold*
 - El resultado del proceso de muestreo es una portadora modulada por la amplitud de la señal analógica. La señal resultante es de tipo PAM (*Pulse Amplitude Modulation*)
 - La frecuencia de portadora marca el tiempo de muestreo de la señal y es determinada por el teorema del muestreo (uniforme): Una señal limitada en banda y sin componentes espectrales por encima de f_m Hz puede ser determinada unívocamente a partir de los valores muestreados en intervalos de tiempo uniforme

$$T_s \leq \frac{1}{2f_m} \sec$$

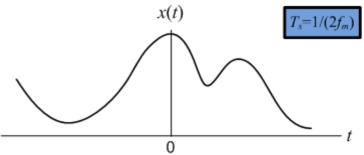
La restricción sobre el tiempo de muestreo puede expresarse también en función de la frecuencia (Criterio de

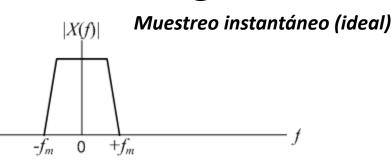
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

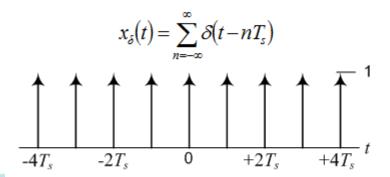
Cartagena99

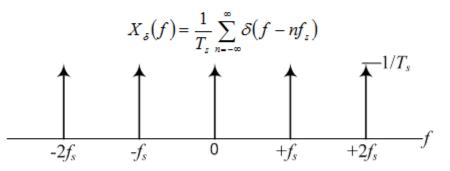
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

JS JM









$$x_s(t) = x(t)x_{\delta}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(t)\delta(t - nT_s) =$$

$$X_s(f) = X(f) * X_{\delta}(f) = X(f) * \left[\frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(f - nf_s) \right] =$$

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_s) \delta(t - nT_s)$$

$$\frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(f - nf_s) \qquad |X_s(f)|$$

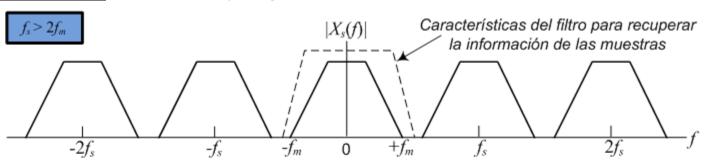
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍA'S TÉCNICAS ONLINE LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

www.cartap#r/1914/07/013 se hace respon@ble/the1a2n@ipaplon.comt@ior met presente inpumpintarion in mesi Digitales Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comerció Electiónico, de 11 de julio de 2002 Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

- \square Si el tiempo de muestreo es exactamente igual a $T_s=1/2f_m$ todas las réplicas espectrales están separadas de f_s Hz y hace falta un filtro ideal para reconstruir la señal
- □ La frecuencia de Nyquist f_s =2 f_m es la frecuencia por de bajo de la cual se produce *aliasing*
- Cuando se muestra por debajo de la frecuencia de Nyquist se habla de submuestreo (undersampling)

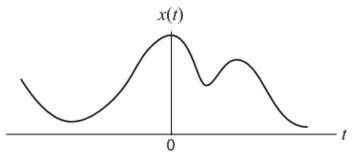


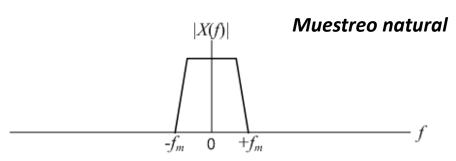
 $f_s < 2f_m$

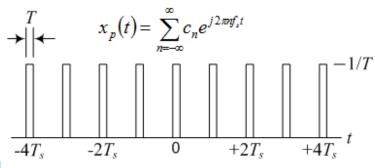
Cartagena99

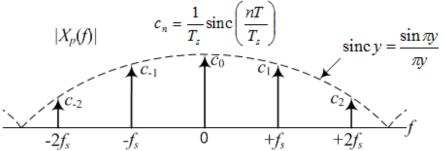
 $|X_s(f)|$

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









$$x_s(t) = x(t)x_p(t) = x(t)\sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{j2\pi \eta f_s t}$$

$$X_{s}(f) = \mathcal{F}\left\{x(t)\sum_{n=-\infty}^{\infty}c_{n}e^{j2\pi nf_{s}t}\right\} = \sum_{n=-\infty}^{\infty}c_{n}\mathcal{F}\left\{x(t)e^{j2\pi nf_{s}t}\right\} = \sum_{n=-\infty}^{\infty}c_{n}X(f-nf_{s})$$

$$|X_{s}(f)|$$

Cartagena99

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

- ☐ La forma más sencilla de muestrear una señal se denomina sample & hold
- Desde el punto de vista matemático se trata de una convolución entre un tren de pulsos de muestra $x(t)x_{\delta}(t)$ y un pulso rectangular p(t) de amplitud unitaria y ancho $T_{\rm s}$:

$$x_s(t) = p(t) * [x(t)x_{\delta}(t)] = p(t) * \left[x(t) \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_s)\right]$$

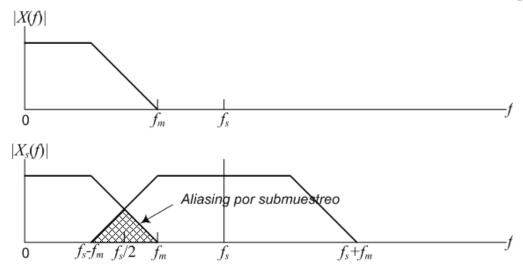
 \square La transformada de Fourier $X_s(f)$ de la señal muestreada $x_s(t)$ es el producto en el dominio de las frecuencia entre P(f) y el espectro periódico:

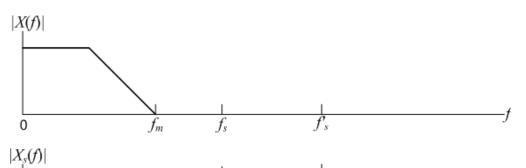
$$X_{s}(f) = P(f)\mathcal{F}\left\{x(t)\sum_{n=-\infty}^{+\infty}\delta(t-nT_{s})\right\} = P(f)\left\{X(f)*\left[\frac{1}{T_{s}}\sum_{n=-\infty}^{+\infty}\delta(f-nf_{s})\right]\right\} = P(f)\frac{1}{T_{s}}\sum_{n=-\infty}^{+\infty}X(f-nf_{s})$$

- \square P(f) es de la forma $T_s \operatorname{sinc}(fT_s)$
- ☐ Los efectos de la operación de *hold* son:
 - ☐ Una atenuación significativa de las componentes espectrales de alta frecuencia (un pos-filtrado puede aplicarse para atenuar ulteriormente las componentes

Cartagena99

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

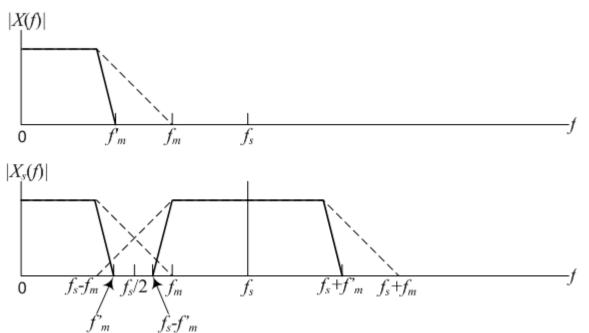




Cartagena99

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





La regla práctica consiste en implementar un filtro antialiasing con una banda de transición de entre el 10% y el 20% del ancho de banda de la señal. Teniendo en cuenta de esta regla el criterio de Nyquist puede expresarse como $f_s \ge 2.2 f_m$

Una técnica para eliminar el *aliasing* consiste en el pre-filtrado de la señal analógica mediante *filtros antialiasing* de manera que la máxima frecuencia sea $f'_m < 2f_s$. Reducir el ancho de banda implica la utilización de filtros con una banda de transición muy estrecha

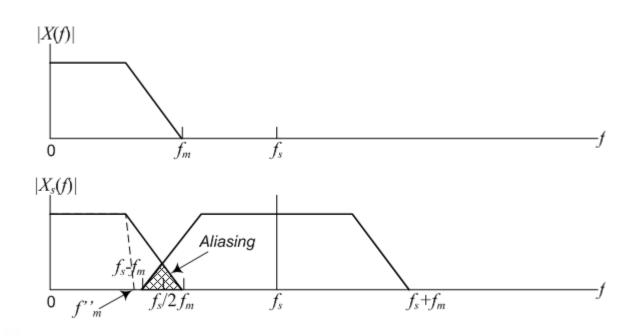
Cartagena99

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

www.cart**ab4n/494n/2010)1** Se hace respon@bl**2 0e1a/nGrimpion.contenior met baselhe impumentaeri o mes Digitales** A<mark>rti</mark>culo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comerció Electronico, de 11 de julio de 2002 Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.





Cuando la estructura de la señal es conocida, el aliasing se puede eliminar mediante pos-filtrado utilizando un filtro paso-bajo con una banda de corte $f''_m < (f_s - f_m)$.

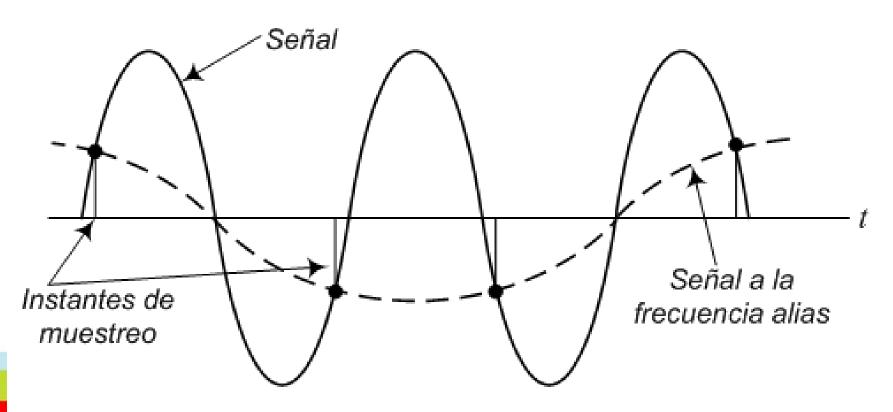
Cartagena99

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

www.cart**ab4r/494/07/01 3**e hace respon@bl**2/01/12/nGrippoling continior met pr**ese**nte inpumintant onnés Digitales** Articulo 17.1 de la Ley de Sérvicios de la Sociedad de la Información y de Comerció Electiónico, de 11 de julio de 2002 Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.





El aliasing debido a submuestreo de la señal implica que, en el dominio del tiempo,

Cartagena99

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



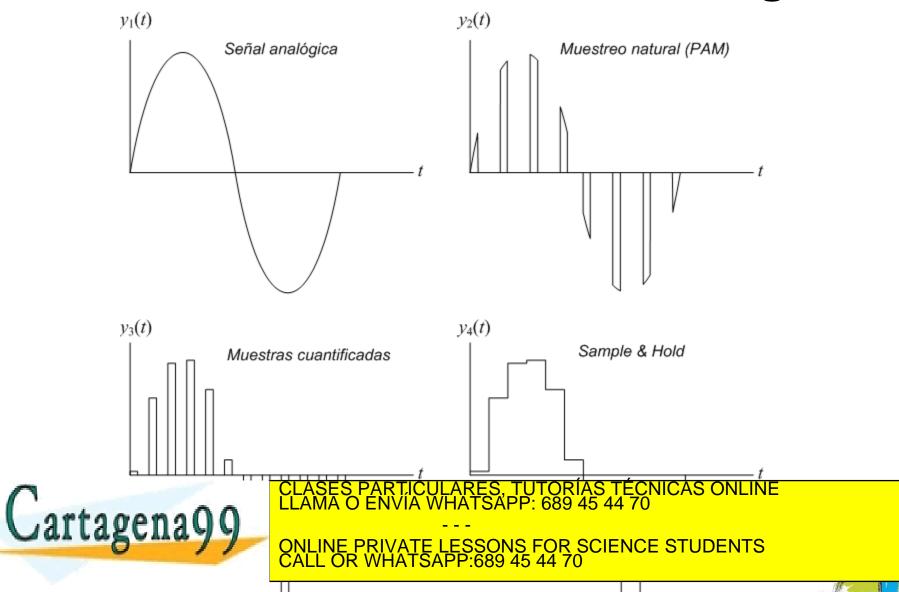


| | El sobremuestreo (oversampling) es la técnica más eficiente y barata para |
|---|---|
| | realizar una conversión de analógico a digital o de digital a analógico de una señal |
| | ADC sin oversampling |
| | ☐ La señal es filtrada por un filtro paso-bajo de elevadas prestaciones para limitarla en banda |
| | La señal filtrada es muestreada a la frecuencia de Nyquist |
| | Las muestras son procesadas por un convertidor analógico-digital que asigna a las muestras continuas unos valores numéricos discretos |
| | ADC con oversampling |
| | La señal es filtrada por un filtro paso-bajo de bajas prestaciones para limitarla en banda (pre-filtrado) |
| | La señal pre-filtrada es muestreada a la frecuencia de Nyquist |
| | Las muestras son procesadas por un convertidor analógico-digital que asigna a las muestras continuas unos valores numéricos discretos |
| | ☐ Las muestras digitales son procesadas por un filtro digital de elevadas prestaciones para reducir el ancho de banda de las muestras digitales |
| 7 | CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70 |
| ^ | ## 0 CO # 0 0 0 CLAWA O ENVIA WHATSAFF. 009 45 44 70 |

Cartagena99

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

www.cart**ant/191/07/01 3**e hace respon@bl**2 (le12)nGirapon contentrator met basene impumentant orno si Digitales Articulo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comerció Electronico, de 11 de Julio de 2002 Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.**



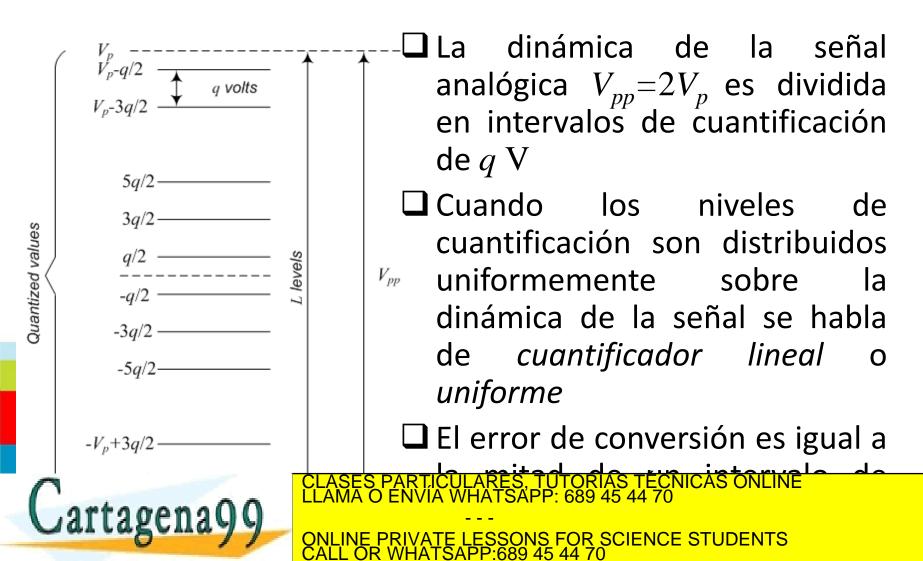
www.cartab4r/494/07/01 3e hace respon@bl/2/142nGrippon control of the control of

Fuentes de Distorsión

| | La información analógica es reconstruida a partir de muestras de pulsos cuantificados |
|---|---|
| | Las fuentes de distorsión en los pulsos transmitidos están relacionadas con: |
| | ☐ Efectos de muestreos y cuantificación ☐ Ruido de cuantificación introducido por el proceso de conversión de analógico a PAM cuantificado |
| | Saturación del cuantificador cuando la señal analógica excede el rango operativo del cuantificador (<u>la saturación se evita utilizando Control Automático de</u> Ganancia –AGC) |
| | Jitter del clock de muestreo que lleva a un muestreo no uniforme (el Jitter es un proceso aleatorio que equivale a una modulación de frecuencia de la señal en banda base e introduce una componente espectral de banda ancha con propiedades parecidas al ruido de cuantificación) |
| | ☐ Efectos de canal |
| | Ruido de canal debido a fuentes internas (ruido térmico, transitorios de conmutación) y externas (interferencias de otros usuarios) |
| 9 | ☐ Interferencia intersímbolo (Intersymbol Interference —ISI) debido al efecto de CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE |
| a | rtagena99 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70 |

www.cart**ab4n/49400001** Se hace respon@bl**2 (b1a)**n**Grimpion contener pæsene promintagri omes**l **Digitales** A<mark>rti</mark>culo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comerció Electiónico, de 11 de julio de 2002 Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Fuentes de Distorsión



www.cartapar/1946/1013 e hace respondola 12 no imprior continor met has entermount interior i onnes Digitales Articulo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electionico, de 11 de Julio de 2002 Si la información contenida en el documento es ilicita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Fuentes de Distorsión

- La figura de mérito para medir la bondad de un cuantificador uniforme es la varianza del cuantificador (es decir, el error cuadrático medio asumiendo media nula)
- Asumiendo un error de cuantificación e uniformemente distribuido a lo largo de un intervalo de cuantificación, la varianza del cuantificador resulta ser:

$$\sigma^{2} = \int_{-q/2}^{+q/2} e^{2} p(e) de = \int_{-q/2}^{+q/2} e^{2} \frac{1}{q} de = \frac{q^{2}}{12}$$

- \square Donde p(e)=1/q es la función de densidad de probabilidad (uniforme) del error de cuantificación
- \Box La varianza σ^2 corresponde a la potencia media del ruido de cuantificación
- La potencia de pico de la señal (normalizada respecto a una resistencia de $1~\Omega$) es:

 $V_p^2 = \left(\frac{V_{pp}}{2}\right)^2 = \left\lceil \frac{q(L-1)}{2} \right\rceil^2 \approx \left(\frac{Lq}{2}\right)^2 = \frac{L^2q^2}{4}$

Por tanto, la relación señal ruido de cuantificación resulta ser:

$$\left(\frac{S}{N}\right) = \frac{L^2q^2/4}{q^2/12} = 3L^2$$

Cartagena99