

Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica

Control de seguimiento de objetos

Autor: Richard M. Haes-Ellis

Tutor: Ignacio Alvarado Aldea

**Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2019



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica

Control de seguimiento de objetos

Autor:

Richard M. Haes-Ellis

Tutor:

Ignacio Alvarado Aldea

Profesor Titular

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Proyecto Fin de Carrera: Control de seguimiento de objetos

Autor: Richard M. Haes-Ellis
Tutor: Ignacio Alvarado Aldea

El tribunal nombrado para juzgar el trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes profesores:

Presidente:

Vocal/es:

Secretario:

acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Fecha:

Agradecimientos

El diseño de una hoja de estilo en \LaTeX para un texto no es en absoluto trivial. Por un lado hay que conocer bien los usos, costumbres y reglas que se emplean a la hora de establecer márgenes, tipos de letras, tamaños de las mismas, títulos, estilos de tablas, y un sinfín de otros aspectos. Por otro, la programación en \LaTeX de esta hoja de estilo es muy tediosa, incluida la selección de los mejores paquetes para ello. La hoja de estilo adoptada por nuestra Escuela y utilizada en este texto es una versión de la que el profesor Payán realizó para un libro que desde hace tiempo viene escribiendo para su asignatura. Además, el prof. Payán ha participado de forma decisiva en la adaptación de dicha plantilla a los tres tipos de documentos que se han tenido en cuenta: libro, tesis y proyectos final de carrera, grado o máster. Y también en la redacción de este texto, que sirve de manual para la utilización de estos estilos. Por todo ello, y por hacerlo de forma totalmente desinteresada, la Escuela le está enormemente agradecida.

A esta hoja de estilos se le incluyó unos nuevos diseños de portada. El diseño gráfico de las portadas para proyectos fin de grado, carrera y máster, está basado en el que el prof. Fernando García García, de la Facultad de Bellas Artes de nuestra Universidad, hiciera para los libros, o tesis, de la sección de publicación de nuestra Escuela. Nuestra Escuela le agradece que pusiera su arte y su trabajo, de forma gratuita, a nuestra disposición.

Juan José Murillo Fuentes
Subdirección de Comunicaciones y Recursos Comunes

Sevilla, 2013

Resumen

En nuestra Escuela se producen un número considerable de documentos, tantos docentes como investigadores. Nuestros alumnos también contribuyen a esta producción a través de sus trabajos de fin de grado, máster y tesis. El objetivo de este material es facilitar la edición de todos estos documentos y a la vez fomentar nuestra imagen corporativa, facilitando la visibilidad y el reconocimiento de nuestro Centro.

Abstract

In our school there are a considerable number of documents, many teachers and researchers. Our students also contribute to this production through its work in order of degree, master's theses. The aim of this material is easier to edit these documents at the same time promote our corporate image, providing visibility and recognition of our Center.

... -translation by google-

Índice Abreviado

<i>Resumen</i>	III
<i>Abstract</i>	V
<i>Índice Abreviado</i>	VII
<i>Notación</i>	XIII
1 Guía de Uso	1
1.1 Cómo usar los estilos de documento de la ETSI	1
1.2 Elementos básicos de un libro	3
1.3 Clase de documento	3
1.4 Fichero de estilo LibroETSI.sty	4
1.5 Antes del documento	9
2 Capítulo 2 - Mecánica	13
2.1 Ejemplo de sección	13
2.2 Elementos del texto	14
2.3 Una nueva sección después del resumen	19
Problemas Propuestos	21
Anexo	23
2.4 Señales: definición y clasificación	23
3 Capítulo 3 - Electrónica	25
3.1 Ejemplo de sección	25
3.2 Elementos del texto	26
3.3 Una nueva sección después del resumen	31
Problemas Propuestos	33
Anexo	35
3.4 Señales: definición y clasificación	35
4 Capítulo 4 - Programación embebida	37
4.1 Ejemplo de sección	37
4.2 Elementos del texto	38
4.3 Una nueva sección después del resumen	43
Problemas Propuestos	45
Anexo	47
4.4 Señales: definición y clasificación	47
5 Capítulo 5 - Comunicación PC-Micro	49

5.1	Ejemplo de sección	49
5.2	Elementos del texto	50
5.3	Una nueva sección después del resumen	55
	Problemas Propuestos	57
	Anexo	59
5.4	Señales: definición y clasificación	59
6	Capítulo - Percepción	61
6.1	Ejemplo de sección	61
6.2	Elementos del texto	62
6.3	Una nueva sección después del resumen	67
	Problemas Propuestos	69
	Anexo	71
6.4	Señales: definición y clasificación	71
7	Capítulo - Control mediante PID	73
7.1	Ejemplo de sección	73
7.2	Elementos del texto	74
7.3	Una nueva sección después del resumen	79
	Problemas Propuestos	81
	Anexo	83
7.4	Señales: definición y clasificación	83
Apéndice A	Sobre \LaTeX	85
A.1	Ventajas de \LaTeX	85
A.2	Inconvenientes	85
Apéndice B	Sobre Microsoft Word®	87
B.1	Ventajas del Word®	87
B.2	Inconvenientes de Word®	87
	<i>Índice de Figuras</i>	89
	<i>Índice de Tablas</i>	91
	<i>Índice de Códigos</i>	93
	<i>Bibliografía</i>	95
	<i>Índice alfabético</i>	95
	<i>Glosario</i>	97

Índice

<i>Resumen</i>	III
<i>Abstract</i>	V
<i>Índice Abreviado</i>	VII
<i>Notación</i>	XIII
1 Guía de Uso	1
1.1 Cómo usar los estilos de documento de la ETSI	1
1.1.1 Compilación	2
Macintosh®	2
Windows®	2
Lyx	2
1.1.2 Texto en inglés	2
1.2 Elementos básicos de un libro	3
1.3 Clase de documento	3
1.4 Fichero de estilo LibroETSI.sty	4
1.4.1 Paquete Babel	4
1.4.2 Símbolos y fórmulas	4
1.4.3 Fuentes	4
1.4.4 Epígrafes	5
1.4.5 Figuras y tablas	5
1.4.6 Hiperenlaces	6
1.4.7 Tabla de contenido	6
1.4.8 Formatos de títulos, páginas y cabeceras y pies de páginas	7
1.4.9 Teoremas, propiedades, definiciones y demás	7
1.4.10 Índices de palabras y glosarios	8
Índices de palabras	8
Glosario	8
Compilación de índices de palabras y glosarios	8
1.5 Antes del documento	9
1.5.1 Fichero de notación: notacion.sty	9
1.5.2 Fuente del texto	9
1.5.3 Cubierta y primeras páginas	10
2 Capítulo 2 - Mecánica	13
2.1 Ejemplo de sección	13
2.1.1 Ejemplo de subsección	14
2.2 Elementos del texto	14
2.2.1 Figuras	14
2.2.2 Tablas	14
2.2.3 Listados de programas	14

2.2.4	Ecuaciones	16
2.2.5	Ejemplos	17
2.2.6	Lemas, teoremas y similares	17
2.2.7	Resúmenes	17
	Resumen de Teoría de Información	17
2.3	Una nueva sección después del resumen	19
	Problemas Propuestos	21
	Anexo	23
2.4	Señales: definición y clasificación	23
2.4.1	Clasificación de señales	23
3	Capítulo 3 - Electrónica	25
3.1	Ejemplo de sección	25
3.1.1	Ejemplo de subsección	26
3.2	Elementos del texto	26
3.2.1	Figuras	26
3.2.2	Tablas	26
3.2.3	Listados de programas	26
3.2.4	Ecuaciones	28
3.2.5	Ejemplos	29
3.2.6	Lemas, teoremas y similares	29
3.2.7	Resúmenes	29
	Resumen de Teoría de Información	29
3.3	Una nueva sección después del resumen	31
	Problemas Propuestos	33
	Anexo	35
3.4	Señales: definición y clasificación	35
3.4.1	Clasificación de señales	35
4	Capítulo 4 - Programación embebida	37
4.1	Ejemplo de sección	37
4.1.1	Ejemplo de subsección	38
4.2	Elementos del texto	38
4.2.1	Figuras	38
4.2.2	Tablas	38
4.2.3	Listados de programas	38
4.2.4	Ecuaciones	40
4.2.5	Ejemplos	41
4.2.6	Lemas, teoremas y similares	41
4.2.7	Resúmenes	41
	Resumen de Teoría de Información	41
4.3	Una nueva sección después del resumen	43
	Problemas Propuestos	45
	Anexo	47
4.4	Señales: definición y clasificación	47
4.4.1	Clasificación de señales	47
5	Capítulo 5 - Comunicación PC-Micro	49
5.1	Ejemplo de sección	49
5.1.1	Ejemplo de subsección	50
5.2	Elementos del texto	50
5.2.1	Figuras	50

5.2.2	Tablas	50
5.2.3	Listados de programas	50
5.2.4	Ecuaciones	52
5.2.5	Ejemplos	53
5.2.6	Lemas, teoremas y similares	53
5.2.7	Resúmenes	53
	Resumen de Teoría de Información	53
5.3	Una nueva sección después del resumen	55
	Problemas Propuestos	57
	Anexo	59
5.4	Señales: definición y clasificación	59
5.4.1	Clasificación de señales	59
6	Capítulo - Percepción	61
6.1	Ejemplo de sección	61
6.1.1	Ejemplo de subsección	62
6.2	Elementos del texto	62
6.2.1	Figuras	62
6.2.2	Tablas	62
6.2.3	Listados de programas	62
6.2.4	Ecuaciones	64
6.2.5	Ejemplos	65
6.2.6	Lemas, teoremas y similares	65
6.2.7	Resúmenes	65
	Resumen de Teoría de Información	65
6.3	Una nueva sección después del resumen	67
	Problemas Propuestos	69
	Anexo	71
6.4	Señales: definición y clasificación	71
6.4.1	Clasificación de señales	71
7	Capítulo - Control mediante PID	73
7.1	Ejemplo de sección	73
7.1.1	Ejemplo de subsección	74
7.2	Elementos del texto	74
7.2.1	Figuras	74
7.2.2	Tablas	74
7.2.3	Listados de programas	74
7.2.4	Ecuaciones	76
7.2.5	Ejemplos	77
7.2.6	Lemas, teoremas y similares	77
7.2.7	Resúmenes	77
	Resumen de Teoría de Información	77
7.3	Una nueva sección después del resumen	79
	Problemas Propuestos	81
	Anexo	83
7.4	Señales: definición y clasificación	83
7.4.1	Clasificación de señales	83
Apéndice A	Sobre \LaTeX	85
A.1	Ventajas de \LaTeX	85
A.2	Inconvenientes	85

Apéndice B Sobre Microsoft Word®	87
B.1 Ventajas del Word®	87
B.2 Inconvenientes de Word®	87
<i>Índice de Figuras</i>	89
<i>Índice de Tablas</i>	91
<i>Índice de Códigos</i>	93
<i>Bibliografía</i>	95
<i>Índice alfabético</i>	95
<i>Glosario</i>	97

Notación

\mathbb{R}	Cuerpo de los números reales
\mathbb{C}	Cuerpo de los números complejos
$\ \mathbf{v}\ $	Norma del vector \mathbf{v}
$\langle \mathbf{v}, \mathbf{w} \rangle$	Producto escalar de los vectores \mathbf{v} y \mathbf{w}
$ \mathbf{A} $	Determinante de la matriz cuadrada \mathbf{A}
$\det(\mathbf{A})$	Determinante de la matriz (cuadrada) \mathbf{A}
\mathbf{A}^\top	Transpuesto de \mathbf{A}
\mathbf{A}^{-1}	Inversa de la matriz \mathbf{A}
\mathbf{A}^\dagger	Matriz pseudoinversa de la matriz \mathbf{A}
\mathbf{A}^H	Transpuesto y conjugado de \mathbf{A}
\mathbf{A}^*	Conjugado
c.t.p.	En casi todos los puntos
c.q.d.	Como queríamos demostrar
■	Como queríamos demostrar
□	Fin de la solución
e.o.c.	En cualquier otro caso
e	número e
e^{jx}	Exponencial compleja
$e^{j2\pi x}$	Exponencial compleja con 2π
e^{-jx}	Exponencial compleja negativa
$e^{-j2\pi x}$	Exponencial compleja negativa con 2π
Re	Parte real
Im	Parte imaginaria
sen	Función seno
tg	Función tangente
arctg	Función arco tangente
$\sin^y x$	Función seno de x elevado a y
$\cos^y x$	Función coseno de x elevado a y
Sa	Función sampling
sgn	Función signo
rect	Función rectángulo
Sinc	Función sinc
$\frac{\partial y}{\partial x}$	Derivada parcial de y respecto a x
x°	Notación de grado, x grados.
$\Pr(A)$	Probabilidad del suceso A
$E[X]$	Valor esperado de la variable aleatoria X
σ_X^2	Varianza de la variable aleatoria X
$\sim f_X(x)$	Distribuido siguiendo la función densidad de probabilidad $f_X(x)$
$\mathcal{N}(m_X, \sigma_X^2)$	Distribución gaussiana para la variable aleatoria X , de media m_X y varianza σ_X^2

\mathbf{I}_n	Matriz identidad de dimensión n
$\text{diag}(\mathbf{x})$	Matriz diagonal a partir del vector \mathbf{x}
$\text{diag}(\mathbf{A})$	Vector diagonal de la matriz \mathbf{A}
SNR	Signal-to-noise ratio
MSE	Minimum square error
:	Tal que
$\stackrel{\text{def}}{=}$	Igual por definición
$\ \mathbf{x}\ $	Norma-2 del vector \mathbf{x}
$ \mathbf{A} $	Cardinal, número de elementos del conjunto \mathbf{A}
$\mathbf{x}_i, i = 1, 2, \dots, n$	Elementos i , de 1 a n , del vector \mathbf{x}
dx	Diferencial de x
\leq	Menor o igual
\geq	Mayor o igual
\backslash	Backslash
\Leftrightarrow	Si y sólo si
$x = a + 3 \underset{a=1}{=} 4$	Igual con explicación
$\frac{a}{b}$	Fracción con estilo pequeño, a/b
Δ	Incremento
$b \cdot 10^a$	Formato científico
$\overset{x}{\rightarrow}$	Tiende, con x
\mathbf{O}	Orden
TM	Trade Mark
$\mathbb{E}[x]$	Esperanza matemática de x
\mathbf{C}_x	Matriz de covarianza de \mathbf{x}
\mathbf{R}_x	Matriz de correlación de \mathbf{x}
σ_x^2	Varianza de x

1 Guía de Uso

The fundamental problem of communication is that of reproducing at one point either exactly or approximately a message selected at another point.

CLAUDE SHANNON, 1948

En este capítulo vamos a describir las partes de las que consta un documento tipo, cómo deben interpretarse los diferentes comandos que se han definido para su confección, los *paquetes* (conjunto de sentencias de \LaTeX escritas y desarrolladas por diversos autores) que se han cargados y el porqué de los mismos, elecciones realizadas en cuanto a la edición, el porqué de determinadas fuentes, etc.

Hay mucho de elección personal en lo que sigue y únicamente se justifica desde el gusto personal de quienes escribimos esto. No pretendemos por ello sentar precedentes, obligaciones ni restricciones a quien desee utilizar este documento. En cualquier caso, esperamos que su lectura sea provechosa para la confección y edición de libros, apuntes de clase, proyectos, etc.

\LaTeX se ha convertido de hecho en el procesador de texto estándar para la edición de documentos científicos. Este libro está escrito precisamente en \LaTeX , haciendo uso de la plantilla que hemos diseñado y al escribir un libro sobre cómo escribir un libro en \LaTeX y cómo hacer uso de esta plantilla, estamos entrando muchas veces en una redundancia evidente.

Estas páginas no constituyen un manual de \LaTeX , ni lo pretendemos, ya que existen incontables y buenas referencias sobre este tema. El objetivo es describir los aspectos formales que deseamos se puedan incorporar a cualquier texto producido en la Escuela. También, como la mayoría de nuestra producción científica utiliza ampliamente las fórmulas matemáticas, incluimos algunos consejos sobre la escritura de las mismas, para lo que hemos utilizado las notas preparadas en [?]. Asimismo resulta muy interesante el libro [?].

Por último, puesto que los ficheros fuentes de este documento están disponibles, esperamos que los mismos faciliten la utilización de los distintos elementos de edición.

1.1 Cómo usar los estilos de documento de la ETSI

Una de las bondades del \LaTeX es que una vez definido el estilo, formado por un conjunto de paquetes y adaptaciones de los mismos, la escritura de un texto se reduce a dominar una serie de comandos. En nuestro caso, se presenta este documento como ejemplo de uso de estos comandos. En este capítulo encontrará detalles técnicos sobre la estructura del documento y una breve introducción sobre algunos de los elementos del estilo diseñado, puesto que en el Capítulo ?? se estudian detalladamente todos sus componentes. También encontrará instrucciones de cómo compilar el documento. Para usar esta hoja de estilo, se recomienda leer el Capítulo 7 y Capítulo ?? como ejemplos de capítulos donde se incluyen la mayoría de los comandos que pueden ser de utilidad en la redacción de un texto técnico.

El archivo `libroTipoETSI.tex` es el archivo principal, que tiene una serie de comandos para incluir las distintas partes que se necesiten. Muchas de estas partes se han incluido separadamente en carpetas, por comodidad. Este archivo lo hemos modificado levemente para utilizarlo como formato para proyecto fin de carrera/grado/máster. El resultado se incluye en un fichero con nombre `pfcTipoETSI.tex`. Y también se incluye un formato para tesis `tesisTipoETSI.tex`

Los datos necesarios para generar la cubierta y demás hojas iniciales se incluyen al comienzo de estos ficheros: el título del proyecto, autores, el nombre del departamento, etc. Si necesita retocar la cubierta (por ejemplo el ancho de la imagen utilizada) tendrá que modificar directamente el fichero `edicionLibro.sty`, que es el fichero al que se llama para generarla. Si quiere, también, puede retocar la imagen de fondo. Todo esto se explica en un apartado más adelante. Para los restantes tipos de documentos, estas modificaciones hay que hacerlas en los ficheros `edicionPFC.tex` y `edicionTesis.sty`.

Así, para empezar a utilizar este documento, basta que empiece modificando los ficheros `libroTipoETSI.tex` (ó `pfcTipoETSI.tex`, `tesisTipoETSI.tex`) y cada uno de los ficheros que éste incluya, bien introduciendo los cambios oportunos, bien eliminándolos (puede simplemente comentar la línea correspondiente).

Una vez modificado, el segundo paso es compilarlo. Debe elegir el tipo de formato, A4 ó libro. Por defecto, `libroTipoETSI.tex` y `tesisTipoETSI.tex` están en formato libro y `pfcTipoETSI.tex` en A4. Para cambiar cualquiera de ellos, debe buscar el comando `\geometry` dentro del fichero `libroTipoETSI.tex` y establecer los parámetros correspondientes o bien tendrá que comentar la correspondiente a tamaño libro para descomentar la correspondiente al formato A4, o viceversa. También, hay un conjunto de comandos más adelante que están comentados y que permiten presentar el texto en formato manuscrito, con un interlineado distinto prefijado a 1.5 líneas.

1.1.1 Compilación

Macintosh®

Este trabajo se ha desarrollado en un ordenador Macintosh®. Como iremos viendo, \LaTeX consta de un elevado número de programas y existen un conjunto de distribuciones que facilitan su uso. Nosotros hemos elegido una de las versiones más utilizadas, Tex-Live, versión 2013, <http://mirror.ctan.org/systems/mac/mactex/MacTeX.pkg>, en su versión para el sistema operativo Mac OSx®. Para la bibliografía se ha utilizado BibTeX.

Como editor de ficheros y compilador hemos usado TeXShop®. Puede usar `pdflatexmk` para compilar, que va bien y genera directamente la bibliografía y los índices de palabra y glosarios. Aquí se recomienda utilizar el comando `lualatexmk`, que es un determinado motor engine de TeXShop®. Si no lo ve en la lista de opciones de componer, vaya a las librerías de usuario y en la carpeta TeXShop/Engines saque `lualatexmk.engine` de la subcarpeta Inactive. Si no quiere complicarse, En todo caso, puede usar también \LaTeX y BibTeX. Pero si compila con \LaTeX y luego desea usar `Lua\text{\LaTeX}mk`, deberá borrar todos los archivos auxiliares, menos los archivos con la extensión `.tex` y `.bib` que se corresponden, respectivamente, al fichero fuente de \LaTeX y de la bibliografía.

Si utiliza un índice de palabras y un glosario, vaya a la sección correspondiente para ver cómo generarlos.

Windows®

Existen versiones de la distribución Tex-Live para las diferentes versiones de Windows® y en la dirección señalada anteriormente pueden encontrarse instrucciones para su instalación en este y restantes sistemas operativos. No se ha probado con el conjunto MikTeX, pero probablemente funcionaría igualmente.

Como editor y compilador de ficheros hemos optado por TexMaker®, igualmente con una codificación UTF-8. Hasta donde conocemos, el editor *Winedt*® no reconoce esta codificación. Para la bibliografía se ha utilizado BibTeX. Para compilar tendrá que o bien usar `LatexMk` ó `PDFLaTeX`. No olvide seleccionar la opción UTF-8 en “Opciones” en el menú, y luego en la ventana emergente pulsando Editor y allí en el campo Codificación de editor.

Si utiliza un índice de palabras y un glosario, vaya a la sección correspondiente para ver cómo generarlos.

Lyx

En <http://www.lyx.org/>, el lector puede encontrar una opción alternativa a la forma de trabajo tradicional de \LaTeX , tanto en Windows® como en MacOS®. En este entorno, uno puede trabajar con un entorno de edición gráfico, tal como se trabaja por ejemplo en Microsoft Word®. Una vez terminado el documento, es relativamente sencillo compilarlo en \LaTeX . De hecho, hemos realizado algunas pruebas positivas en este sentido. En cualquier caso se recomienda no usar nombres de archivo con ñ, tildes, o espacios.

1.1.2 Texto en inglés

Si escribe el texto en inglés, deberá de cambiar el idioma en la opción de Babel, uno de los paquetes claves para la escritura en \LaTeX . En el fichero `libroTipoETSI.sty`, se debe buscar la línea que comienza por

`\usepackage[spanish, english...]{babel}` y seguir con las instrucciones correspondientes. Esto hará que automáticamente los nombres de secciones, apartados, teoremas, ejemplos, etc, aparezcan en inglés.

1.2 Elementos básicos de un libro

En este capítulo describimos los puntos que pueden incluirse con el formato propuesto. En primer lugar, la longitud de un libro, en general, justifica su separación en partes. Una posibilidad es que un libro esté dividido en Partes y esta a su vez en Capítulos. Y por último, a veces existen Apéndices que se incorporan cuando han acabado los capítulos. En nuestro caso sólo hemos considerado la posibilidad de dividir el libro en capítulos y apéndices. Además, existen un conjunto de elementos como dedicatoria, prefacio, agradecimientos, portada, etc, que también son partes que se han tenido en cuenta.

Se ha optado por estructurar los ficheros fuente de este texto en carpetas que cuelgan de una principal en la que se encuentra alojada el fichero principal que las utiliza o agrupa. En nuestro caso, por ejemplo, el fichero principal se denomina `libroTipoETSI.tex` (ó `pfcTipoETSI.tex`, `tesisTipoETSI.tex`) y colgadas de la carpeta que lo contiene se encuentran las carpetas `introducción`, `dedicatoria`, ..., `capitulolibroETSI`¹, etc. De alguna forma, este fichero principal es el esqueleto que describe cómo está formado el libro.

En un nivel de descripción diferente, podríamos considerar que un libro se encuentra dividido en cubierta, páginas de cortesía, portada, página de título y trasera de la página de título, elementos antes del cuerpo del libro, tales como agradecimientos, prefacio, índices, etc, el cuerpo del libro en sí, dividido en capítulos y esto a su vez en secciones, subsecciones, subsubsecciones, subcapítulos, apéndices y, por último, la parte del libro después del cuerpo, que agruparía elementos tales como la lista de figuras del libro, la bibliografía, el índice, etc. En \LaTeX estas tres partes se dividen con los comandos `\frontmatter`, `\mainmatter` y `\backmatter`. Estos comandos, y muchos otros, nos permiten describir formalmente el contenido del libro, tal como se realiza en el fichero `libroTipoETSI.tex`. Este fichero, como hemos dicho, constituye el esquema de nuestro libro y entender por qué están allí cada una de sus partes es de interés, que no imprescindible, de cara a poder confeccionar un texto.

1.3 Clase de documento

El comando `\documentclass[paper=a4,10pt,twoside]{scrbook}` o uno similar es el primer comando que aparecerá en cualquier documento de \LaTeX . La parte importante del mismo es `scrbook` y hace referencia a la elección de una clase de documento tipo libro pero tal como se define en el conjunto de programas denominado *Koma*. Se ha elegido este tipo de documento fundamentalmente por generar un tipo de texto próximo a los estándares europeos, en contraposición con la clase estándar `book`. Una posible alternativa consistiría en la utilización de la clase `Memoir`. En cualquier caso, debido a las posibles modificaciones del conjunto *Koma*, es inmediato sustituir la clase de documento por la standard `book`.

Existen además un conjunto de parámetros, todos los encerrados entre `[...]` que modifican de alguna manera el tipo de documento que vamos a generar. Para entender el significado de cada uno de ellos se puede consultar la referencia [?]. En cualquier caso, `paper=a4` hace referencia a la dimensión del papel que vamos a utilizar (más adelante diremos algo más acerca de esto), `10pt` establece el tamaño de la fuentes en **puntos tipográficos** y `twoside` nos indica que vamos a generar un documento a doble cara.

Por último, se han incorporado tres nuevos parámetros: `Myfinal=false`, `Minion=false` y `English=false`. Mediante el primero, que como todos ellos también puede tomar el valor `Myfinal=true`, se le indica a \LaTeX que nos encontramos en la versión final del documento, realizándose con ello una serie de ajustes *finos* en la partición silábica, la separación entre palabras (o incluso un ligero ensanchamiento) que hacen más agradable visualmente el texto generado.

Mediante el parámetro `Minion=true` ó `Minion=false` se le indica a \LaTeX que utilice o no el paquete `Minion`. Este paquete permite la utilización de una fuente denominada Minion Pro para el texto y el conjunto de símbolos matemáticos que lo acompañan, denominados MnSymbol. No resulta trivial la instalación de este paquete por lo que en general la opción por defecto es su no utilización. No hay que confundir la utilización de la opción `Minion=true` ó `Minion=false` con el uso de la fuente Minion Pro para el texto del documento. Ambas cosas están separadas aunque desde un punto de vista tipográfico no deberían estarlo. Es decir, si

¹ Tenga en cuenta que en algunas imprentas pueden cobrar más por copias de hojas en color. Para ello asegúrese de que utiliza los colores convenientemente, y -en su caso- que los grises lo son de verdad.

queremos elegir una fuente Minion Pro para el texto, lo más acertado sería elegir esa misma fuente para el texto matemático. Esta elección conjunta es la que se activa con `Minion=true`.

Por último, resulta evidente el significado del parámetro `Englis=false` que también puede ser `English=true`.

1.4 Fichero de estilo LibroETSI.sty

La instrucción que sigue a la declaración de la clase es `\usepackage{LibroETSI}`. Con ella cargamos y definimos las principales características tipográficas y de muy diversa índole que hemos propuesto para el diseño de los documentos de la Escuela. A lo largo del presente documento se irán revelando diversos aspectos del mismo, pero se empieza aquí con una pequeña introducción. En el Capítulo correspondiente se describen ordenadamente todas sus características.

Debemos observar antes que nada que es un fichero con la extensión `sty` y siempre debe estar antes del comando `\begin{document}`. En él se cargarán un conjunto de paquetes que hemos considerado necesarios y se definirán un conjunto de comandos que facilitan la escritura del texto. Una buena práctica para escribir un libro o cualquier documento que posea una extensión considerable es agrupar en un fichero como el presentado el conjunto de elementos que necesitamos para su escritura: paquetes y comandos.

1.4.1 Paquete Babel

Como ya hemos dicho, el primer paquete importante (existen otros anteriores, pero de carácter mucho más técnico que otra cosa) es el paquete `babel`, que se carga en nuestro fichero mediante la instrucción

```
\usepackage [english, spanish, es-nosectiondot, es-noindentfirst,
es-nolists, activeacute]{babel}.
```

Su papel fundamental es declarar que el texto estará escrito en español, que podemos utilizar sin restricción los acentos (no sería posible en \LaTeX si no lo declarásemos como idioma preferente) y que adoptaremos los usos convencionales de mayúsculas, acentos en expresiones matemáticas, etc recomendados por la RAE. A todo esto contribuye también la sentencia `\spanishdecimal{.}`. Ya se ha comentado que intercambiando las palabras `english` por `spanish` obtenemos los nombres de capítulo, sección y otros en inglés.

1.4.2 Símbolos y fórmulas

Aunque \LaTeX no es sólo un sistema de edición para textos científicos, su aplicación para ellos es prácticamente universal. En el estilo de libro que hemos propuesto, la utilización de las fuentes en los textos matemáticos y el posible uso de diversos símbolos y herramientas propias para los textos científicos está recogido en diversos paquetes, entre los que cabe destacar `\usepackage{cmex10}{amsmath}`, `\usepackage{amssymb}` y `\usepackage{mathptmx}`.

1.4.3 Fuentes

La selección de las fuentes para la edición de cualquier texto no es fácil. En realidad, el diseño tipográfico es todo un arte. Un convenio bastante aceptado es utilizar fuentes con serif para el texto y sin serif para titulares y cabeceras de páginas. Sin embargo, la elección de cualquiera de estas familias de fuentes es prácticamente cuestión de gusto personal y, por que no decirlo, de la moda del momento.

En los primeros tiempos de \LaTeX y \TeX las posibilidades de elección estaban bastante delimitadas. Sin embargo, con el advenimiento de nuevos métodos y programas, es posible elegir prácticamente cualquier fuente existente para su uso. En cualquier caso, no es un tema trivial ni sencillo, como puede verse en la considerable extensión de todo lo relacionado con las fuentes en nuestra hoja de estilos. Nuestra elección se pone de manifiesto en este texto.

Existen además un conjunto de razones históricas que complican enormemente la elección de la fuente (aunque en realidad habría que hablar de las fuentes) del texto. Si se utiliza como motor de composición \pdfLaTeX la forma más simple de seleccionar las fuentes se realiza mediante comandos específicos como, por ejemplo, `\usepackage{tgterms}`, que se encuentra utilizado en el fichero `libroTipoETSI.tex`. Sin embargo, si se utilizan motores más recientes como \XeLaTeX o \LuaLaTeX podremos seleccionar cualquier fuente `OTF` o `TTF` que se encuentre en nuestro ordenador. En este caso, tal como se detalla en un apartado más adelante, este texto propone la utilización de la fuente **Minion Pro** que se encuentra disponible de manera generalizada al haber sido licenciada gratuitamente por Adobe® siempre que se instale el programa gratuito Adobe Reader.

1.4.4 Epígrafes

En muchos libros, después del título de un capítulo o antes del resumen, o en el lugar que apetezca, se coloca una frase con diversos significados. Esto en \LaTeX se consigue con el comando `\epigraph`, para lo cual es necesario que se instale el paquete `\usepackage{epigraph}`.

1.4.5 Figuras y tablas

Una parte importante de cualquier texto son las figuras y tablas que lo acompañan. En \LaTeX estos elementos se consideran elementos flotantes y hemos cargado un conjunto de paquetes que facilitan su inclusión y formato.

La inclusión de las figuras se realiza mediante un conjunto de instrucciones que se muestran en el Código 7.1.

Código 1.1 Inclusión de una figura.

```
\begin{figure}[htbp]
\centering
\includegraphics[width=0.95\linewidth]
{introduccion/figuras/fig01-01.pdf}
\caption{Modelo de un sistema de Comunicación Digital I}
\label{fig01-01}
\end{figure}
```

Y el resultado se muestra en la Figura 1.1.

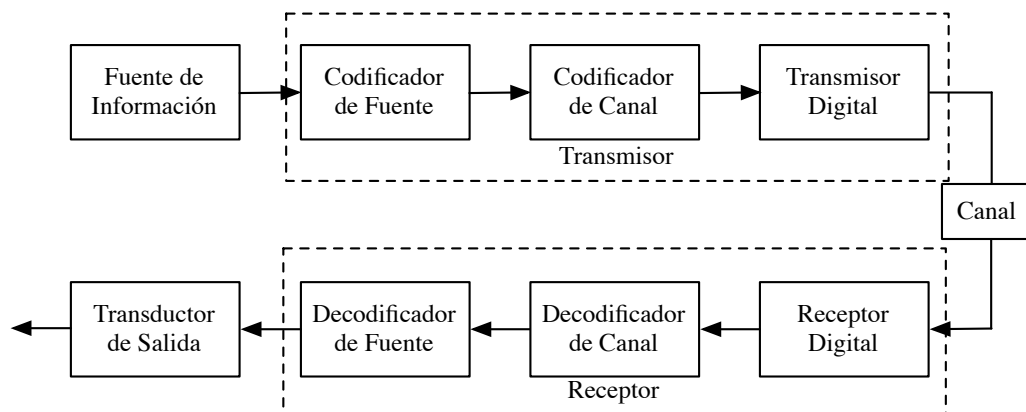


Figura 1.1 Modelo de un sistema de Comunicación Digital I.

Para incluir una tabla utilizamos las instrucciones siguientes:

Código 1.2 Inclusión de una tabla.

```
\begin{table}[htbp]
\tabbox
{\caption{Tipos de transmisión y frecuencia central}
\label{tab2_1}}
{
\begin{tabular}{c c}
\hline
\rule[-8pt]{0pt}{22pt}{\bfseries{Tipo de Transmisión}}\&
{\bfseries{Frecuencia central de transmisión}} \\\
\hline

```

```

\rule{Opt}{14pt}Modem & 100-1800 Hz \\
Radio AM & 530-1600 kHz \\
Radio FM & 88-108 MHz \\
Televisión & 178-216 MHz \\
Telefonía móvil & 850 MHz-1,8 GHz \\
Redes inalámbricas & 2,4 GHz \\
Fibra óptica &  $2 \cdot 10^{14}$  Hz \\
\hline
\end{tabular}
}
\end{table}

```

Y el resultado se muestra en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Tipos de transmisión y frecuencia central.

Tipo de Transmisión	Frecuencia central de transmisión
Modem	100-1800 Hz
Radio AM	530-1600 kHz
Radio FM	88-108 MHz
Televisión	178-216 MHz
Telefonía móvil	850 MHz-1,8 GHz
Redes inalámbricas	2,4 GHz
Fibra óptica	$2 \cdot 10^{14}$ Hz

Observemos que en la parte inferior de las figuras y en la superior de las tablas (esta ha sido nuestra elección), se colocan textos explicativos sobre las mismas. El formato de este texto se logra mediante una sentencia facilitada por el paquete que se carga mediante el comando `\usepackage{caption}`. El resto de paquetes utilizados realizan diversas tareas como, por ejemplo, `\usepackage{longtable}`, que permite que una tabla se extienda a través de más de una página.

1.4.6 Hiperenlaces

Un primer paso a la hora de crear un documento es generar una versión en formato electrónico del mismo. Hemos decidido que ese formato sea **pdf**. En un formato pdf existe la posibilidad de crear hiperenlaces que facilitan la navegación a lo largo del mismo. Por ejemplo, el índice en un libro en formato pdf se generará, con la propuesta que hemos realizado, creando enlaces a las diversas partes del mismo. O bien, cuando nos referimos a una figura o tabla, es muy útil la existencia de esos enlaces al lugar exacto en el que se encuentra la figura o tabla. El paquete responsable de realizar todas estas tareas se denomina **hyperref** y las sentencias que siguen a su carga realizan diversas tareas que pueden consultarse en la extensa documentación que lo acompaña. Sobre la línea 110 de `libroTipoETSI.tex` encontrará que puede modificar el color del enlace, puesto a negro por defecto.

1.4.7 Tabla de contenido

La generación de la tabla (o tablas) de contenido de un texto suficientemente largo suele ser una tarea sumamente laboriosa. **L^AT_EX** facilita enormemente este trabajo mediante un conjunto de paquetes y comandos que se agrupan bajo el apartado genérico denominado TOC (Table Of Contents). En otra sección de este capítulo explicaremos cómo y dónde se incorporará esta tabla de contenidos. En este apartado nos centramos en explicar algunos aspectos de cómo se construye la principal tabla de contenidos, que denominamos **Índice**.

Nuestra primera decisión fue establecer que en el índice deben aparecer hasta los apartados que hemos denominados **subsubsecciones**, lo que se logra mediante el `{3}` del comando `\setcounter{tocdepth}` en `libroETSI.sty`. El formato de cada uno de los apartados se logra con el conjunto de sentencias que siguen y tienen una estructura bastante autoexplicativa. También hemos propuesto que no aparezcan los habituales puntos que existen entre el texto y el número de página correspondiente de muchos índices, ajustando a 10000 el parámetro `\@dotsep`.

Nuestra siguiente decisión afecta a la manera en la que hemos querido que aparezcan en el índice los índices del texto, valga la redundancia. No es trivial pero, básicamente, hemos definido dos listas, una para los elementos que aparecen antes del Índice General y otra para los que aparecen después, al final del texto, que se corresponden aproximadamente a lo que hemos denominado `\frontmatter` y `\backmatter`, respectivamente. Si no se desea cualquier índice, basta con comentar la línea correspondiente.

1.4.8 Formatos de títulos, páginas y cabeceras y pies de páginas

El aspecto de un libro está básicamente definido por el formato que se ha elegido para los diferentes títulos de las partes que lo constituyen, el formato de las páginas y qué queremos que aparezca en las cabeceras y pies de páginas del mismo. Todo esto se ha conseguido utilizando un paquete desarrollado por el español Bezos denominado `titlesec`, que se carga en nuestro fichero mediante la instrucción `\usepackage[noindentafter, pagestyles,...]{titlesec}`.

El paquete nos permite definir los distintos tipos de páginas, de acuerdo con las instrucciones que se proporcionan en el mismo. Por ejemplo, con `\newpagestyle{esitscd}` creamos la página habitual en la mayor parte del texto, formada por el número en la parte exterior de la misma, en las páginas pares el nombre del capítulo en el que estamos y en las impares el nombre de la sección. Estos elementos se colocan encima de una raya horizontal que se ha definido previamente, tanto en su grosor como en su longitud.

Una vez definidos los diferentes tipos de páginas podemos definir, por ejemplo, que nuestra página por defecto será `esitscd`, con la instrucción `\pagestyle{esitscd}`. Si queremos que una página determinada en un punto concreto sea diferente, si suponemos que, por ejemplo, el estilo de página `otroestilo` ha sido definido, basta situar la instrucción `\thispagestyle{otroestilo}` en el punto deseado. Un ejemplo podemos encontrarlo en la manera que logramos que los capítulos empiecen siempre en páginas impares. Con ese fin, se utiliza el estilo de página `empty` en caso de que sea necesario.

Por último, el paquete `titlesec` nos permite definir cómo queremos que sean los titulares que usaremos en nuestros textos. Así, la instrucción `\titleformat{section}{...}` establece que nuestras secciones estarán numeradas al nivel de capítulo, con el número de la sección fuera de margen `hang`, y con unas determinadas separaciones del texto, establecidas a través del comando `\titlespacing`.

En todo caso, estos parámetros no se deberían de tocar, salvo en contadas ocasiones, y por ello se incluyen aquí estos detalles.

1.4.9 Teoremas, propiedades, definiciones y demás

En la escritura de cualquier texto científico los Teoremas, propiedades y demás elementos constituyen una parte muy significativa. Existen, de nuevo, múltiples posibilidades de tratar estos elementos, pero hemos considerado que las facilidades que suministra el paquete `ntheorem`, cargado mediante la instrucción `\usepackage[thmmarks, amsmath, noconfig, hyperref, framed]{ntheorem}` se adapta perfectamente a nuestros gustos y decisiones. Por ejemplo, con el conjunto de instrucciones que se muestran en el Código 1.3:

Código 1.3 Teoremas, Lemas,....

```
\theoremnumbering{arabic}
\theoremheaderfont{\aheadteoremas}
\theoremseparator{\hspace{.2em}}
\theorembodyfont{\itshape}
\newtheorem{teor}{Teorema}[section]
\newtheorem{lema}{Lema}[section]
\newtheorem{prop}{Propiedad}[section]
\newtheorem{coro}{Corolario}[teor]
```

hemos definido los Teoremas, Lemas, Propiedades y Corolarios. Centrándonos en los teoremas, las instrucciones anteriores definen que los teoremas estarán referenciados mediante un número `arabic`, con una numeración que será creciente desde la unidad dentro de cada sección de un determinado capítulo, `\newtheorem{teor}{Teorema}[section]`. La fuente que se utilizará para que aparezca la palabra “Teorema” está definida por el comando `\theoremheaderfont{\aheadteoremas}`, el enunciado del teorema se realizará en itálica y para enunciar un teorema y su demostración utilizamos las siguientes instrucciones:

Código 1.4 Teorema y Demostración.

```
\begin{teor}[Teorema de Pitágoras]
En un triángulo rectángulo...
\end{teor}
\begin{proof}
Sea el triángulo ABC...
\end{proof}
```

El resultado sería el siguiente:

Teorema 1.4.1 (Teorema de Pitágoras) *En un triángulo rectángulo...*

Demostración. Sea el triángulo ABC... ■

Podemos observar que al finalizar la demostración hemos incluido el símbolo ■. De manera análoga, están definidas las restantes entidades, incluyendo el comando que nos permite escribir los cuadros de elementos de la programación.

1.4.10 Índices de palabras y glosarios

Con los paquetes `index` y `glossaries` podemos incluir índices de palabras y listas con definiciones, ya sea de acrónimos u de otro tipo. Por ejemplo, se podría usar también para definir magnitudes o la notación utilizada.

Índices de palabras

Para construir un índice de palabras, como el que puede encontrar al final de este texto, se incluye el paquete `\usepackage{imakeidx}` con algunas opciones. Para incluir una palabra en el índice utilizamos `\index{palabra}` justo detrás de la palabra que queramos indexar. Si queremos agrupar en un grupo diferentes subpalabras, utilizamos `\index{palabra!subpalabra}`. Es importante no olvidar ejecutar `makeindex`, al igual que ejecuta `latex` o `bibtex` para componer el texto o generar la bibliografía. Otro detalle importante es poner los índices con mayúsculas o con minúsculas, pero todos iguales. De esta forma, cuando se genere el índice de palabras no queden algunas con la primera letra en mayúsculas y otras no. Por último, con las instrucciones de compilación que se detallan un poco más adelante, las palabras en español que empiecen por tilde se indexan al final. Para evitarlo, y que aparezcan en su sitio, tiene que escribir primero la palabra sin tilde seguida de arroba y la palabra con tilde, como por ejemplo `\index{Índice de palabras@Índice de palabras}`.

Glosario

Un glosario con acrónimos u otros términos se realiza en este texto utilizando `\usepackage{acronym}{glossaries}`. Para definir un acrónimo, basta con incluir antes del comienzo del documento una línea del tipo:

```
\newacronym[type=main]{etiqueta}{acrónimo}{nombre completo},
como por ejemplo
\newacronym[type=main]{ETSI}{ETSI}{Escuela Técnica Superior de
Ingeniería}.
```

En esta orden el primer argumento es el identificador o etiqueta, el segundo es el acrónimo o abreviatura y el tercero es el nombre completo al que hace referencia el acrónimo o abreviatura. Para utilizar luego la abreviatura o acrónimo, y se pueda luego generar un índice que indique en qué página se ha usado, se utiliza `\gls{etiqueta}`.

Compilación de índices de palabras y glosarios

Existen distintos comandos para generar el índice y el glosario. Puede utilizar los que estime oportunos. Aquí se ofrece una solución para realizarlo.

El comando más usado es `makeindex`. Habría que llamar dos veces a este comando, con distintos argumentos, si se incluye el glosario además del índice. En Macintosh si utiliza el comando `lualatexmk`, uno de los engines de TeXShop, el índice de palabra y el glosario se generarán de forma automática.

En Windows, tendrá que ejecutar PDFLaTeX ó LaTeXMk, luego tendrá que ejecutar `makeindex` tal cual para generar el índice de palabras. Para generar el glosario tendrá que definir un comando de usuario, tal como sigue. Vaya al menú 'Usuario', en `texmaker`, y allí a 'Comandos de Usuario' y dentro de este a 'Editar

Comandos de Usuario'. En cualquiera de los comandos defina uno nuevo con el título que quiera, por ejemplo glosario, y en el campo comando, incluya la siguiente línea²

Una vez definido este comando de usuario, ejecútelo, y vuelva a ejecutar PDFLaTeX o LatexMk.

1.5 Antes del documento

Antes de empezar la edición del documento, además de cargar los ficheros de estilos `LibroETSI.sty` y `edicionLibro.sty` (o el correspondiente al documento), hemos creído necesario realizar una serie de operaciones que faciliten nuestro trabajo o lo configuren de una determinada manera.

1.5.1 Fichero de notación: notacion.sty

Hemos considerado interesante incluir un fichero de notaciones que son de amplia utilidad dentro del área de conocimiento de los autores. Su uso es completamente opcional pero se ha utilizado ampliamente en la elaboración de este texto. Simplifica enormemente la escritura hacer uso de ficheros de este tipo y prácticamente cada autor utiliza el suyo propio.

Como ocurría con el fichero `LibroETSI.sty`, es necesario que se cargue, incluyendo la instrucción `\usepackage{notacion}` al comienzo del fichero principal. Puesto que su uso resulta evidente, no hemos considerado necesario realizar una documentación precisa sobre el mismo más allá de los propios comentarios que acompañan las definiciones del fichero, y que el lector puede consultar abriéndolo. Nótese que existe además una carpeta con este nombre. En esta carpeta se ha incluido un ejemplo de notación que podría ponerse al comienzo de un documento. Sobre este documento, se puede añadir o quitar lo que se desee.

1.5.2 Fuente del texto

Las instrucciones incluidas en el código 1.5 y que pertenecen al fichero `LibroETSI.sty` se pueden modificar para cambiar la fuente del texto. En primer lugar, debemos actuar de forma diferente si queremos utilizar la fuente Minion Pro o no. Si hemos definido como `true` el parámetro correspondiente, en el caso que estemos compilando con \LaTeX no debemos hacer nada. Sin embargo, en el caso de utilizar \LaTeX debemos declarar que la fuente va a ser Minion Pro y modificar ligeramente su tamaño.

Si no vamos a utilizar una fuente Minion Pro, en el caso de \LaTeX se puede utilizar para el texto cualquier fuente OTF o TTF que el usuario posea de forma legal, y se encuentre instalada, lo que depende del sistema operativo (SO) utilizado. En nuestro caso, observad que hemos utilizado una fuente Time New Roman pues suele estar instalada en la mayoría de los SO. Se proponen asimismo un par de alternativas si prefiere otras fuentes.

El código incluido detecta si se no se está utilizando \LaTeX en cuyo caso se usa una fuente equivalente a una Times, cargada mediante el comando estándar `\usepackage{tgterms}`. Hay otras opciones comentadas, y se pueden buscar otras fuentes.

Código 1.5 Fuente del texto.

```
%:Para modificar fácilmente la fuente del texto.
\makeatletter
\ifdtsc@Minion % Queremos utilizar la fuente Minion y lo hemos declarado al
  principio
\ifluatex
  \setmainfont[Renderer=Basic, Ligatures=TeX, % Fuente del texto
    Scale=1.01,
  ]{Minion Pro}
  % En este caso conviene modificar ligeramente el tamaño de las fuentes
  matemáticas
  \DeclareMathSizes{10}{10.5}{7.35}{5.25}
  \DeclareMathSizes{10.95}{11.55}{8.08}{5.77}
```

² Si usase el texmaker en Mac-OS tendría que pulsar el asistente para seleccionar makeindex. Aparecería en el campo comando algo así como `"makeindex"%idx`, donde el asistente habrá encontrado la carpeta donde está el comando makeindex. Sustituya el final, `%idx`, por `-s%.ist -t%.glg -o%.gls%.glo`, de forma que el campo comando quede como sigue: `"/usr/texbin/makeindex" -s%.ist -t%.glg -o%.gls%.glo`

```

\DeclareMathSizes{12}{12.6}{8.82}{6.3}
\fi
\else
\ifluatex
% Para utilizar la fuente Times New Roman, o alguna otra que se tenga
% instalada
\setmainfont[Renderer=Basic, Ligatures=TeX, % Fuente del texto
Scale=1.0,
]{Times New Roman}
% \setmainfont[Renderer=Basic, Ligatures=TeX, % Fuente del texto
% ]{Adobe Garamond Pro}
% \setmainfont[Renderer=Basic, Ligatures=TeX, % Fuente del texto
% ]{Palatino LT Std}
\else
\usepackage{tgtermes} %clone of Times
%\usepackage[default]{droidserif}
%\usepackage{anttor}
\fi
\fi
\makeatother

```

Si se intenta utilizar una fuente que no está instalada (dentro del sistema operativo) la compilación con \LaTeX daría error. Si se instala una nueva fuente y se desea utilizar, se puede tratar de modificar las líneas de código que se suministran como ejemplo. La primera vez que se utilice esa nueva fuente, \LaTeX tardará algo más en compilar pues necesita generar una serie de ficheros internos.

La principal ventaja en el uso de \LaTeX la encontramos en la facilidad para utilizar diferentes fuentes en diferentes lugares y con diferentes características (tamaño, color, etc) muy fácilmente configurables. Puede ser interesante leer el fichero `fontspec.pdf` para conocer cómo se realizan estos cambios.

En caso de utilizar el motor pdfLatex, la elección más sencilla se realiza como hemos dicho mediante paquetes específicos tales como `\usepackage{tgtermes}`. Puede consultarse la dirección <http://www.tug.dk/FontCatalogue/alphfonts.html> para conocer las posibilidades más habituales.

Por último: como ya hemos dicho, todo lo anterior únicamente afecta a la elección de las fuentes del texto. La elección de las fuentes matemáticas (texto dentro de matemática, símbolos, letras griegas, etc) se controla de manera completamente diferente mediante paquetes específicos. En el ?? volveremos sobre este asunto. En concreto, observar que en el caso de compilar con la opción `Minion=true` y existir el fichero de estilo `MinionPro.sty` (no confundir con la fuente Minion Pro; si no existiera el fichero, aparecería un error), se propone el uso de la fuente Minion Pro como fuente matemática, junto con los símbolos de la fuente MnSymbol. En caso contrario, se hará uso de una fuente Times (en realidad, de una extensión de la misma).

No todas las fuentes pueden usarse como fuentes matemáticas y en la dirección <http://www.tug.dk/FontCatalogue/alphfonts.html> se encuentran recogidas las que si tienen soporte matemático. Es importante señalar además que no todas las combinaciones de fuente de texto y fuente matemática son tipográficamente adecuadas.

1.5.3 Cubierta y primeras páginas

Se ha diseñado esta plantilla para que tome una imagen de fondo y a partir de ésta se incluyan los datos de título, autor, etc, para generar la portada del documento. La portada propuesta es distinta para proyectos fin de carrera y similares que para libros o tesis. Todo esto se ha hecho diseñando una serie de funciones que las generan, tomando los datos que se definen en la cabecera del fichero principal. Así, en el `libroTipoETSI.tex`, se puede definir el título de la obra, el autor, etc. En el caso de `pfcTipoETSI.tex` y `tesisTipoETSI.tex`, se puede definir además el director, el tipo de proyecto (máster, grado y carrera), y otros parámetros. Las imágenes de fondo de la cubierta también se llaman desde este fichero, así como la imagen al pie de la hoja interior con el título y autor de la obra (para libros). La imagen central de la cubierta está en la carpeta figuras, con nombre `imagenLibro.png`. Puede incluir la imagen deseada en esta carpeta salvándola con este mismo nombre. Preste atención a que el formato es rectangular. Para introducir la imagen del logo del departamento en el proyecto fin de carrera/grado/máster, puede retocar la imagen de fondo, cortando el logo existente e insertando el deseado. Estas imágenes están en la carpeta figuras.

Para cambiar cualquier otro aspecto, tales como el tamaño de la figura de la cubierta ó los créditos de la cubierta, tendrá que modificar el fichero `edicionLibro.sty` en este caso de un libro.

2 Capitulo 2 - Mecánica

Una de las virtudes del ingeniero es la eficiencia.

GUANG TSE

El formato de capítulo abarca diversos factores. Un capítulo puede incluir, además de texto, los siguientes elementos:

- Figuras
- Tablas
- Ecuaciones
- Ejemplos
- Resúmenes, con recuadros en gris, por ejemplo
- Lemas, corolarios, teoremas,... y sus demostraciones
- Cuestiones
- Problemas propuestos
- ...

En este capítulo se propone incluir ejemplos de todos estos elementos, para que el usuario pueda modificarlos fácilmente para su uso. Consulte el código suministrado, para ver cómo se escriben en \LaTeX .

2.1 Ejemplo de sección

En la Figura 7.1 se incluye a modo de ejemplo la imagen del logo de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI) ¹. El código para que aparezca dicha imagen se muestra en el cuadro siguiente:

Si nos detenemos en los comandos que hemos utilizado, con `width` se controla el ancho, y se escala así el tamaño de la imagen. En \LaTeX existen diversas opciones para situar la figura en la página: con `t` o `b` se le indica que las incluya arriba o abajo (top/bottom) y con `!` se le pide que la deje dónde está, tras el texto anterior.

Código 2.1 Código para incluir una figura.

```
\begin{figure}[htbp]
\centering
\includegraphics[width=3 cm]{capituloLibroETSI/figuras/logoESI.pdf}
\caption{Logo de la ETSI}
\label{fig:figura1}
\end{figure}
```

Para dar énfasis a algún texto, usamos `\emph`. Así, por ejemplo,

¹ Se usa aquí el package de acrónimos, que la primera vez define el acrónimo y ya luego sólo incluye el mismo. Esto facilita luego generar de forma automática la lista de acrónimos.

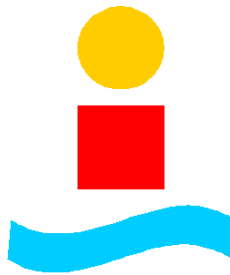


Figura 2.1 Logo de la ETSI.

No olvide intentar utilizar este formato en sus publicaciones de la ETSI

hace aparecer el anterior texto en itálica. Pero si escribiésemos, por ejemplo,

No olvide intentar utilizar este formato siempre en sus publicaciones de la ETSI

vemos cómo hemos destacado la palabra “siempre” en torno a su contexto. Para ello, hemos escrito, realmente, `\emph{siempre}` dentro de la frase original.

2.1.1 Ejemplo de subsección

Si se usaba `\section` para indicar una sección, se utiliza `\subsection` para una subsección.

2.2 Elementos del texto

2.2.1 Figuras

Además del tipo de figura que vimos anteriormente, el normal, podemos desear incluir una figura en modo apaisado ocupando toda la página. Para ello utilizamos el entorno de figura siguiente `\begin{sidewaysfigure}`, cuyo resultado se puede observar en la Figura 7.2.

Aunque puede optar por la forma que desee, en el fichero `notacion.sty` se incluyen definiciones para que pueda usar `\LABFIG{etiqueta}` y `\FIG{etiqueta}` para poner una etiqueta y hacer referencia a la misma luego. Además, está definido para que `\FIG{etiqueta}` incluya por delante el término Figura.

2.2.2 Tablas

A modo de ejemplo, Tabla 7.1 incluye un ejemplo de tabla. Al igual que con figura, si usa `notacion.sty` puede usar `\LABTAB{etiqueta}` y `\TAB{etiqueta}` para poner una etiqueta y una referencia, y el `\TAB{etiqueta}` ya incluye el nombre Tabla por delante.

Una alternativa al uso de estos comandos está representado por el uso del comando `\autoref{etiqueta}` que, en conjunción con el paquete `babel` genera automáticamente los nombres de Figura o Tabla, en función de la etiqueta correspondiente.

Tabla 2.1 Valores de parámetros.

Definición	notación	valor
Potencia transmitida (entregada a antena)	P_{et}	-5 a 20 dBm
Ganancia antenas	G	40.5 dBi

2.2.3 Listados de programas

Es muy habitual en nuestros documentos que tengamos que incluir listados de programas. Para ello, se propone la utilización de un paquete denominado `listings`. Se obtiene con él un listado como el mostrado en el Código 7.2 de MATLAB® siguiente:

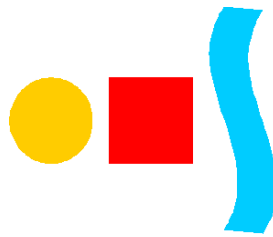


Figura 2.2 Logo de la ETSI.

Código 2.2 Representación de la función $\text{rect}(t - T/2)$.

```

clear all
close all
T = 1;
A = 1;
L = 100;
tstep = T/L;
t = 0:tstep:T-tstep;
g_t = A*ones(1,L);
figure(1);
subplot(211);
h=plot(t,g_t); axis( [0 T -A-0.1 A+0.1]);
set(h,'linewidth', 1.0);
ylabel('g(t)'), xlabel('t[s]'); grid on;

g_n = g_t;
subplot(212);
h=stem(g_n, '.', 'filled'); axis( [1 L -0.1 A+0.1]);
set(h,'linewidth', 1.0);
ylabel('g(n)'), xlabel('n');

```

También se puede generar en este caso una relación de los códigos usados en nuestro documento, de manera equivalente a la relación de figuras o tablas. Para ello, observar la correspondiente codificación en el fichero principal.

2.2.4 Ecuaciones

Para escribir expresiones matemáticas, como por ejemplo $2 + 2 = 4$, sólo hace falta que meta la expresión entre símbolos $\$$. En el fichero notacion.sty se incluyen muchas definiciones para facilitar la escritura de estas expresiones y de ecuaciones. Para escribir una ecuación, con una o más líneas, se aconseja utilizar **align**, como en el siguiente ejemplo, en las ecuaciones (7.1)-(7.3),

$$T = kT_b, \quad (2.1)$$

$$R_b = \frac{1}{T_b}, \quad (2.2)$$

$$D = \frac{1}{T} = \frac{R_b}{k} = \frac{R_b}{\log_2 M}. \quad (2.3)$$

Si no quiere numerar una línea, utilice la instrucción **\nonumber** antes de poner $\backslash\backslash$ para escribir la siguiente línea. Y con **&** puede alinear las ecuaciones.

Un ejemplo más complejo de ecuaciones sería el siguiente: decimos que el vector aleatorio \mathbf{Z} es gaussiano si su función densidad de probabilidad conjunta viene dada por:

$$f_{\mathbf{Z}}(\mathbf{z}) = \frac{1}{(2\pi)^N |\mathbf{C}_{\mathbf{Z}}|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{z}-\mathbf{m}_{\mathbf{Z}})^{\top} \mathbf{C}_{\mathbf{Z}}^{-1}(\mathbf{z}-\mathbf{m}_{\mathbf{Z}})} \quad (2.4)$$

con el vector media la matriz $\mathbf{m}_{\mathbf{Z}}$ y la matriz de covarianza real $\mathbf{C}_{\mathbf{Z}}$ ($2N \times 2N$) simétrica definida positiva dado por:

$$\mathbf{m}_{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \mathbf{m}_{\mathbf{X}} \\ \mathbf{m}_{\mathbf{Y}} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{\mathbf{X}} & \mathbf{C}_{\mathbf{XY}} \\ \mathbf{C}_{\mathbf{YX}} & \mathbf{C}_{\mathbf{Y}} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

con el vector ω dado por:

$$\omega = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \vdots \\ \omega_N \\ \omega_{N+1} \\ \vdots \\ \omega_{2N} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Si no desea que se numere una ecuación puede poner asterisco, tanto en el entorno `equation` como `align`.

2.2.5 Ejemplos

Para incluir un ejemplo, utilice el entorno `\ejmp`, usando el entorno `\begin{ejmp}` y `\end{ejmp}`, y para la solución el entorno `\begin{sol}`.

Ejemplo 2.2.1 Calcule $2 + 2$.

Solución. Para resolver esto se puede utilizar que $1 + 1 = 2$, de la siguiente forma

$$2 + 2 = (1 + 1) + (1 + 1) = 4,$$

donde se ha contado, pruebe a utilizar los dedos de su mano, a cuatro.

Observad que antes de comenzar el ejemplo y tras su finalización se han incluido unos *filetes* a modo de resalte en el texto. En el caso de una serie de ejemplos, los entornos `\begin{ejmpn}` y `\begin{soln}`, junto con los entornos de cierre correspondientes, permiten que no existan estos filetes entre los ejemplos y soluciones intermedias de la serie.

2.2.6 Lemas, teoremas y similares

Se incluyen ejemplos de estos elementos de texto. Empezamos con la Definición 7.2.1 y la Propiedad 7.2.1:

Definición 2.2.1 (Suma) La suma es la operación que permite contar sobre un número, otro.

Propiedad 2.2.1 (Suma) *Los números enteros se pueden sumar.*

Lema 2.2.1 (Suma de 1 y 1) *La suma $1 + 1$ es igual a 2.*

Demostración. Ponga un dedo a la vista, junto a otro, y cuéntelos. ■

Teorema 2.2.1 (Suma) *La suma de cualquier número y dos es igual a la suma del mismo número más uno más uno.*

Demostración. Por inducción y el Lema 7.2.1. ■

Corolario 2.2.1.1 (Contables) *Los números enteros son contables.*

Demostración. Por el Teorema 7.2.1. ■

2.2.7 Resúmenes

Para incluir un resumen de una sección o un conjunto de secciones o en cualquier otro punto que consideremos interesante, se utiliza el entorno `\begin{Resumen}`, que admite como parámetro opcional un nombre que queramos asignarle al resumen. Por defecto, se denomina “Resumen”. Observar que se ha modificado la cabecera de las páginas impares. Una vez finalizado el resumen, con el comando `\end{Resumen}`, se recupera la anterior cabecera automáticamente. Los resúmenes que se deseen incluir aparecen en la tabla de contenidos como una sección sin numeración, con el nombre elegido o el nombre por defecto de Resumen. En el siguiente ejemplo hemos utilizado este parámetro opcional de nombre.

Resumen de Teoría de Información

Debido al considerable número de definiciones, teoremas y propiedades que hemos descrito en los apartados anteriores, vamos a presentar un resumen de los principales resultados, no necesariamente en el mismo orden que el expuesto anteriormente. Supondremos en este resumen que las variables aleatorias X , Y y Z son discretas, definidas en el alfabeto \mathcal{X} , \mathcal{Y} y \mathcal{Z} respectivamente.

Entropía de una variable aleatoria discreta

Se define la entropía $H(X)$ de una variable aleatoria discreta X , con función masa de probabilidad $p(x)$, en la forma:

$$H(X) = - \sum_{x \in \mathcal{X}} p(x) \log p(x) = \mathbb{E}[-\log p(X)]$$

1. Se cumple:

$$0 \leq H(X) \leq \log |\mathcal{X}|$$

con la igualdad en la izquierda si y sólo si $p_i = 1$ para algún $x_i \in \mathcal{X}$ y con la igualdad a la derecha si y sólo si la variable aleatoria está uniformemente distribuida; esto es, $p_i = 1/|\mathcal{X}|$ para todo i .

2. $H(X) = 0$ si y sólo si X es determinista.
3. $H(X) = H(p(x))$ es una función cóncava en $p(x)$.
4. Se define la *Función de Entropía Binaria* en la forma:

$$h_b(p) \stackrel{\text{def}}{=} -p \log p - (1-p) \log (1-p)$$

5. La función entropía binaria $h_b(p)$ es una función cóncava en p .
6. Si X y \hat{X} son dos variables aleatorias estadísticamente independientes igualmente distribuidas,

$$\Pr(X = \hat{X}) \geq 2^{-H(X)}$$

con la igualdad si y sólo si X tiene una distribución uniforme.

Entropía conjunta y entropía condicional

Definimos la *entropía conjunta* de las variables aleatorias X e Y , $H(X, Y)$ en la forma:

$$H(X, Y) = \sum_{x \in \mathcal{X}} \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(x, y) \log \frac{1}{p(x, y)} = \mathbb{E}[-\log p(X, Y)]$$

Definimos la *entropía condicional* $H(X | Y)$ en la forma:

$$\begin{aligned} H(X | Y) &= \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(y) H(X | Y = y) = \\ &= - \sum_{x \in \mathcal{X}} \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(x, y) \log p(x | y) = \\ &= \mathbb{E}[-\log p(X | Y)] \end{aligned}$$

1. $H(X, Y) \leq H(X) + H(Y)$
con la igualdad si y sólo si X e Y son estadísticamente independientes.
- 2.

$$\begin{aligned} H(X | Y) &\leq H(X) \\ H(Y | X) &\leq H(Y) \end{aligned}$$

con la igualdad si y sólo si X e Y son estadísticamente independientes.

3. $H(X|Y) = 0$ si y sólo si X es una función de Y .

4. $H(X|X) = 0$

5. $H(X,Y) = H(Y) + H(X|Y)$

6. $H(X,Y) = H(X) + H(Y|X)$

7. $H(X,Y|Z) = H(X|Z) + H(Y|X,Z)$

8. *Desigualdad de Fano* Sean X y \hat{X} dos variables aleatorias que toman valores en el mismo alfabeto \mathcal{X} . Se verifica:

$$H(X|\hat{X}) \leq h_b(p_e) + p_e \log(|\mathcal{X}| - 1)$$

Reglas de las cadenas

Sea \mathbf{X} un vector formado por las N variables aleatorias $X_i, i = 1, 2, \dots, N$.

1. *Regla de la cadena para la entropía*

$$\begin{aligned} H(X_1, X_2, \dots, X_N) &= \sum_{i=1}^N H(X_i | X_1, \dots, X_{i-1}) = \\ &= H(X_1) + H(X_2 | X_1) + \dots + H(X_N | X_1, \dots, X_{N-1}) \end{aligned}$$

2. *Regla de la cadena para la entropía condicional*

$$H(X_1, X_2, \dots, X_N | Y) = \sum_{i=1}^N H(X_i | X_1, \dots, X_{i-1}, Y)$$

3. *Regla de la cadena para la información mutua*

$$I(X_1, X_2, \dots, X_N; Y) = \sum_{i=1}^N I(X_i; Y | X_1, \dots, X_{i-1})$$

4. *Regla de la cadena para la Información Mutua Condicional*

$$I(X_1, X_2, \dots, X_N; Z | Y) = \sum_{i=1}^N I(X_i; Z | X_1, \dots, X_{i-1}, Y)$$

2.3 Una nueva sección después del resumen

Problemas Propuestos

Esto es un ejemplo de cómo incluir cuestiones y/o problemas al final de un capítulo, con o sin solución. Para poner un problema o cuestión, usar `\begin{prob}` y `\end{prob}`. Para incluir la solución, a continuación usar `\begin{soln}` seguido del texto terminado en `\end{soln}`.

2.1 Sean A , B y C sucesos de un cierto experimento con probabilidades dadas por:

$$\Pr(A) = \frac{1}{3}$$

$$\Pr(B) = \frac{1}{4}$$

$$\Pr(C) = \frac{1}{5}$$

$$\Pr(A \cap B) = \frac{1}{12}$$

$$\Pr(A \cap C) = \frac{1}{15}$$

$$\Pr(B \cap C) = \frac{1}{20}$$

$$\Pr(A \cap B \cap C) = \frac{1}{30}$$

- a) ¿Son los sucesos independientes dos a dos? ¿Son estadísticamente independientes?
- b) Encontrar $\Pr(A \cup B)$.
- c) Encontrar $\Pr(A \cup B \cup C)$.

2.2 Suponer que tenemos una moneda con las siguientes características: cuando se lanza, la probabilidad de que salga cara es $\Pr(c) = p$ y la probabilidad de que salga cruz $\Pr(+) = q$. Lanzamos dos veces la moneda y queremos conocer acerca de la independencia estadística de los siguientes sucesos:

A = Sale c en la primera tirada

B = En las dos tiradas sale lo mismo

C = Sale c en la segunda tirada

2.3 Determinar la media, la autocorrelación y el espectro densidad de potencia de la salida de un sistema con respuesta impulsiva dada por:

$$h(n) = \begin{cases} 1 & n = 0, 2 \\ -2 & n = 1 \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

cuando la señal de entrada es un ruido blanco $X(n)$ con varianza σ_X^2 .

Solución. Si el ruido es blanco, su valor esperado será cero y su espectro densidad de potencia será una constante: $S_X(\Omega) = C$. Calculemos su autocorrelación. Se tiene:

$$R_X(k) = \mathbb{E}[F]^{-1} [S_X(\Omega)] = \mathbb{E}[F]^{-1} [C] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} C e^{jk\Omega} d\Omega = \begin{cases} k \neq 0 & \frac{C}{2\pi} \frac{e^{jk\Omega}}{jk} \Big|_{-\pi}^{\pi} \Rightarrow \\ k = 0 & C \end{cases}$$

$$R_X(k) = C\delta(k) = \begin{cases} C & k = 0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases}$$

Ahora bien: (...)

□

Si quiere introducir un separador dentro de un capítulo puede utilizar la instrucción subchapter. Esto le puede interesar, por ejemplo, para introducir alguna información adicional al final de un capítulo como un anexo al mismo.

En las secciones que siguen vamos a repasar algunas materias que utilizamos ampliamente a lo largo del texto y que sostienen de forma rigurosa el estudio de las comunicaciones digitales.

2.4 Señales: definición y clasificación

Una puede definirse como una función que transmite información generalmente sobre el estado o el comportamiento de un sistema físico, [?]. Aunque las señales puedan representarse de muchas maneras, en todos los casos la información está contenida en la variación de alguna magnitud física. Matemáticamente se representan como una función de una o más variables independientes. Por ejemplo, una señal de voz se puede representar como una función del tiempo y una imagen fotográfica puede representarse como una variación de la luminosidad respecto a dos parámetros espaciales. En cualquier caso, es una práctica común denotar como tiempo, t , a la variable independiente, en el caso de una variación continua de la variable independiente, y n en caso contrario.

2.4.1 Clasificación de señales

Establezcamos a continuación una clasificación de las señales atendiendo a diversos puntos de vista.

Señales deterministas y aleatorias

Una señal se clasifica como determinista cuando no hay incertidumbre alguna acerca del valor que tiene en cualquier instante de tiempo. Estas señales pueden modelarse como una función matemática, por ejemplo, $g(t) = 10 \cos(4\pi t^2)$.

Una señal aleatoria es aquella para la que existe cierta incertidumbre respecto a su valor. Matemáticamente vamos a modelarla como una función muestra de un proceso aleatorio.

Para que una señal transmita información debe tener un carácter aleatorio, [?].

Señales periódicas y no periódicas.

Una señal $g(t)$ es periódica, con periodo T_0 , si existe una cantidad $T_0 > 0$ tal que:

$$g(t) = g(t + T_0) \quad \forall t \quad (2.7)$$

siendo T_0 el valor más pequeño que cumple esta relación. Una señal que no cumpla (2.7) se denomina no periódica.

Señales analógicas, discretas, muestreadas y digitales

Una señal analógica $g(t)$ es aquella que está definida para todo t . Una señal discreta sólo está definida en un conjunto numerable² de valores del tiempo. Una señal muestreada está definida para todo instante de tiempo, aunque sólo puede tomar valores en un conjunto numerable y una señal digital es aquella que sólo está definida en un conjunto numerable de valores del tiempo y toma valores en un conjunto numerable.

² Un conjunto es numerable o contable cuando sus elementos pueden ponerse en correspondencia uno a uno con el conjunto de los números naturales. Con posterioridad veremos que el concepto de conjunto numerable o contable juega un papel importante en el desarrollo de numerosos aspectos de la teoría.

3 Capítulo 3 - Electrónica

Una de las virtudes del ingeniero es la eficiencia.

GUANG TSE

El formato de capítulo abarca diversos factores. Un capítulo puede incluir, además de texto, los siguientes elementos:

- Figuras
- Tablas
- Ecuaciones
- Ejemplos
- Resúmenes, con recuadros en gris, por ejemplo
- Lemas, corolarios, teoremas,... y sus demostraciones
- Cuestiones
- Problemas propuestos
- ...

En este capítulo se propone incluir ejemplos de todos estos elementos, para que el usuario pueda modificarlos fácilmente para su uso. Consulte el código suministrado, para ver cómo se escriben en \LaTeX .

3.1 Ejemplo de sección

En la Figura 7.1 se incluye a modo de ejemplo la imagen del logo de la ETSI¹. El código para que aparezca dicha imagen se muestra en el cuadro siguiente:

Si nos detenemos en los comandos que hemos utilizado, con `width` se controla el ancho, y se escala así el tamaño de la imagen. En \LaTeX existen diversas opciones para situar la figura en la página: con `t` o `b` se le indica que las incluya arriba o abajo (top/bottom) y con `!` se le pide que la deje dónde está, tras el texto anterior.

Código 3.1 Código para incluir una figura.

```
\begin{figure}[htbp]
\centering
\includegraphics[width=3 cm]{capituloLibroETSI/figuras/logoESI.pdf}
\caption{Logo de la ETSI}
\label{fig:figura1}
\end{figure}
```

Para dar énfasis a algún texto, usamos `\emph`. Así, por ejemplo,

¹ Se usa aquí el package de acrónimos, que la primera vez define el acrónimo y ya luego sólo incluye el mismo. Esto facilita luego generar de forma automática la lista de acrónimos.

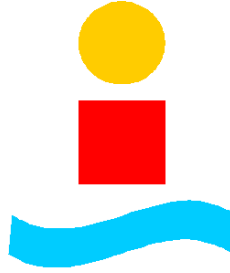


Figura 3.1 Logo de la ETSI.

No olvide intentar utilizar este formato en sus publicaciones de la ETSI

hace aparecer el anterior texto en *italica*. Pero si escribiésemos, por ejemplo,

No olvide intentar utilizar este formato siempre en sus publicaciones de la ETSI

vemos cómo hemos destacado la palabra “siempre” en torno a su contexto. Para ello, hemos escrito, realmente, `\emph{siempre}` dentro de la frase original.

3.1.1 Ejemplo de subsección

Si se usaba `\section` para indicar una sección, se utiliza `\subsection` para una subsección.

3.2 Elementos del texto

3.2.1 Figuras

Además del tipo de figura que vimos anteriormente, el normal, podemos desear incluir una figura en modo apaisado ocupando toda la página. Para ello utilizamos el entorno de figura siguiente `\begin{sidewaysfigure}`, cuyo resultado se puede observar en la Figura 7.2.

Aunque puede optar por la forma que desee, en el fichero `notacion.sty` se incluyen definiciones para que pueda usar `\LABFIG{etiqueta}` y `\FIG{etiqueta}` para poner una etiqueta y hacer referencia a la misma luego. Además, está definido para que `\FIG{etiqueta}` incluya por delante el término Figura.

3.2.2 Tablas

A modo de ejemplo, Tabla 7.1 incluye un ejemplo de tabla. Al igual que con figura, si usa `notacion.sty` puede usar `\LABTAB{etiqueta}` y `\TAB{etiqueta}` para poner una etiqueta y una referencia, y el `\TAB{etiqueta}` ya incluye el nombre Tabla por delante.

Una alternativa al uso de estos comandos está representado por el uso del comando `\autoref{etiqueta}` que, en conjunción con el paquete `babel` genera automáticamente los nombres de Figura o Tabla, en función de la etiqueta correspondiente.

Tabla 3.1 Valores de parámetros.

Definición	notación	valor
Potencia transmitida (entregada a antena)	P_{et}	-5 a 20 dBm
Ganancia antenas	G	40.5 dBi

3.2.3 Listados de programas

Es muy habitual en nuestros documentos que tengamos que incluir listados de programas. Para ello, se propone la utilización de un paquete denominado `listings`. Se obtiene con él un listado como el mostrado en el Código 7.2 de MATLAB® siguiente:

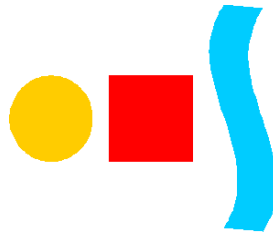


Figura 3.2 Logo de la ETSL.

Código 3.2 Representación de la función $\text{rect}(t - T/2)$.

```

clear all
close all
T = 1;
A = 1;
L = 100;
tstep = T/L;
t = 0:tstep:T-tstep;
g_t = A*ones(1,L);
figure(1);
subplot(211);
h=plot(t,g_t); axis( [0 T -A-0.1 A+0.1]);
set(h,'linewidth', 1.0);
ylabel('g(t)'), xlabel('t[s]'); grid on;

g_n = g_t;
subplot(212);
h=stem(g_n, '.', 'filled'); axis( [1 L -0.1 A+0.1]);
set(h,'linewidth', 1.0);
ylabel('g(n)'), xlabel('n');

```

También se puede generar en este caso una relación de los códigos usados en nuestro documento, de manera equivalente a la relación de figuras o tablas. Para ello, observar la correspondiente codificación en el fichero principal.

3.2.4 Ecuaciones

Para escribir expresiones matemáticas, como por ejemplo $2 + 2 = 4$, sólo hace falta que meta la expresión entre símbolos $\$$. En el fichero notacion.sty se incluyen muchas definiciones para facilitar la escritura de estas expresiones y de ecuaciones. Para escribir una ecuación, con una o más líneas, se aconseja utilizar **align**, como en el siguiente ejemplo, en las ecuaciones (7.1)-(7.3),

$$T = kT_b, \quad (3.1)$$

$$R_b = \frac{1}{T_b}, \quad (3.2)$$

$$D = \frac{1}{T} = \frac{R_b}{k} = \frac{R_b}{\log_2 M}. \quad (3.3)$$

Si no quiere numerar una línea, utilice la instrucción **\nonumber** antes de poner $\backslash\backslash$ para escribir la siguiente línea. Y con **&** puede alinear las ecuaciones.

Un ejemplo más complejo de ecuaciones sería el siguiente: decimos que el vector aleatorio \mathbf{Z} es gaussiano si su función densidad de probabilidad conjunta viene dada por:

$$f_{\mathbf{Z}}(\mathbf{z}) = \frac{1}{(2\pi)^N |\mathbf{C}_{\mathbf{Z}}|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{z}-\mathbf{m}_{\mathbf{Z}})^{\top} \mathbf{C}_{\mathbf{Z}}^{-1}(\mathbf{z}-\mathbf{m}_{\mathbf{Z}})} \quad (3.4)$$

con el vector media la matriz $\mathbf{m}_{\mathbf{Z}}$ y la matriz de covarianza real $\mathbf{C}_{\mathbf{Z}}$ ($2N \times 2N$) simétrica definida positiva dado por:

$$\mathbf{m}_{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \mathbf{m}_{\mathbf{X}} \\ \mathbf{m}_{\mathbf{Y}} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{\mathbf{X}} & \mathbf{C}_{\mathbf{XY}} \\ \mathbf{C}_{\mathbf{YX}} & \mathbf{C}_{\mathbf{Y}} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

con el vector ω dado por:

$$\omega = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \vdots \\ \omega_N \\ \omega_{N+1} \\ \vdots \\ \omega_{2N} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Si no desea que se numere una ecuación puede poner asterisco, tanto en el entorno `equation` como `align`.

3.2.5 Ejemplos

Para incluir un ejemplo, utilice el entorno `\ejmp`, usando el entorno `\begin{ejmp}` y `\end{ejmp}`, y para la solución el entorno `\begin{sol}`.

Ejemplo 3.2.1 Calcule $2 + 2$.

Solución. Para resolver esto se puede utilizar que $1 + 1 = 2$, de la siguiente forma

$$2 + 2 = (1 + 1) + (1 + 1) = 4,$$

donde se ha contado, pruebe a utilizar los dedos de su mano, a cuatro.

Observad que antes de comenzar el ejemplo y tras su finalización se han incluido unos *filetes* a modo de resalte en el texto. En el caso de una serie de ejemplos, los entornos `\begin{ejmpn}` y `\begin{soln}`, junto con los entornos de cierre correspondientes, permiten que no existan estos filetes entre los ejemplos y soluciones intermedias de la serie.

3.2.6 Lemas, teoremas y similares

Se incluyen ejemplos de estos elementos de texto. Empezamos con la Definición 7.2.1 y la Propiedad 7.2.1:

Definición 3.2.1 (Suma) La suma es la operación que permite contar sobre un número, otro.

Propiedad 3.2.1 (Suma) *Los números enteros se pueden sumar.*

Lema 3.2.1 (Suma de 1 y 1) *La suma $1 + 1$ es igual a 2.*

Demostración. Ponga un dedo a la vista, junto a otro, y cuéntelos. ■

Teorema 3.2.1 (Suma) *La suma de cualquier número y dos es igual a la suma del mismo número más uno más uno.*

Demostración. Por inducción y el Lema 7.2.1. ■

Corolario 3.2.1.1 (Contables) *Los números enteros son contables.*

Demostración. Por el Teorema 7.2.1. ■

3.2.7 Resúmenes

Para incluir un resumen de una sección o un conjunto de secciones o en cualquier otro punto que consideremos interesante, se utiliza el entorno `\begin{Resumen}`, que admite como parámetro opcional un nombre que queramos asignarle al resumen. Por defecto, se denomina “Resumen”. Observar que se ha modificado la cabecera de las páginas impares. Una vez finalizado el resumen, con el comando `\end{Resumen}`, se recupera la anterior cabecera automáticamente. Los resúmenes que se deseen incluir aparecen en la tabla de contenidos como una sección sin numeración, con el nombre elegido o el nombre por defecto de Resumen. En el siguiente ejemplo hemos utilizado este parámetro opcional de nombre.

Resumen de Teoría de Información

Debido al considerable número de definiciones, teoremas y propiedades que hemos descrito en los apartados anteriores, vamos a presentar un resumen de los principales resultados, no necesariamente en el mismo orden que el expuesto anteriormente. Supondremos en este resumen que las variables aleatorias X , Y y Z son discretas, definidas en el alfabeto \mathcal{X} , \mathcal{Y} y \mathcal{Z} respectivamente.

Entropía de una variable aleatoria discreta

Se define la entropía $H(X)$ de una variable aleatoria discreta X , con función masa de probabilidad $p(x)$, en la forma:

$$H(X) = - \sum_{x \in \mathcal{X}} p(x) \log p(x) = \mathbb{E}[-\log p(X)]$$

a) Se cumple:

$$0 \leq H(X) \leq \log |\mathcal{X}|$$

con la igualdad en la izquierda si y sólo si $p_i = 1$ para algún $x_i \in \mathcal{X}$ y con la igualdad a la derecha si y sólo si la variable aleatoria está uniformemente distribuida; esto es, $p_i = 1/|\mathcal{X}|$ para todo i .

b) $H(X) = 0$ si y sólo si X es determinista.

c) $H(X) = H(p(x))$ es una función cóncava en $p(x)$.

d) Se define la *Función de Entropía Binaria* en la forma:

$$h_b(p) \stackrel{\text{def}}{=} -p \log p - (1-p) \log (1-p)$$

e) La función entropía binaria $h_b(p)$ es una función cóncava en p .

f) Si X y \hat{X} son dos variables aleatorias estadísticamente independientes igualmente distribuidas,

$$\Pr(X = \hat{X}) \geq 2^{-H(X)}$$

con la igualdad si y sólo si X tiene una distribución uniforme.

Entropía conjunta y entropía condicional

Definimos la *entropía conjunta* de las variables aleatorias X e Y , $H(X,Y)$ en la forma:

$$H(X,Y) = \sum_{x \in \mathcal{X}} \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(x,y) \log \frac{1}{p(x,y)} = \mathbb{E}[-\log p(X,Y)]$$

Definimos la *entropía condicional* $H(X|Y)$ en la forma:

$$\begin{aligned} H(X|Y) &= \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(y) H(X|Y=y) = \\ &= - \sum_{x \in \mathcal{X}} \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(x,y) \log p(x|y) = \\ &= \mathbb{E}[-\log p(X|Y)] \end{aligned}$$

a) $H(X,Y) \leq H(X) + H(Y)$

con la igualdad si y sólo si X e Y son estadísticamente independientes.

b)

$$\begin{aligned} H(X|Y) &\leq H(X) \\ H(Y|X) &\leq H(Y) \end{aligned}$$

con la igualdad si y sólo si X e Y son estadísticamente independientes.

- c) $H(X|Y) = 0$ si y sólo si X es una función de Y .
- d) $H(X|X) = 0$
- e) $H(X,Y) = H(Y) + H(X|Y)$
- f) $H(X,Y) = H(X) + H(Y|X)$
- g) $H(X,Y|Z) = H(X|Z) + H(Y|X,Z)$
- h) *Desigualdad de Fano* Sean X y \hat{X} dos variables aleatorias que toman valores en el mismo alfabeto \mathcal{X} . Se verifica:
- $$H(X|\hat{X}) \leq h_b(p_e) + p_e \log(|\mathcal{X}| - 1)$$

Reglas de las cadenas

Sea \mathbf{X} un vector formado por las N variables aleatorias $X_i, i = 1, 2, \dots, N$.

- a) *Regla de la cadena para la entropía*

$$\begin{aligned} H(X_1, X_2, \dots, X_N) &= \sum_{i=1}^N H(X_i | X_1, \dots, X_{i-1}) = \\ &= H(X_1) + H(X_2 | X_1) + \dots + H(X_N | X_1, \dots, X_{N-1}) \end{aligned}$$

- b) *Regla de la cadena para la entropía condicional*

$$H(X_1, X_2, \dots, X_N | Y) = \sum_{i=1}^N H(X_i | X_1, \dots, X_{i-1}, Y)$$

- c) *Regla de la cadena para la información mutua*

$$I(X_1, X_2, \dots, X_N; Y) = \sum_{i=1}^N I(X_i; Y | X_1, \dots, X_{i-1})$$

- d) *Regla de la cadena para la Información Mutua Condicional*

$$I(X_1, X_2, \dots, X_N; Z | Y) = \sum_{i=1}^N I(X_i; Z | X_1, \dots, X_{i-1}, Y)$$

3.3 Una nueva sección después del resumen

Problemas Propuestos

Esto es un ejemplo de cómo incluir cuestiones y/o problemas al final de un capítulo, con o sin solución. Para poner un problema o cuestión, usar `\begin{prob}` y `\end{prob}`. Para incluir la solución, a continuación usar `\begin{soln}` seguido del texto terminado en `\end{soln}`.

3.1 Sean A , B y C sucesos de un cierto experimento con probabilidades dadas por:

$$\Pr(A) = \frac{1}{3}$$

$$\Pr(B) = \frac{1}{4}$$

$$\Pr(C) = \frac{1}{5}$$

$$\Pr(A \cap B) = \frac{1}{12}$$

$$\Pr(A \cap C) = \frac{1}{15}$$

$$\Pr(B \cap C) = \frac{1}{20}$$

$$\Pr(A \cap B \cap C) = \frac{1}{30}$$

- a) ¿Son los sucesos independientes dos a dos? ¿Son estadísticamente independientes?
- b) Encontrar $\Pr(A \cup B)$.
- c) Encontrar $\Pr(A \cup B \cup C)$.

3.2 Suponer que tenemos una moneda con las siguientes características: cuando se lanza, la probabilidad de que salga cara es $\Pr(c) = p$ y la probabilidad de que salga cruz $\Pr(+) = q$. Lanzamos dos veces la moneda y queremos conocer acerca de la independencia estadística de los siguientes sucesos:

A = Sale c en la primera tirada

B = En las dos tiradas sale lo mismo

C = Sale c en la segunda tirada

3.3 Determinar la media, la autocorrelación y el espectro densidad de potencia de la salida de un sistema con respuesta impulsiva dada por:

$$h(n) = \begin{cases} 1 & n = 0, 2 \\ -2 & n = 1 \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

cuando la señal de entrada es un ruido blanco $X(n)$ con varianza σ_X^2 .

Solución. Si el ruido es blanco, su valor esperado será cero y su espectro densidad de potencia será una constante: $S_X(\Omega) = C$. Calculemos su autocorrelación. Se tiene:

$$R_X(k) = \mathbb{E}[F]^{-1} [S_X(\Omega)] = \mathbb{E}[F]^{-1} [C] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} C e^{jk\Omega} d\Omega = \begin{cases} k \neq 0 & \frac{C}{2\pi} \frac{e^{jk\Omega}}{jk} \Big|_{-\pi}^{\pi} \Rightarrow \\ k = 0 & C \end{cases}$$

$$R_X(k) = C\delta(k) = \begin{cases} C & k = 0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases}$$

Ahora bien: (...)

□

Si quiere introducir un separador dentro de un capítulo puede utilizar la instrucción subchapter. Esto le puede interesar, por ejemplo, para introducir alguna información adicional al final de un capítulo como un anexo al mismo.

En las secciones que siguen vamos a repasar algunas materias que utilizamos ampliamente a lo largo del texto y que sostienen de forma rigurosa el estudio de las comunicaciones digitales.

3.4 Señales: definición y clasificación

Una puede definirse como una función que transmite información generalmente sobre el estado o el comportamiento de un sistema físico, [?]. Aunque las señales puedan representarse de muchas maneras, en todos los casos la información está contenida en la variación de alguna magnitud física. Matemáticamente se representan como una función de una o más variables independientes. Por ejemplo, una señal de voz se puede representar como una función del tiempo y una imagen fotográfica puede representarse como una variación de la luminosidad respecto a dos parámetros espaciales. En cualquier caso, es una práctica común denotar como tiempo, t , a la variable independiente, en el caso de una variación continua de la variable independiente, y n en caso contrario.

3.4.1 Clasificación de señales

Establezcamos a continuación una clasificación de las señales atendiendo a diversos puntos de vista.

Señales deterministas y aleatorias

Una señal se clasifica como determinista cuando no hay incertidumbre alguna acerca del valor que tiene en cualquier instante de tiempo. Estas señales pueden modelarse como una función matemática, por ejemplo, $g(t) = 10 \cos(4\pi t^2)$.

Una señal aleatoria es aquella para la que existe cierta incertidumbre respecto a su valor. Matemáticamente vamos a modelarla como una función muestra de un proceso aleatorio.

Para que una señal transmita información debe tener un carácter aleatorio, [?].

Señales periódicas y no periódicas.

Una señal $g(t)$ es periódica, con periodo T_0 , si existe una cantidad $T_0 > 0$ tal que:

$$g(t) = g(t + T_0) \quad \forall t \quad (3.7)$$

siendo T_0 el valor más pequeño que cumple esta relación. Una señal que no cumpla (3.7) se denomina no periódica.

Señales analógicas, discretas, muestreadas y digitales

Una señal analógica $g(t)$ es aquella que está definida para todo t . Una señal discreta sólo está definida en un conjunto numerable² de valores del tiempo. Una señal muestreada está definida para todo instante de tiempo, aunque sólo puede tomar valores en un conjunto numerable y una señal digital es aquella que sólo está definida en un conjunto numerable de valores del tiempo y toma valores en un conjunto numerable.

² Un conjunto es numerable o contable cuando sus elementos pueden ponerse en correspondencia uno a uno con el conjunto de los números naturales. Con posterioridad veremos que el concepto de conjunto numerable o contable juega un papel importante en el desarrollo de numerosos aspectos de la teoría.

4 Capítulo 4 - Programación embebida

Una de las virtudes del ingeniero es la eficiencia.

GUANG TSE

El formato de capítulo abarca diversos factores. Un capítulo puede incluir, además de texto, los siguientes elementos:

- Figuras
- Tablas
- Ecuaciones
- Ejemplos
- Resúmenes, con recuadros en gris, por ejemplo
- Lemas, corolarios, teoremas,... y sus demostraciones
- Cuestiones
- Problemas propuestos
- ...

En este capítulo se propone incluir ejemplos de todos estos elementos, para que el usuario pueda modificarlos fácilmente para su uso. Consulte el código suministrado, para ver cómo se escriben en \LaTeX .

4.1 Ejemplo de sección

En la Figura 7.1 se incluye a modo de ejemplo la imagen del logo de la ETSI¹. El código para que aparezca dicha imagen se muestra en el cuadro siguiente:

Si nos detenemos en los comandos que hemos utilizado, con `width` se controla el ancho, y se escala así el tamaño de la imagen. En \LaTeX existen diversas opciones para situar la figura en la página: con `t` o `b` se le indica que las incluya arriba o abajo (top/bottom) y con `!` se le pide que la deje dónde está, tras el texto anterior.

Código 4.1 Código para incluir una figura.

```
\begin{figure}[htbp]
\centering
\includegraphics[width=3 cm]{capituloLibroETSI/figuras/logoESI.pdf}
\caption{Logo de la ETSI}
\label{fig:figura1}
\end{figure}
```

Para dar énfasis a algún texto, usamos `\emph`. Así, por ejemplo,

¹ Se usa aquí el package de acrónimos, que la primera vez define el acrónimo y ya luego sólo incluye el mismo. Esto facilita luego generar de forma automática la lista de acrónimos.

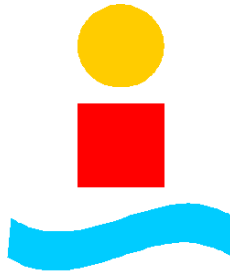


Figura 4.1 Logo de la ETSI.

No olvide intentar utilizar este formato en sus publicaciones de la ETSI

hace aparecer el anterior texto en itálica. Pero si escribiésemos, por ejemplo,

No olvide intentar utilizar este formato siempre en sus publicaciones de la ETSI

vemos cómo hemos destacado la palabra “siempre” en torno a su contexto. Para ello, hemos escrito, realmente, `\emph{siempre}` dentro de la frase original.

4.1.1 Ejemplo de subsección

Si se usaba `\section` para indicar una sección, se utiliza `\subsection` para una subsección.

4.2 Elementos del texto

4.2.1 Figuras

Además del tipo de figura que vimos anteriormente, el normal, podemos desear incluir una figura en modo apaisado ocupando toda la página. Para ello utilizamos el entorno de figura siguiente `\begin{sidewaysfigure}`, cuyo resultado se puede observar en la Figura 7.2.

Aunque puede optar por la forma que desee, en el fichero `notacion.sty` se incluyen definiciones para que pueda usar `\LABFIG{etiqueta}` y `\FIG{etiqueta}` para poner una etiqueta y hacer referencia a la misma luego. Además, está definido para que `\FIG{etiqueta}` incluya por delante el término Figura.

4.2.2 Tablas

A modo de ejemplo, Tabla 7.1 incluye un ejemplo de tabla. Al igual que con figura, si usa `notacion.sty` puede usar `\LABTAB{etiqueta}` y `\TAB{etiqueta}` para poner una etiqueta y una referencia, y el `\TAB{etiqueta}` ya incluye el nombre Tabla por delante.

Una alternativa al uso de estos comandos está representado por el uso del comando `\autoref{etiqueta}` que, en conjunción con el paquete `babel` genera automáticamente los nombres de Figura o Tabla, en función de la etiqueta correspondiente.

Tabla 4.1 Valores de parámetros.

Definición	notación	valor
Potencia transmitida (entregada a antena)	P_{et}	-5 a 20 dBm
Ganancia antenas	G	40.5 dBi

4.2.3 Listados de programas

Es muy habitual en nuestros documentos que tengamos que incluir listados de programas. Para ello, se propone la utilización de un paquete denominado `listings`. Se obtiene con él un listado como el mostrado en el Código 7.2 de MATLAB® siguiente:

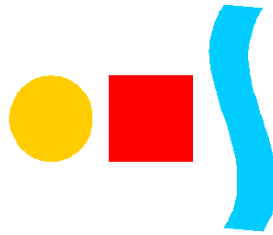


Figura 4.2 Logo de la ETSI.

Código 4.2 Representación de la función $\text{rect}(t - T/2)$.

```

clear all
close all
T = 1;
A = 1;
L = 100;
tstep = T/L;
t = 0:tstep:T-tstep;
g_t = A*ones(1,L);
figure(1);
subplot(211);
h=plot(t,g_t); axis( [0 T -A-0.1 A+0.1]);
set(h,'linewidth', 1.0);
ylabel('g(t)'), xlabel('t[s]'); grid on;

g_n = g_t;
subplot(212);
h=stem(g_n, '.', 'filled'); axis( [1 L -0.1 A+0.1]);
set(h,'linewidth', 1.0);
ylabel('g(n)'), xlabel('n');

```

También se puede generar en este caso una relación de los códigos usados en nuestro documento, de manera equivalente a la relación de figuras o tablas. Para ello, observar la correspondiente codificación en el fichero principal.

4.2.4 Ecuaciones

Para escribir expresiones matemáticas, como por ejemplo $2 + 2 = 4$, sólo hace falta que meta la expresión entre símbolos $\$$. En el fichero notacion.sty se incluyen muchas definiciones para facilitar la escritura de estas expresiones y de ecuaciones. Para escribir una ecuación, con una o más líneas, se aconseja utilizar **align**, como en el siguiente ejemplo, en las ecuaciones (7.1)-(7.3),

$$T = kT_b, \quad (4.1)$$

$$R_b = \frac{1}{T_b}, \quad (4.2)$$

$$D = \frac{1}{T} = \frac{R_b}{k} = \frac{R_b}{\log_2 M}. \quad (4.3)$$

Si no quiere numerar una línea, utilice la instrucción **\nonumber** antes de poner $\backslash\backslash$ para escribir la siguiente línea. Y con **&** puede alinear las ecuaciones.

Un ejemplo más complejo de ecuaciones sería el siguiente: decimos que el vector aleatorio \mathbf{Z} es gaussiano si su función densidad de probabilidad conjunta viene dada por:

$$f_{\mathbf{Z}}(\mathbf{z}) = \frac{1}{(2\pi)^N |\mathbf{C}_{\mathbf{Z}}|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{z}-\mathbf{m}_{\mathbf{Z}})^{\top} \mathbf{C}_{\mathbf{Z}}^{-1}(\mathbf{z}-\mathbf{m}_{\mathbf{Z}})} \quad (4.4)$$

con el vector media la matriz $\mathbf{m}_{\mathbf{Z}}$ y la matriz de covarianza real $\mathbf{C}_{\mathbf{Z}}$ ($2N \times 2N$) simétrica definida positiva dado por:

$$\mathbf{m}_{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \mathbf{m}_{\mathbf{X}} \\ \mathbf{m}_{\mathbf{Y}} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{\mathbf{X}} & \mathbf{C}_{\mathbf{XY}} \\ \mathbf{C}_{\mathbf{YX}} & \mathbf{C}_{\mathbf{Y}} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

con el vector ω dado por:

$$\omega = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \vdots \\ \omega_N \\ \omega_{N+1} \\ \vdots \\ \omega_{2N} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Si no desea que se numere una ecuación puede poner asterisco, tanto en el entorno `equation` como `align`.

4.2.5 Ejemplos

Para incluir un ejemplo, utilice el entorno `\ejmp`, usando el entorno `\begin{ejmp}` y `\end{ejmp}`, y para la solución el entorno `\begin{sol}`.

Ejemplo 4.2.1 Calcule $2 + 2$.

Solución. Para resolver esto se puede utilizar que $1 + 1 = 2$, de la siguiente forma

$$2 + 2 = (1 + 1) + (1 + 1) = 4,$$

donde se ha contado, pruebe a utilizar los dedos de su mano, a cuatro.

Observad que antes de comenzar el ejemplo y tras su finalización se han incluido unos *filetes* a modo de resalte en el texto. En el caso de una serie de ejemplos, los entornos `\begin{ejmpn}` y `\begin{soln}`, junto con los entornos de cierre correspondientes, permiten que no existan estos filetes entre los ejemplos y soluciones intermedias de la serie.

4.2.6 Lemas, teoremas y similares

Se incluyen ejemplos de estos elementos de texto. Empezamos con la Definición 7.2.1 y la Propiedad 7.2.1:

Definición 4.2.1 (Suma) La suma es la operación que permite contar sobre un número, otro.

Propiedad 4.2.1 (Suma) *Los números enteros se pueden sumar.*

Lema 4.2.1 (Suma de 1 y 1) *La suma $1 + 1$ es igual a 2.*

Demostración. Ponga un dedo a la vista, junto a otro, y cuéntelos. ■

Teorema 4.2.1 (Suma) *La suma de cualquier número y dos es igual a la suma del mismo número más uno más uno.*

Demostración. Por inducción y el Lema 7.2.1. ■

Corolario 4.2.1.1 (Contables) *Los números enteros son contables.*

Demostración. Por el Teorema 7.2.1. ■

4.2.7 Resúmenes

Para incluir un resumen de una sección o un conjunto de secciones o en cualquier otro punto que consideremos interesante, se utiliza el entorno `\begin{Resumen}`, que admite como parámetro opcional un nombre que queramos asignarle al resumen. Por defecto, se denomina “Resumen”. Observar que se ha modificado la cabecera de las páginas impares. Una vez finalizado el resumen, con el comando `\end{Resumen}`, se recupera la anterior cabecera automáticamente. Los resúmenes que se deseen incluir aparecen en la tabla de contenidos como una sección sin numeración, con el nombre elegido o el nombre por defecto de Resumen. En el siguiente ejemplo hemos utilizado este parámetro opcional de nombre.

Resumen de Teoría de Información

Debido al considerable número de definiciones, teoremas y propiedades que hemos descrito en los apartados anteriores, vamos a presentar un resumen de los principales resultados, no necesariamente en el mismo orden que el expuesto anteriormente. Supondremos en este resumen que las variables aleatorias X , Y y Z son discretas, definidas en el alfabeto \mathcal{X} , \mathcal{Y} y \mathcal{Z} respectivamente.

Entropía de una variable aleatoria discreta

Se define la entropía $H(X)$ de una variable aleatoria discreta X , con función masa de probabilidad $p(x)$, en la forma:

$$H(X) = - \sum_{x \in \mathcal{X}} p(x) \log p(x) = \mathbb{E}[-\log p(X)]$$

- a) Se cumple:

$$0 \leq H(X) \leq \log |\mathcal{X}|$$

con la igualdad en la izquierda si y sólo si $p_i = 1$ para algún $x_i \in \mathcal{X}$ y con la igualdad a la derecha si y sólo si la variable aleatoria está uniformemente distribuida; esto es, $p_i = 1/|\mathcal{X}|$ para todo i .

- b) $H(X) = 0$ si y sólo si X es determinista.

- c) $H(X) = H(p(x))$ es una función cóncava en $p(x)$.

- d) Se define la *Función de Entropía Binaria* en la forma:

$$h_b(p) \stackrel{\text{def}}{=} -p \log p - (1-p) \log (1-p)$$

- e) La función entropía binaria $h_b(p)$ es una función cóncava en p .

- f) Si X y \hat{X} son dos variables aleatorias estadísticamente independientes igualmente distribuidas,

$$\Pr(X = \hat{X}) \geq 2^{-H(X)}$$

con la igualdad si y sólo si X tiene una distribución uniforme.

Entropía conjunta y entropía condicional

Definimos la *entropía conjunta* de las variables aleatorias X e Y , $H(X, Y)$ en la forma:

$$H(X, Y) = \sum_{x \in \mathcal{X}} \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(x, y) \log \frac{1}{p(x, y)} = \mathbb{E}[-\log p(X, Y)]$$

Definimos la *entropía condicional* $H(X | Y)$ en la forma:

$$\begin{aligned} H(X | Y) &= \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(y) H(X | Y = y) = \\ &= - \sum_{x \in \mathcal{X}} \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(x, y) \log p(x | y) = \\ &= \mathbb{E}[-\log p(X | Y)] \end{aligned}$$

- a) $H(X, Y) \leq H(X) + H(Y)$

con la igualdad si y sólo si X e Y son estadísticamente independientes.

- b)

$$H(X | Y) \leq H(X)$$

$$H(Y | X) \leq H(Y)$$

con la igualdad si y sólo si X e Y son estadísticamente independientes.

- c) $H(X|Y) = 0$ si y sólo si X es una función de Y .
- d) $H(X|X) = 0$
- e) $H(X,Y) = H(Y) + H(X|Y)$
- f) $H(X,Y) = H(X) + H(Y|X)$
- g) $H(X,Y|Z) = H(X|Z) + H(Y|X,Z)$
- h) *Desigualdad de Fano* Sean X y \hat{X} dos variables aleatorias que toman valores en el mismo alfabeto \mathcal{X} . Se verifica:
- $$H(X|\hat{X}) \leq h_b(p_e) + p_e \log(|\mathcal{X}| - 1)$$

Reglas de las cadenas

Sea \mathbf{X} un vector formado por las N variables aleatorias $X_i, i = 1, 2, \dots, N$.

- a) *Regla de la cadena para la entropía*

$$\begin{aligned} H(X_1, X_2, \dots, X_N) &= \sum_{i=1}^N H(X_i | X_1, \dots, X_{i-1}) = \\ &= H(X_1) + H(X_2 | X_1) + \dots + H(X_N | X_1, \dots, X_{N-1}) \end{aligned}$$

- b) *Regla de la cadena para la entropía condicional*

$$H(X_1, X_2, \dots, X_N | Y) = \sum_{i=1}^N H(X_i | X_1, \dots, X_{i-1}, Y)$$

- c) *Regla de la cadena para la información mutua*

$$I(X_1, X_2, \dots, X_N; Y) = \sum_{i=1}^N I(X_i; Y | X_1, \dots, X_{i-1})$$

- d) *Regla de la cadena para la Información Mutua Condicional*

$$I(X_1, X_2, \dots, X_N; Z | Y) = \sum_{i=1}^N I(X_i; Z | X_1, \dots, X_{i-1}, Y)$$

4.3 Una nueva sección después del resumen

Problemas Propuestos

Esto es un ejemplo de cómo incluir cuestiones y/o problemas al final de un capítulo, con o sin solución. Para poner un problema o cuestión, usar `\begin{prob}` y `\end{prob}`. Para incluir la solución, a continuación usar `\begin{soln}` seguido del texto terminado en `\end{soln}`.

4.1 Sean A , B y C sucesos de un cierto experimento con probabilidades dadas por:

$$\Pr(A) = \frac{1}{3}$$

$$\Pr(B) = \frac{1}{4}$$

$$\Pr(C) = \frac{1}{5}$$

$$\Pr(A \cap B) = \frac{1}{12}$$

$$\Pr(A \cap C) = \frac{1}{15}$$

$$\Pr(B \cap C) = \frac{1}{20}$$

$$\Pr(A \cap B \cap C) = \frac{1}{30}$$

- a) ¿Son los sucesos independientes dos a dos? ¿Son estadísticamente independientes?
- b) Encontrar $\Pr(A \cup B)$.
- c) Encontrar $\Pr(A \cup B \cup C)$.

4.2 Suponer que tenemos una moneda con las siguientes características: cuando se lanza, la probabilidad de que salga cara es $\Pr(c) = p$ y la probabilidad de que salga cruz $\Pr(+) = q$. Lanzamos dos veces la moneda y queremos conocer acerca de la independencia estadística de los siguientes sucesos:

A = Sale c en la primera tirada

B = En las dos tiradas sale lo mismo

C = Sale c en la segunda tirada

4.3 Determinar la media, la autocorrelación y el espectro densidad de potencia de la salida de un sistema con respuesta impulsiva dada por:

$$h(n) = \begin{cases} 1 & n = 0, 2 \\ -2 & n = 1 \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

cuando la señal de entrada es un ruido blanco $X(n)$ con varianza σ_X^2 .

Solución. Si el ruido es blanco, su valor esperado será cero y su espectro densidad de potencia será una constante: $S_X(\Omega) = C$. Calculemos su autocorrelación. Se tiene:

$$R_X(k) = \mathbb{E}[F]^{-1} [S_X(\Omega)] = \mathbb{E}[F]^{-1} [C] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} C e^{jk\Omega} d\Omega = \begin{cases} k \neq 0 & \frac{C}{2\pi} \frac{e^{jk\Omega}}{jk} \Big|_{-\pi}^{\pi} \Rightarrow \\ k = 0 & C \end{cases}$$

$$R_X(k) = C\delta(k) = \begin{cases} C & k = 0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases}$$

Ahora bien: (...)

□

Si quiere introducir un separador dentro de un capítulo puede utilizar la instrucción subchapter. Esto le puede interesar, por ejemplo, para introducir alguna información adicional al final de un capítulo como un anexo al mismo.

En las secciones que siguen vamos a repasar algunas materias que utilizamos ampliamente a lo largo del texto y que sostienen de forma rigurosa el estudio de las comunicaciones digitales.

4.4 Señales: definición y clasificación

Una puede definirse como una función que transmite información generalmente sobre el estado o el comportamiento de un sistema físico, [?]. Aunque las señales puedan representarse de muchas maneras, en todos los casos la información está contenida en la variación de alguna magnitud física. Matemáticamente se representan como una función de una o más variables independientes. Por ejemplo, una señal de voz se puede representar como una función del tiempo y una imagen fotográfica puede representarse como una variación de la luminosidad respecto a dos parámetros espaciales. En cualquier caso, es una práctica común denotar como tiempo, t , a la variable independiente, en el caso de una variación continua de la variable independiente, y n en caso contrario.

4.4.1 Clasificación de señales

Establezcamos a continuación una clasificación de las señales atendiendo a diversos puntos de vista.

Señales deterministas y aleatorias

Una señal se clasifica como determinista cuando no hay incertidumbre alguna acerca del valor que tiene en cualquier instante de tiempo. Estas señales pueden modelarse como una función matemática, por ejemplo, $g(t) = 10 \cos(4\pi t^2)$.

Una señal aleatoria es aquella para la que existe cierta incertidumbre respecto a su valor. Matemáticamente vamos a modelarla como una función muestra de un proceso aleatorio.

Para que una señal transmita información debe tener un carácter aleatorio, [?].

Señales periódicas y no periódicas.

Una señal $g(t)$ es periódica, con periodo T_0 , si existe una cantidad $T_0 > 0$ tal que:

$$g(t) = g(t + T_0) \quad \forall t \quad (4.7)$$

siendo T_0 el valor más pequeño que cumple esta relación. Una señal que no cumpla (4.7) se denomina no periódica.

Señales analógicas, discretas, muestreadas y digitales

Una señal analógica $g(t)$ es aquella que está definida para todo t . Una señal discreta sólo está definida en un conjunto numerable² de valores del tiempo. Una señal muestreada está definida para todo instante de tiempo, aunque sólo puede tomar valores en un conjunto numerable y una señal digital es aquella que sólo está definida en un conjunto numerable de valores del tiempo y toma valores en un conjunto numerable.

² Un conjunto es numerable o contable cuando sus elementos pueden ponerse en correspondencia uno a uno con el conjunto de los números naturales. Con posterioridad veremos que el concepto de conjunto numerable o contable juega un papel importante en el desarrollo de numerosos aspectos de la teoría.

5 Capítulo 5 - Comunicación PC-Micro

Una de las virtudes del ingeniero es la eficiencia.

GUANG TSE

El formato de capítulo abarca diversos factores. Un capítulo puede incluir, además de texto, los siguientes elementos:

- Figuras
- Tablas
- Ecuaciones
- Ejemplos
- Resúmenes, con recuadros en gris, por ejemplo
- Lemas, corolarios, teoremas,... y sus demostraciones
- Cuestiones
- Problemas propuestos
- ...

En este capítulo se propone incluir ejemplos de todos estos elementos, para que el usuario pueda modificarlos fácilmente para su uso. Consulte el código suministrado, para ver cómo se escriben en \LaTeX .

5.1 Ejemplo de sección

En la Figura 7.1 se incluye a modo de ejemplo la imagen del logo de la ETSI ¹. El código para que aparezca dicha imagen se muestra en el cuadro siguiente:

Si nos detenemos en los comandos que hemos utilizado, con `width` se controla el ancho, y se escala así el tamaño de la imagen. En \LaTeX existen diversas opciones para situar la figura en la página: con `t` o `b` se le indica que las incluya arriba o abajo (top/bottom) y con `!` se le pide que la deje dónde está, tras el texto anterior.

Código 5.1 Código para incluir una figura.

```
\begin{figure}[htbp]
\centering
\includegraphics[width=3 cm]{capituloLibroETSI/figuras/logoESI.pdf}
\caption{Logo de la ETSI}
\label{fig:figura1}
\end{figure}
```

Para dar énfasis a algún texto, usamos `\emph`. Así, por ejemplo,

¹ Se usa aquí el package de acrónimos, que la primera vez define el acrónimo y ya luego sólo incluye el mismo. Esto facilita luego generar de forma automática la lista de acrónimos.

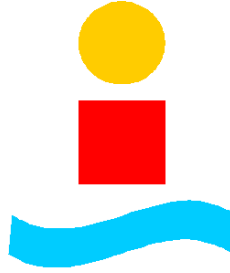


Figura 5.1 Logo de la ETSI.

No olvide intentar utilizar este formato en sus publicaciones de la ETSI

hace aparecer el anterior texto en itálica. Pero si escribiésemos, por ejemplo,

No olvide intentar utilizar este formato siempre en sus publicaciones de la ETSI

vemos cómo hemos destacado la palabra “siempre” en torno a su contexto. Para ello, hemos escrito, realmente, `\emph{siempre}` dentro de la frase original.

5.1.1 Ejemplo de subsección

Si se usaba `\section` para indicar una sección, se utiliza `\subsection` para una subsección.

5.2 Elementos del texto

5.2.1 Figuras

Además del tipo de figura que vimos anteriormente, el normal, podemos desear incluir una figura en modo apaisado ocupando toda la página. Para ello utilizamos el entorno de figura siguiente `\begin{sidewaysfigure}`, cuyo resultado se puede observar en la Figura 7.2.

Aunque puede optar por la forma que desee, en el fichero `notacion.sty` se incluyen definiciones para que pueda usar `\LABFIG{etiqueta}` y `\FIG{etiqueta}` para poner una etiqueta y hacer referencia a la misma luego. Además, está definido para que `\FIG{etiqueta}` incluya por delante el término Figura.

5.2.2 Tablas

A modo de ejemplo, Tabla 7.1 incluye un ejemplo de tabla. Al igual que con figura, si usa `notacion.sty` puede usar `\LABTAB{etiqueta}` y `\TAB{etiqueta}` para poner una etiqueta y una referencia, y el `\TAB{etiqueta}` ya incluye el nombre Tabla por delante.

Una alternativa al uso de estos comandos está representado por el uso del comando `\autoref{etiqueta}` que, en conjunción con el paquete `babel` genera automáticamente los nombres de Figura o Tabla, en función de la etiqueta correspondiente.

Tabla 5.1 Valores de parámetros.

Definición	notación	valor
Potencia transmitida (entregada a antena)	P_{et}	-5 a 20 dBm
Ganancia antenas	G	40.5 dBi

5.2.3 Listados de programas

Es muy habitual en nuestros documentos que tengamos que incluir listados de programas. Para ello, se propone la utilización de un paquete denominado `listings`. Se obtiene con él un listado como el mostrado en el Código 7.2 de MATLAB® siguiente:

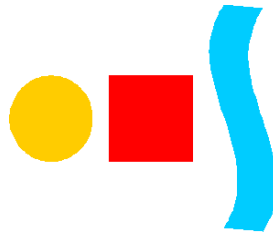


Figura 5.2 Logo de la ETSL.

Código 5.2 Representación de la función $\text{rect}(t - T/2)$.

```

clear all
close all
T = 1;
A = 1;
L = 100;
tstep = T/L;
t = 0:tstep:T-tstep;
g_t = A*ones(1,L);
figure(1);
subplot(211);
h=plot(t,g_t); axis( [0 T -A-0.1 A+0.1]);
set(h,'linewidth', 1.0);
ylabel('g(t)'), xlabel('t[s]'); grid on;

g_n = g_t;
subplot(212);
h=stem(g_n, '.', 'filled'); axis( [1 L -0.1 A+0.1]);
set(h,'linewidth', 1.0);
ylabel('g(n)'), xlabel('n');

```

También se puede generar en este caso una relación de los códigos usados en nuestro documento, de manera equivalente a la relación de figuras o tablas. Para ello, observar la correspondiente codificación en el fichero principal.

5.2.4 Ecuaciones

Para escribir expresiones matemáticas, como por ejemplo $2 + 2 = 4$, sólo hace falta que meta la expresión entre símbolos $\$$. En el fichero notacion.sty se incluyen muchas definiciones para facilitar la escritura de estas expresiones y de ecuaciones. Para escribir una ecuación, con una o más líneas, se aconseja utilizar **align**, como en el siguiente ejemplo, en las ecuaciones (7.1)-(7.3),

$$T = kT_b, \quad (5.1)$$

$$R_b = \frac{1}{T_b}, \quad (5.2)$$

$$D = \frac{1}{T} = \frac{R_b}{k} = \frac{R_b}{\log_2 M}. \quad (5.3)$$

Si no quiere numerar una línea, utilice la instrucción **\nonumber** antes de poner $\backslash\backslash$ para escribir la siguiente línea. Y con **&** puede alinear las ecuaciones.

Un ejemplo más complejo de ecuaciones sería el siguiente: decimos que el vector aleatorio \mathbf{Z} es gaussiano si su función densidad de probabilidad conjunta viene dada por:

$$f_{\mathbf{Z}}(\mathbf{z}) = \frac{1}{(2\pi)^N |\mathbf{C}_{\mathbf{Z}}|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{z}-\mathbf{m}_{\mathbf{Z}})^{\top} \mathbf{C}_{\mathbf{Z}}^{-1}(\mathbf{z}-\mathbf{m}_{\mathbf{Z}})} \quad (5.4)$$

con el vector media la matriz $\mathbf{m}_{\mathbf{Z}}$ y la matriz de covarianza real $\mathbf{C}_{\mathbf{Z}}$ ($2N \times 2N$) simétrica definida positiva dado por:

$$\mathbf{m}_{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \mathbf{m}_{\mathbf{X}} \\ \mathbf{m}_{\mathbf{Y}} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{\mathbf{X}} & \mathbf{C}_{\mathbf{XY}} \\ \mathbf{C}_{\mathbf{YX}} & \mathbf{C}_{\mathbf{Y}} \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

con el vector ω dado por:

$$\omega = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \vdots \\ \omega_N \\ \omega_{N+1} \\ \vdots \\ \omega_{2N} \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

Si no desea que se numere una ecuación puede poner asterisco, tanto en el entorno `equation` como `align`.

5.2.5 Ejemplos

Para incluir un ejemplo, utilice el entorno `\ejmp`, usando el entorno `\begin{ejmp}` y `\end{ejmp}`, y para la solución el entorno `\begin{sol}`.

Ejemplo 5.2.1 Calcule $2 + 2$.

Solución. Para resolver esto se puede utilizar que $1 + 1 = 2$, de la siguiente forma

$$2 + 2 = (1 + 1) + (1 + 1) = 4,$$

donde se ha contado, pruebe a utilizar los dedos de su mano, a cuatro.

Observad que antes de comenzar el ejemplo y tras su finalización se han incluido unos *filetes* a modo de resalte en el texto. En el caso de una serie de ejemplos, los entornos `\begin{ejmpn}` y `\begin{soln}`, junto con los entornos de cierre correspondientes, permiten que no existan estos filetes entre los ejemplos y soluciones intermedias de la serie.

5.2.6 Lemas, teoremas y similares

Se incluyen ejemplos de estos elementos de texto. Empezamos con la Definición 7.2.1 y la Propiedad 7.2.1:

Definición 5.2.1 (Suma) La suma es la operación que permite contar sobre un número, otro.

Propiedad 5.2.1 (Suma) *Los números enteros se pueden sumar.*

Lema 5.2.1 (Suma de 1 y 1) *La suma $1 + 1$ es igual a 2.*

Demostración. Ponga un dedo a la vista, junto a otro, y cuéntelos. ■

Teorema 5.2.1 (Suma) *La suma de cualquier número y dos es igual a la suma del mismo número más uno más uno.*

Demostración. Por inducción y el Lema 7.2.1. ■

Corolario 5.2.1.1 (Contables) *Los números enteros son contables.*

Demostración. Por el Teorema 7.2.1. ■

5.2.7 Resúmenes

Para incluir un resumen de una sección o un conjunto de secciones o en cualquier otro punto que consideremos interesante, se utiliza el entorno `\begin{Resumen}`, que admite como parámetro opcional un nombre que queramos asignarle al resumen. Por defecto, se denomina “Resumen”. Observar que se ha modificado la cabecera de las páginas impares. Una vez finalizado el resumen, con el comando `\end{Resumen}`, se recupera la anterior cabecera automáticamente. Los resúmenes que se deseen incluir aparecen en la tabla de contenidos como una sección sin numeración, con el nombre elegido o el nombre por defecto de Resumen. En el siguiente ejemplo hemos utilizado este parámetro opcional de nombre.

Resumen de Teoría de Información

Debido al considerable número de definiciones, teoremas y propiedades que hemos descrito en los apartados anteriores, vamos a presentar un resumen de los principales resultados, no necesariamente en el mismo orden que el expuesto anteriormente. Supondremos en este resumen que las variables aleatorias X , Y y Z son discretas, definidas en el alfabeto \mathcal{X} , \mathcal{Y} y \mathcal{Z} respectivamente.

Entropía de una variable aleatoria discreta

Se define la entropía $H(X)$ de una variable aleatoria discreta X , con función masa de probabilidad $p(x)$, en la forma:

$$H(X) = - \sum_{x \in \mathcal{X}} p(x) \log p(x) = \mathbb{E}[-\log p(X)]$$

a) Se cumple:

$$0 \leq H(X) \leq \log |\mathcal{X}|$$

con la igualdad en la izquierda si y sólo si $p_i = 1$ para algún $x_i \in \mathcal{X}$ y con la igualdad a la derecha si y sólo si la variable aleatoria está uniformemente distribuida; esto es, $p_i = 1/|\mathcal{X}|$ para todo i .

b) $H(X) = 0$ si y sólo si X es determinista.

c) $H(X) = H(p(x))$ es una función cóncava en $p(x)$.

d) Se define la *Función de Entropía Binaria* en la forma:

$$h_b(p) \stackrel{\text{def}}{=} -p \log p - (1-p) \log (1-p)$$

e) La función entropía binaria $h_b(p)$ es una función cóncava en p .

f) Si X y \hat{X} son dos variables aleatorias estadísticamente independientes igualmente distribuidas,

$$\Pr(X = \hat{X}) \geq 2^{-H(X)}$$

con la igualdad si y sólo si X tiene una distribución uniforme.

Entropía conjunta y entropía condicional

Definimos la *entropía conjunta* de las variables aleatorias X e Y , $H(X, Y)$ en la forma:

$$H(X, Y) = \sum_{x \in \mathcal{X}} \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(x, y) \log \frac{1}{p(x, y)} = \mathbb{E}[-\log p(X, Y)]$$

Definimos la *entropía condicional* $H(X | Y)$ en la forma:

$$\begin{aligned} H(X | Y) &= \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(y) H(X | Y = y) = \\ &= - \sum_{x \in \mathcal{X}} \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(x, y) \log p(x | y) = \\ &= \mathbb{E}[-\log p(X | Y)] \end{aligned}$$

a) $H(X, Y) \leq H(X) + H(Y)$

con la igualdad si y sólo si X e Y son estadísticamente independientes.

b)

$$\begin{aligned} H(X | Y) &\leq H(X) \\ H(Y | X) &\leq H(Y) \end{aligned}$$

con la igualdad si y sólo si X e Y son estadísticamente independientes.

- c) $H(X|Y) = 0$ si y sólo si X es una función de Y .
- d) $H(X|X) = 0$
- e) $H(X,Y) = H(Y) + H(X|Y)$
- f) $H(X,Y) = H(X) + H(Y|X)$
- g) $H(X,Y|Z) = H(X|Z) + H(Y|X,Z)$
- h) *Desigualdad de Fano* Sean X y \hat{X} dos variables aleatorias que toman valores en el mismo alfabeto \mathcal{X} . Se verifica:
- $$H(X|\hat{X}) \leq h_b(p_e) + p_e \log(|\mathcal{X}| - 1)$$

Reglas de las cadenas

Sea \mathbf{X} un vector formado por las N variables aleatorias $X_i, i = 1, 2, \dots, N$.

- a) *Regla de la cadena para la entropía*

$$\begin{aligned} H(X_1, X_2, \dots, X_N) &= \sum_{i=1}^N H(X_i | X_1, \dots, X_{i-1}) = \\ &= H(X_1) + H(X_2 | X_1) + \dots + H(X_N | X_1, \dots, X_{N-1}) \end{aligned}$$

- b) *Regla de la cadena para la entropía condicional*

$$H(X_1, X_2, \dots, X_N | Y) = \sum_{i=1}^N H(X_i | X_1, \dots, X_{i-1}, Y)$$

- c) *Regla de la cadena para la información mutua*

$$I(X_1, X_2, \dots, X_N; Y) = \sum_{i=1}^N I(X_i; Y | X_1, \dots, X_{i-1})$$

- d) *Regla de la cadena para la Información Mutua Condicional*

$$I(X_1, X_2, \dots, X_N; Z | Y) = \sum_{i=1}^N I(X_i; Z | X_1, \dots, X_{i-1}, Y)$$

5.3 Una nueva sección después del resumen

Problemas Propuestos

Esto es un ejemplo de cómo incluir cuestiones y/o problemas al final de un capítulo, con o sin solución. Para poner un problema o cuestión, usar `\begin{prob}` y `\end{prob}`. Para incluir la solución, a continuación usar `\begin{soln}` seguido del texto terminado en `\end{soln}`.

5.1 Sean A , B y C sucesos de un cierto experimento con probabilidades dadas por:

$$\Pr(A) = \frac{1}{3}$$

$$\Pr(B) = \frac{1}{4}$$

$$\Pr(C) = \frac{1}{5}$$

$$\Pr(A \cap B) = \frac{1}{12}$$

$$\Pr(A \cap C) = \frac{1}{15}$$

$$\Pr(B \cap C) = \frac{1}{20}$$

$$\Pr(A \cap B \cap C) = \frac{1}{30}$$

- a) ¿Son los sucesos independientes dos a dos? ¿Son estadísticamente independientes?
- b) Encontrar $\Pr(A \cup B)$.
- c) Encontrar $\Pr(A \cup B \cup C)$.

5.2 Suponer que tenemos una moneda con las siguientes características: cuando se lanza, la probabilidad de que salga cara es $\Pr(c) = p$ y la probabilidad de que salga cruz $\Pr(+) = q$. Lanzamos dos veces la moneda y queremos conocer acerca de la independencia estadística de los siguientes sucesos:

A = Sale c en la primera tirada

B = En las dos tiradas sale lo mismo

C = Sale c en la segunda tirada

5.3 Determinar la media, la autocorrelación y el espectro densidad de potencia de la salida de un sistema con respuesta impulsiva dada por:

$$h(n) = \begin{cases} 1 & n = 0, 2 \\ -2 & n = 1 \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

cuando la señal de entrada es un ruido blanco $X(n)$ con varianza σ_X^2 .

Solución. Si el ruido es blanco, su valor esperado será cero y su espectro densidad de potencia será una constante: $S_X(\Omega) = C$. Calculemos su autocorrelación. Se tiene:

$$R_X(k) = \mathbb{E}[F]^{-1} [S_X(\Omega)] = \mathbb{E}[F]^{-1} [C] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} C e^{jk\Omega} d\Omega = \begin{cases} k \neq 0 & \frac{C}{2\pi} \frac{e^{jk\Omega}}{jk} \Big|_{-\pi}^{\pi} \\ k = 0 & C \end{cases} \Rightarrow$$

$$R_X(k) = C\delta(k) = \begin{cases} C & k = 0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases}$$

Ahora bien: (...)

□

Si quiere introducir un separador dentro de un capítulo puede utilizar la instrucción subchapter. Esto le puede interesar, por ejemplo, para introducir alguna información adicional al final de un capítulo como un anexo al mismo.

En las secciones que siguen vamos a repasar algunas materias que utilizamos ampliamente a lo largo del texto y que sostienen de forma rigurosa el estudio de las comunicaciones digitales.

5.4 Señales: definición y clasificación

Una puede definirse como una función que transmite información generalmente sobre el estado o el comportamiento de un sistema físico, [?]. Aunque las señales puedan representarse de muchas maneras, en todos los casos la información está contenida en la variación de alguna magnitud física. Matemáticamente se representan como una función de una o más variables independientes. Por ejemplo, una señal de voz se puede representar como una función del tiempo y una imagen fotográfica puede representarse como una variación de la luminosidad respecto a dos parámetros espaciales. En cualquier caso, es una práctica común denotar como tiempo, t , a la variable independiente, en el caso de una variación continua de la variable independiente, y n en caso contrario.

5.4.1 Clasificación de señales

Establezcamos a continuación una clasificación de las señales atendiendo a diversos puntos de vista.

Señales deterministas y aleatorias

Una señal se clasifica como determinista cuando no hay incertidumbre alguna acerca del valor que tiene en cualquier instante de tiempo. Estas señales pueden modelarse como una función matemática, por ejemplo, $g(t) = 10 \cos(4\pi t^2)$.

Una señal aleatoria es aquella para la que existe cierta incertidumbre respecto a su valor. Matemáticamente vamos a modelarla como una función muestra de un proceso aleatorio.

Para que una señal transmita información debe tener un carácter aleatorio, [?].

Señales periódicas y no periódicas.

Una señal $g(t)$ es periódica, con periodo T_0 , si existe una cantidad $T_0 > 0$ tal que:

$$g(t) = g(t + T_0) \quad \forall t \quad (5.7)$$

siendo T_0 el valor más pequeño que cumple esta relación. Una señal que no cumpla (5.7) se denomina no periódica.

Señales analógicas, discretas, muestreadas y digitales

Una señal analógica $g(t)$ es aquella que está definida para todo t . Una señal discreta sólo está definida en un conjunto numerable² de valores del tiempo. Una señal muestreada está definida para todo instante de tiempo, aunque sólo puede tomar valores en un conjunto numerable y una señal digital es aquella que sólo está definida en un conjunto numerable de valores del tiempo y toma valores en un conjunto numerable.

² Un conjunto es numerable o contable cuando sus elementos pueden ponerse en correspondencia uno a uno con el conjunto de los números naturales. Con posterioridad veremos que el concepto de conjunto numerable o contable juega un papel importante en el desarrollo de numerosos aspectos de la teoría.

6 Capítulo - Percepción

Una de las virtudes del ingeniero es la eficiencia.

GUANG TSE

El formato de capítulo abarca diversos factores. Un capítulo puede incluir, además de texto, los siguientes elementos:

- Figuras
- Tablas
- Ecuaciones
- Ejemplos
- Resúmenes, con recuadros en gris, por ejemplo
- Lemas, corolarios, teoremas,... y sus demostraciones
- Cuestiones
- Problemas propuestos
- ...

En este capítulo se propone incluir ejemplos de todos estos elementos, para que el usuario pueda modificarlos fácilmente para su uso. Consulte el código suministrado, para ver cómo se escriben en \LaTeX .

6.1 Ejemplo de sección

En la Figura 7.1 se incluye a modo de ejemplo la imagen del logo de la ETSI ¹. El código para que aparezca dicha imagen se muestra en el cuadro siguiente:

Si nos detenemos en los comandos que hemos utilizado, con `width` se controla el ancho, y se escala así el tamaño de la imagen. En \LaTeX existen diversas opciones para situar la figura en la página: con `t` o `b` se le indica que las incluya arriba o abajo (top/bottom) y con `!` se le pide que la deje dónde está, tras el texto anterior.

Código 6.1 Código para incluir una figura.

```
\begin{figure}[htbp]
\centering
\includegraphics[width=3 cm]{capituloLibroETSI/figuras/logoESI.pdf}
\caption{Logo de la ETSI}
\label{fig:figura1}
\end{figure}
```

Para dar énfasis a algún texto, usamos `\emph`. Así, por ejemplo,

¹ Se usa aquí el package de acrónimos, que la primera vez define el acrónimo y ya luego sólo incluye el mismo. Esto facilita luego generar de forma automática la lista de acrónimos.

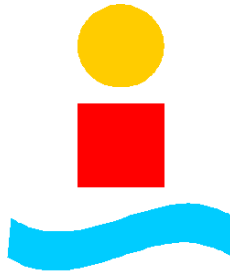


Figura 6.1 Logo de la ETSI.

No olvide intentar utilizar este formato en sus publicaciones de la ETSI

hace aparecer el anterior texto en itálica. Pero si escribiésemos, por ejemplo,

No olvide intentar utilizar este formato siempre en sus publicaciones de la ETSI

vemos cómo hemos destacado la palabra “siempre” en torno a su contexto. Para ello, hemos escrito, realmente, `\emph{siempre}` dentro de la frase original.

6.1.1 Ejemplo de subsección

Si se usaba `\section` para indicar una sección, se utiliza `\subsection` para una subsección.

6.2 Elementos del texto

6.2.1 Figuras

Además del tipo de figura que vimos anteriormente, el normal, podemos desear incluir una figura en modo apaisado ocupando toda la página. Para ello utilizamos el entorno de figura siguiente `\begin{sidewaysfigure}`, cuyo resultado se puede observar en la Figura 7.2.

Aunque puede optar por la forma que desee, en el fichero `notacion.sty` se incluyen definiciones para que pueda usar `\LABFIG{etiqueta}` y `\FIG{etiqueta}` para poner una etiqueta y hacer referencia a la misma luego. Además, está definido para que `\FIG{etiqueta}` incluya por delante el término Figura.

6.2.2 Tablas

A modo de ejemplo, Tabla 7.1 incluye un ejemplo de tabla. Al igual que con figura, si usa `notacion.sty` puede usar `\LABTAB{etiqueta}` y `\TAB{etiqueta}` para poner una etiqueta y una referencia, y el `\TAB{etiqueta}` ya incluye el nombre Tabla por delante.

Una alternativa al uso de estos comandos está representado por el uso del comando `\autoref{etiqueta}` que, en conjunción con el paquete `babel` genera automáticamente los nombres de Figura o Tabla, en función de la etiqueta correspondiente.

Tabla 6.1 Valores de parámetros.

Definición	notación	valor
Potencia transmitida (entregada a antena)	P_{et}	-5 a 20 dBm
Ganancia antenas	G	40.5 dBi

6.2.3 Listados de programas

Es muy habitual en nuestros documentos que tengamos que incluir listados de programas. Para ello, se propone la utilización de un paquete denominado `listings`. Se obtiene con él un listado como el mostrado en el Código 7.2 de MATLAB® siguiente:

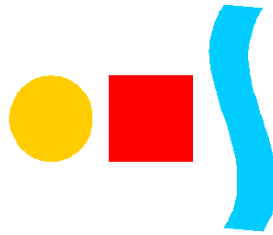


Figura 6.2 Logo de la ETSI.

Código 6.2 Representación de la función $\text{rect}(t - T/2)$.

```

clear all
close all
T = 1;
A = 1;
L = 100;
tstep = T/L;
t = 0:tstep:T-tstep;
g_t = A*ones(1,L);
figure(1);
subplot(211);
h=plot(t,g_t); axis( [0 T -A-0.1 A+0.1]);
set(h,'linewidth', 1.0);
ylabel('g(t)'), xlabel('t[s]'); grid on;

g_n = g_t;
subplot(212);
h=stem(g_n, '.', 'filled'); axis( [1 L -0.1 A+0.1]);
set(h,'linewidth', 1.0);
ylabel('g(n)'), xlabel('n');

```

También se puede generar en este caso una relación de los códigos usados en nuestro documento, de manera equivalente a la relación de figuras o tablas. Para ello, observar la correspondiente codificación en el fichero principal.

6.2.4 Ecuaciones

Para escribir expresiones matemáticas, como por ejemplo $2 + 2 = 4$, sólo hace falta que meta la expresión entre símbolos $\$$. En el fichero notacion.sty se incluyen muchas definiciones para facilitar la escritura de estas expresiones y de ecuaciones. Para escribir una ecuación, con una o más líneas, se aconseja utilizar `align`, como en el siguiente ejemplo, en las ecuaciones (7.1)-(7.3),

$$T = kT_b, \quad (6.1)$$

$$R_b = \frac{1}{T_b}, \quad (6.2)$$

$$D = \frac{1}{T} = \frac{R_b}{k} = \frac{R_b}{\log_2 M}. \quad (6.3)$$

Si no quiere numerar una línea, utilice la instrucción `\nonumber` antes de poner `\\` para escribir la siguiente línea. Y con `&` puede alinear las ecuaciones.

Un ejemplo más complejo de ecuaciones sería el siguiente: decimos que el vector aleatorio \mathbf{Z} es gaussiano si su función densidad de probabilidad conjunta viene dada por:

$$f_{\mathbf{Z}}(\mathbf{z}) = \frac{1}{(2\pi)^N |\mathbf{C}_{\mathbf{Z}}|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{z}-\mathbf{m}_{\mathbf{Z}})^{\top} \mathbf{C}_{\mathbf{Z}}^{-1}(\mathbf{z}-\mathbf{m}_{\mathbf{Z}})} \quad (6.4)$$

con el vector media la matriz $\mathbf{m}_{\mathbf{Z}}$ y la matriz de covarianza real $\mathbf{C}_{\mathbf{Z}}$ ($2N \times 2N$) simétrica definida positiva dado por:

$$\mathbf{m}_{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \mathbf{m}_{\mathbf{X}} \\ \mathbf{m}_{\mathbf{Y}} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{\mathbf{X}} & \mathbf{C}_{\mathbf{XY}} \\ \mathbf{C}_{\mathbf{YX}} & \mathbf{C}_{\mathbf{Y}} \end{bmatrix} \quad (6.5)$$

con el vector ω dado por:

$$\omega = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \vdots \\ \omega_N \\ \omega_{N+1} \\ \vdots \\ \omega_{2N} \end{bmatrix} \quad (6.6)$$

Si no desea que se numere una ecuación puede poner asterisco, tanto en el entorno `equation` como `align`.

6.2.5 Ejemplos

Para incluir un ejemplo, utilice el entorno `\ejmp`, usando el entorno `\begin{ejmp}` y `\end{ejmp}`, y para la solución el entorno `\begin{sol}`.

Ejemplo 6.2.1 Calcule $2 + 2$.

Solución. Para resolver esto se puede utilizar que $1 + 1 = 2$, de la siguiente forma

$$2 + 2 = (1 + 1) + (1 + 1) = 4,$$

donde se ha contado, pruebe a utilizar los dedos de su mano, a cuatro.

Observad que antes de comenzar el ejemplo y tras su finalización se han incluido unos *filetes* a modo de resalte en el texto. En el caso de una serie de ejemplos, los entornos `\begin{ejmpn}` y `\begin{soln}`, junto con los entornos de cierre correspondientes, permiten que no existan estos filetes entre los ejemplos y soluciones intermedias de la serie.

6.2.6 Lemas, teoremas y similares

Se incluyen ejemplos de estos elementos de texto. Empezamos con la Definición 7.2.1 y la Propiedad 7.2.1:

Definición 6.2.1 (Suma) La suma es la operación que permite contar sobre un número, otro.

Propiedad 6.2.1 (Suma) *Los números enteros se pueden sumar.*

Lema 6.2.1 (Suma de 1 y 1) *La suma $1 + 1$ es igual a 2.*

Demostración. Ponga un dedo a la vista, junto a otro, y cuéntelos. ■

Teorema 6.2.1 (Suma) *La suma de cualquier número y dos es igual a la suma del mismo número más uno más uno.*

Demostración. Por inducción y el Lema 7.2.1. ■

Corolario 6.2.1.1 (Contables) *Los números enteros son contables.*

Demostración. Por el Teorema 7.2.1. ■

6.2.7 Resúmenes

Para incluir un resumen de una sección o un conjunto de secciones o en cualquier otro punto que consideremos interesante, se utiliza el entorno `\begin{Resumen}`, que admite como parámetro opcional un nombre que queramos asignarle al resumen. Por defecto, se denomina “Resumen”. Observar que se ha modificado la cabecera de las páginas impares. Una vez finalizado el resumen, con el comando `\end{Resumen}`, se recupera la anterior cabecera automáticamente. Los resúmenes que se deseen incluir aparecen en la tabla de contenidos como una sección sin numeración, con el nombre elegido o el nombre por defecto de Resumen. En el siguiente ejemplo hemos utilizado este parámetro opcional de nombre.

Resumen de Teoría de Información

Debido al considerable número de definiciones, teoremas y propiedades que hemos descrito en los apartados anteriores, vamos a presentar un resumen de los principales resultados, no necesariamente en el mismo orden que el expuesto anteriormente. Supondremos en este resumen que las variables aleatorias X , Y y Z son discretas, definidas en el alfabeto \mathcal{X} , \mathcal{Y} y \mathcal{Z} respectivamente.

Entropía de una variable aleatoria discreta

Se define la entropía $H(X)$ de una variable aleatoria discreta X , con función masa de probabilidad $p(x)$, en la forma:

$$H(X) = - \sum_{x \in \mathcal{X}} p(x) \log p(x) = \mathbb{E}[-\log p(X)]$$

- a) Se cumple:

$$0 \leq H(X) \leq \log |\mathcal{X}|$$

con la igualdad en la izquierda si y sólo si $p_i = 1$ para algún $x_i \in \mathcal{X}$ y con la igualdad a la derecha si y sólo si la variable aleatoria está uniformemente distribuida; esto es, $p_i = 1/|\mathcal{X}|$ para todo i .

- b) $H(X) = 0$ si y sólo si X es determinista.

- c) $H(X) = H(p(x))$ es una función cóncava en $p(x)$.

- d) Se define la *Función de Entropía Binaria* en la forma:

$$h_b(p) \stackrel{\text{def}}{=} -p \log p - (1-p) \log (1-p)$$

- e) La función entropía binaria $h_b(p)$ es una función cóncava en p .

- f) Si X y \hat{X} son dos variables aleatorias estadísticamente independientes igualmente distribuidas,

$$\Pr(X = \hat{X}) \geq 2^{-H(X)}$$

con la igualdad si y sólo si X tiene una distribución uniforme.

Entropía conjunta y entropía condicional

Definimos la *entropía conjunta* de las variables aleatorias X e Y , $H(X, Y)$ en la forma:

$$H(X, Y) = \sum_{x \in \mathcal{X}} \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(x, y) \log \frac{1}{p(x, y)} = \mathbb{E}[-\log p(X, Y)]$$

Definimos la *entropía condicional* $H(X | Y)$ en la forma:

$$\begin{aligned} H(X | Y) &= \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(y) H(X | Y = y) = \\ &= - \sum_{x \in \mathcal{X}} \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(x, y) \log p(x | y) = \\ &= \mathbb{E}[-\log p(X | Y)] \end{aligned}$$

- a) $H(X, Y) \leq H(X) + H(Y)$

con la igualdad si y sólo si X e Y son estadísticamente independientes.

- b)

$$\begin{aligned} H(X | Y) &\leq H(X) \\ H(Y | X) &\leq H(Y) \end{aligned}$$

con la igualdad si y sólo si X e Y son estadísticamente independientes.

- c) $H(X|Y) = 0$ si y sólo si X es una función de Y .
- d) $H(X|X) = 0$
- e) $H(X,Y) = H(Y) + H(X|Y)$
- f) $H(X,Y) = H(X) + H(Y|X)$
- g) $H(X,Y|Z) = H(X|Z) + H(Y|X,Z)$
- h) *Desigualdad de Fano* Sean X y \hat{X} dos variables aleatorias que toman valores en el mismo alfabeto \mathcal{X} . Se verifica:
- $$H(X|\hat{X}) \leq h_b(p_e) + p_e \log(|\mathcal{X}| - 1)$$

Reglas de las cadenas

Sea \mathbf{X} un vector formado por las N variables aleatorias $X_i, i = 1, 2, \dots, N$.

- a) *Regla de la cadena para la entropía*

$$\begin{aligned} H(X_1, X_2, \dots, X_N) &= \sum_{i=1}^N H(X_i | X_1, \dots, X_{i-1}) = \\ &= H(X_1) + H(X_2 | X_1) + \dots + H(X_N | X_1, \dots, X_{N-1}) \end{aligned}$$

- b) *Regla de la cadena para la entropía condicional*

$$H(X_1, X_2, \dots, X_N | Y) = \sum_{i=1}^N H(X_i | X_1, \dots, X_{i-1}, Y)$$

- c) *Regla de la cadena para la información mutua*

$$I(X_1, X_2, \dots, X_N; Y) = \sum_{i=1}^N I(X_i; Y | X_1, \dots, X_{i-1})$$

- d) *Regla de la cadena para la Información Mutua Condicional*

$$I(X_1, X_2, \dots, X_N; Z | Y) = \sum_{i=1}^N I(X_i; Z | X_1, \dots, X_{i-1}, Y)$$

6.3 Una nueva sección después del resumen

Problemas Propuestos

Esto es un ejemplo de cómo incluir cuestiones y/o problemas al final de un capítulo, con o sin solución. Para poner un problema o cuestión, usar `\begin{prob}` y `\end{prob}`. Para incluir la solución, a continuación usar `\begin{soln}` seguido del texto terminado en `\end{soln}`.

6.1 Sean A , B y C sucesos de un cierto experimento con probabilidades dadas por:

$$\Pr(A) = \frac{1}{3}$$

$$\Pr(B) = \frac{1}{4}$$

$$\Pr(C) = \frac{1}{5}$$

$$\Pr(A \cap B) = \frac{1}{12}$$

$$\Pr(A \cap C) = \frac{1}{15}$$

$$\Pr(B \cap C) = \frac{1}{20}$$

$$\Pr(A \cap B \cap C) = \frac{1}{30}$$

- a) ¿Son los sucesos independientes dos a dos? ¿Son estadísticamente independientes?
- b) Encontrar $\Pr(A \cup B)$.
- c) Encontrar $\Pr(A \cup B \cup C)$.

6.2 Suponer que tenemos una moneda con las siguientes características: cuando se lanza, la probabilidad de que salga cara es $\Pr(c) = p$ y la probabilidad de que salga cruz $\Pr(+) = q$. Lanzamos dos veces la moneda y queremos conocer acerca de la independencia estadística de los siguientes sucesos:

A = Sale c en la primera tirada

B = En las dos tiradas sale lo mismo

C = Sale c en la segunda tirada

6.3 Determinar la media, la autocorrelación y el espectro densidad de potencia de la salida de un sistema con respuesta impulsiva dada por:

$$h(n) = \begin{cases} 1 & n = 0, 2 \\ -2 & n = 1 \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

cuando la señal de entrada es un ruido blanco $X(n)$ con varianza σ_X^2 .

Solución. Si el ruido es blanco, su valor esperado será cero y su espectro densidad de potencia será una constante: $S_X(\Omega) = C$. Calculemos su autocorrelación. Se tiene:

$$R_X(k) = \mathbb{E}[F]^{-1} [S_X(\Omega)] = \mathbb{E}[F]^{-1} [C] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} C e^{jk\Omega} d\Omega = \begin{cases} k \neq 0 & \frac{C}{2\pi} \frac{e^{jk\Omega}}{jk} \Big|_{-\pi}^{\pi} \Rightarrow \\ k = 0 & C \end{cases}$$

$$R_X(k) = C\delta(k) = \begin{cases} C & k = 0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases}$$

Ahora bien: (...)

□

Si quiere introducir un separador dentro de un capítulo puede utilizar la instrucción subchapter. Esto le puede interesar, por ejemplo, para introducir alguna información adicional al final de un capítulo como un anexo al mismo.

En las secciones que siguen vamos a repasar algunas materias que utilizamos ampliamente a lo largo del texto y que sostienen de forma rigurosa el estudio de las comunicaciones digitales.

6.4 Señales: definición y clasificación

Una puede definirse como una función que transmite información generalmente sobre el estado o el comportamiento de un sistema físico, [?]. Aunque las señales puedan representarse de muchas maneras, en todos los casos la información está contenida en la variación de alguna magnitud física. Matemáticamente se representan como una función de una o más variables independientes. Por ejemplo, una señal de voz se puede representar como una función del tiempo y una imagen fotográfica puede representarse como una variación de la luminosidad respecto a dos parámetros espaciales. En cualquier caso, es una práctica común denotar como tiempo, t , a la variable independiente, en el caso de una variación continua de la variable independiente, y n en caso contrario.

6.4.1 Clasificación de señales

Establezcamos a continuación una clasificación de las señales atendiendo a diversos puntos de vista.

Señales deterministas y aleatorias

Una señal se clasifica como determinista cuando no hay incertidumbre alguna acerca del valor que tiene en cualquier instante de tiempo. Estas señales pueden modelarse como una función matemática, por ejemplo, $g(t) = 10 \cos(4\pi t^2)$.

Una señal aleatoria es aquella para la que existe cierta incertidumbre respecto a su valor. Matemáticamente vamos a modelarla como una función muestra de un proceso aleatorio.

Para que una señal transmita información debe tener un carácter aleatorio, [?].

Señales periódicas y no periódicas.

Una señal $g(t)$ es periódica, con periodo T_0 , si existe una cantidad $T_0 > 0$ tal que:

$$g(t) = g(t + T_0) \quad \forall t \quad (6.7)$$

siendo T_0 el valor más pequeño que cumple esta relación. Una señal que no cumpla (6.7) se denomina no periódica.

Señales analógicas, discretas, muestreadas y digitales

Una señal analógica $g(t)$ es aquella que está definida para todo t . Una señal discreta sólo está definida en un conjunto numerable² de valores del tiempo. Una señal muestreada está definida para todo instante de tiempo, aunque sólo puede tomar valores en un conjunto numerable y una señal digital es aquella que sólo está definida en un conjunto numerable de valores del tiempo y toma valores en un conjunto numerable.

² Un conjunto es numerable o contable cuando sus elementos pueden ponerse en correspondencia uno a uno con el conjunto de los números naturales. Con posterioridad veremos que el concepto de conjunto numerable o contable juega un papel importante en el desarrollo de numerosos aspectos de la teoría.

7 Capítulo - Control mediante PID

Una de las virtudes del ingeniero es la eficiencia.

GUANG TSE

El formato de capítulo abarca diversos factores. Un capítulo puede incluir, además de texto, los siguientes elementos:

- Figuras
- Tablas
- Ecuaciones
- Ejemplos
- Resúmenes, con recuadros en gris, por ejemplo
- Lemas, corolarios, teoremas,... y sus demostraciones
- Cuestiones
- Problemas propuestos
- ...

En este capítulo se propone incluir ejemplos de todos estos elementos, para que el usuario pueda modificarlos fácilmente para su uso. Consulte el código suministrado, para ver cómo se escriben en \LaTeX .

7.1 Ejemplo de sección

En la Figura 7.1 se incluye a modo de ejemplo la imagen del logo de la ETSI¹. El código para que aparezca dicha imagen se muestra en el cuadro siguiente:

Si nos detenemos en los comandos que hemos utilizado, con `width` se controla el ancho, y se escala así el tamaño de la imagen. En \LaTeX existen diversas opciones para situar la figura en la página: con `t` o `b` se le indica que las incluya arriba o abajo (top/bottom) y con `!` se le pide que la deje dónde está, tras el texto anterior.

Código 7.1 Código para incluir una figura.

```
\begin{figure}[htbp]
\centering
\includegraphics[width=3 cm]{capituloLibroETSI/figuras/logoESI.pdf}
\caption{Logo de la ETSI}
\label{fig:figura1}
\end{figure}
```

Para dar énfasis a algún texto, usamos `\emph`. Así, por ejemplo,

¹ Se usa aquí el package de acrónimos, que la primera vez define el acrónimo y ya luego sólo incluye el mismo. Esto facilita luego generar de forma automática la lista de acrónimos.

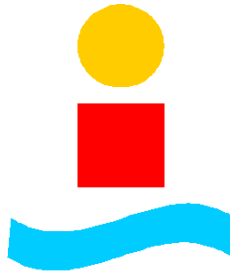


Figura 7.1 Logo de la ETSI.

No olvide intentar utilizar este formato en sus publicaciones de la ETSI

hace aparecer el anterior texto en itálica. Pero si escribiésemos, por ejemplo,

No olvide intentar utilizar este formato siempre en sus publicaciones de la ETSI

vemos cómo hemos destacado la palabra “siempre” en torno a su contexto. Para ello, hemos escrito, realmente, `\emph{siempre}` dentro de la frase original.

7.1.1 Ejemplo de subsección

Si se usaba `\section` para indicar una sección, se utiliza `\subsection` para una subsección.

7.2 Elementos del texto

7.2.1 Figuras

Además del tipo de figura que vimos anteriormente, el normal, podemos desear incluir una figura en modo apaisado ocupando toda la página. Para ello utilizamos el entorno de figura siguiente `\begin{sidewaysfigure}`, cuyo resultado se puede observar en la Figura 7.2.

Aunque puede optar por la forma que desee, en el fichero `notacion.sty` se incluyen definiciones para que pueda usar `\LABFIG{etiqueta}` y `\FIG{etiqueta}` para poner una etiqueta y hacer referencia a la misma luego. Además, está definido para que `\FIG{etiqueta}` incluya por delante el término Figura.

7.2.2 Tablas

A modo de ejemplo, Tabla 7.1 incluye un ejemplo de tabla. Al igual que con figura, si usa `notacion.sty` puede usar `\LABTAB{etiqueta}` y `\TAB{etiqueta}` para poner una etiqueta y una referencia, y el `\TAB{etiqueta}` ya incluye el nombre Tabla por delante.

Una alternativa al uso de estos comandos está representado por el uso del comando `\autoref{etiqueta}` que, en conjunción con el paquete `babel` genera automáticamente los nombres de Figura o Tabla, en función de la etiqueta correspondiente.

Tabla 7.1 Valores de parámetros.

Definición	notación	valor
Potencia transmitida (entregada a antena)	P_{et}	-5 a 20 dBm
Ganancia antenas	G	40.5 dBi

7.2.3 Listados de programas

Es muy habitual en nuestros documentos que tengamos que incluir listados de programas. Para ello, se propone la utilización de un paquete denominado `listings`. Se obtiene con él un listado como el mostrado en el Código 7.2 de MATLAB® siguiente:

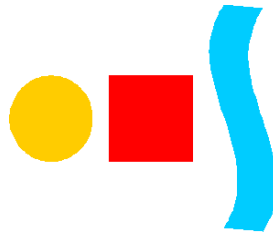


Figura 7.2 Logo de la ETSI.

Código 7.2 Representación de la función $\text{rect}(t - T/2)$.

```

clear all
close all
T = 1;
A = 1;
L = 100;
tstep = T/L;
t = 0:tstep:T-tstep;
g_t = A*ones(1,L);
figure(1);
subplot(211);
h=plot(t,g_t); axis( [0 T -A-0.1 A+0.1]);
set(h,'linewidth', 1.0);
ylabel('g(t)'), xlabel('t[s]'); grid on;

g_n = g_t;
subplot(212);
h=stem(g_n, '.', 'filled'); axis( [1 L -0.1 A+0.1]);
set(h,'linewidth', 1.0);
ylabel('g(n)'), xlabel('n');

```

También se puede generar en este caso una relación de los códigos usados en nuestro documento, de manera equivalente a la relación de figuras o tablas. Para ello, observar la correspondiente codificación en el fichero principal.

7.2.4 Ecuaciones

Para escribir expresiones matemáticas, como por ejemplo $2 + 2 = 4$, sólo hace falta que meta la expresión entre símbolos $\$$. En el fichero notacion.sty se incluyen muchas definiciones para facilitar la escritura de estas expresiones y de ecuaciones. Para escribir una ecuación, con una o más líneas, se aconseja utilizar `align`, como en el siguiente ejemplo, en las ecuaciones (7.1)-(7.3),

$$T = kT_b, \quad (7.1)$$

$$R_b = \frac{1}{T_b}, \quad (7.2)$$

$$D = \frac{1}{T} = \frac{R_b}{k} = \frac{R_b}{\log_2 M}. \quad (7.3)$$

Si no quiere numerar una línea, utilice la instrucción `\nonumber` antes de poner `\\` para escribir la siguiente línea. Y con `&` puede alinear las ecuaciones.

Un ejemplo más complejo de ecuaciones sería el siguiente: decimos que el vector aleatorio \mathbf{Z} es gaussiano si su función densidad de probabilidad conjunta viene dada por:

$$f_{\mathbf{Z}}(\mathbf{z}) = \frac{1}{(2\pi)^N |\mathbf{C}_{\mathbf{Z}}|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{z}-\mathbf{m}_{\mathbf{Z}})^{\top} \mathbf{C}_{\mathbf{Z}}^{-1} (\mathbf{z}-\mathbf{m}_{\mathbf{Z}})} \quad (7.4)$$

con el vector media la matriz $\mathbf{m}_{\mathbf{Z}}$ y la matriz de covarianza real $\mathbf{C}_{\mathbf{Z}}$ ($2N \times 2N$) simétrica definida positiva dado por:

$$\mathbf{m}_{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \mathbf{m}_{\mathbf{X}} \\ \mathbf{m}_{\mathbf{Y}} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_{\mathbf{Z}} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{\mathbf{X}} & \mathbf{C}_{\mathbf{XY}} \\ \mathbf{C}_{\mathbf{YX}} & \mathbf{C}_{\mathbf{Y}} \end{bmatrix} \quad (7.5)$$

con el vector ω dado por:

$$\omega = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \vdots \\ \omega_N \\ \omega_{N+1} \\ \vdots \\ \omega_{2N} \end{bmatrix} \quad (7.6)$$

Si no desea que se numere una ecuación puede poner asterisco, tanto en el entorno `equation` como `align`.

7.2.5 Ejemplos

Para incluir un ejemplo, utilice el entorno `\ejmp`, usando el entorno `\begin{ejmp}` y `\end{ejmp}`, y para la solución el entorno `\begin{sol}`.

Ejemplo 7.2.1 Calcule $2 + 2$.

Solución. Para resolver esto se puede utilizar que $1 + 1 = 2$, de la siguiente forma

$$2 + 2 = (1 + 1) + (1 + 1) = 4,$$

donde se ha contado, pruebe a utilizar los dedos de su mano, a cuatro.

Observad que antes de comenzar el ejemplo y tras su finalización se han incluido unos *filetes* a modo de resalte en el texto. En el caso de una serie de ejemplos, los entornos `\begin{ejmpn}` y `\begin{soln}`, junto con los entornos de cierre correspondientes, permiten que no existan estos filetes entre los ejemplos y soluciones intermedias de la serie.

7.2.6 Lemas, teoremas y similares

Se incluyen ejemplos de estos elementos de texto. Empezamos con la Definición 7.2.1 y la Propiedad 7.2.1:

Definición 7.2.1 (Suma) La suma es la operación que permite contar sobre un número, otro.

Propiedad 7.2.1 (Suma) *Los números enteros se pueden sumar.*

Lema 7.2.1 (Suma de 1 y 1) *La suma $1 + 1$ es igual a 2.*

Demostración. Ponga un dedo a la vista, junto a otro, y cuéntelos. ■

Teorema 7.2.1 (Suma) *La suma de cualquier número y dos es igual a la suma del mismo número más uno más uno.*

Demostración. Por inducción y el Lema 7.2.1. ■

Corolario 7.2.1.1 (Contables) *Los números enteros son contables.*

Demostración. Por el Teorema 7.2.1. ■

7.2.7 Resúmenes

Para incluir un resumen de una sección o un conjunto de secciones o en cualquier otro punto que consideremos interesante, se utiliza el entorno `\begin{Resumen}`, que admite como parámetro opcional un nombre que queramos asignarle al resumen. Por defecto, se denomina “Resumen”. Observar que se ha modificado la cabecera de las páginas impares. Una vez finalizado el resumen, con el comando `\end{Resumen}`, se recupera la anterior cabecera automáticamente. Los resúmenes que se deseen incluir aparecen en la tabla de contenidos como una sección sin numeración, con el nombre elegido o el nombre por defecto de Resumen. En el siguiente ejemplo hemos utilizado este parámetro opcional de nombre.

Resumen de Teoría de Información

Debido al considerable número de definiciones, teoremas y propiedades que hemos descrito en los apartados anteriores, vamos a presentar un resumen de los principales resultados, no necesariamente en el mismo orden que el expuesto anteriormente. Supondremos en este resumen que las variables aleatorias X , Y y Z son discretas, definidas en el alfabeto \mathcal{X} , \mathcal{Y} y \mathcal{Z} respectivamente.

Entropía de una variable aleatoria discreta

Se define la entropía $H(X)$ de una variable aleatoria discreta X , con función masa de probabilidad $p(x)$, en la forma:

$$H(X) = - \sum_{x \in \mathcal{X}} p(x) \log p(x) = \mathbb{E}[-\log p(X)]$$

a) Se cumple:

$$0 \leq H(X) \leq \log |\mathcal{X}|$$

con la igualdad en la izquierda si y sólo si $p_i = 1$ para algún $x_i \in \mathcal{X}$ y con la igualdad a la derecha si y sólo si la variable aleatoria está uniformemente distribuida; esto es, $p_i = 1/|\mathcal{X}|$ para todo i .

b) $H(X) = 0$ si y sólo si X es determinista.

c) $H(X) = H(p(x))$ es una función cóncava en $p(x)$.

d) Se define la *Función de Entropía Binaria* en la forma:

$$h_b(p) \stackrel{\text{def}}{=} -p \log p - (1-p) \log (1-p)$$

e) La función entropía binaria $h_b(p)$ es una función cóncava en p .

f) Si X y \hat{X} son dos variables aleatorias estadísticamente independientes igualmente distribuidas,

$$\Pr(X = \hat{X}) \geq 2^{-H(X)}$$

con la igualdad si y sólo si X tiene una distribución uniforme.

Entropía conjunta y entropía condicional

Definimos la *entropía conjunta* de las variables aleatorias X e Y , $H(X, Y)$ en la forma:

$$H(X, Y) = \sum_{x \in \mathcal{X}} \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(x, y) \log \frac{1}{p(x, y)} = \mathbb{E}[-\log p(X, Y)]$$

Definimos la *entropía condicional* $H(X | Y)$ en la forma:

$$\begin{aligned} H(X | Y) &= \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(y) H(X | Y = y) = \\ &= - \sum_{x \in \mathcal{X}} \sum_{y \in \mathcal{Y}} p(x, y) \log p(x | y) = \\ &= \mathbb{E}[-\log p(X | Y)] \end{aligned}$$

a) $H(X, Y) \leq H(X) + H(Y)$

con la igualdad si y sólo si X e Y son estadísticamente independientes.

b)

$$\begin{aligned} H(X | Y) &\leq H(X) \\ H(Y | X) &\leq H(Y) \end{aligned}$$

con la igualdad si y sólo si X e Y son estadísticamente independientes.

- c) $H(X|Y) = 0$ si y sólo si X es una función de Y .
- d) $H(X|X) = 0$
- e) $H(X,Y) = H(Y) + H(X|Y)$
- f) $H(X,Y) = H(X) + H(Y|X)$
- g) $H(X,Y|Z) = H(X|Z) + H(Y|X,Z)$
- h) *Desigualdad de Fano* Sean X y \hat{X} dos variables aleatorias que toman valores en el mismo alfabeto \mathcal{X} . Se verifica:
- $$H(X|\hat{X}) \leq h_b(p_e) + p_e \log(|\mathcal{X}| - 1)$$

Reglas de las cadenas

Sea \mathbf{X} un vector formado por las N variables aleatorias $X_i, i = 1, 2, \dots, N$.

- a) *Regla de la cadena para la entropía*

$$\begin{aligned} H(X_1, X_2, \dots, X_N) &= \sum_{i=1}^N H(X_i | X_1, \dots, X_{i-1}) = \\ &= H(X_1) + H(X_2 | X_1) + \dots + H(X_N | X_1, \dots, X_{N-1}) \end{aligned}$$

- b) *Regla de la cadena para la entropía condicional*

$$H(X_1, X_2, \dots, X_N | Y) = \sum_{i=1}^N H(X_i | X_1, \dots, X_{i-1}, Y)$$

- c) *Regla de la cadena para la información mutua*

$$I(X_1, X_2, \dots, X_N; Y) = \sum_{i=1}^N I(X_i; Y | X_1, \dots, X_{i-1})$$

- d) *Regla de la cadena para la Información Mutua Condicional*

$$I(X_1, X_2, \dots, X_N; Z | Y) = \sum_{i=1}^N I(X_i; Z | X_1, \dots, X_{i-1}, Y)$$

7.3 Una nueva sección después del resumen

Problemas Propuestos

Esto es un ejemplo de cómo incluir cuestiones y/o problemas al final de un capítulo, con o sin solución. Para poner un problema o cuestión, usar `\begin{prob}` y `\end{prob}`. Para incluir la solución, a continuación usar `\begin{soln}` seguido del texto terminado en `\end{soln}`.

7.1 Sean A , B y C sucesos de un cierto experimento con probabilidades dadas por:

$$\Pr(A) = \frac{1}{3}$$

$$\Pr(B) = \frac{1}{4}$$

$$\Pr(C) = \frac{1}{5}$$

$$\Pr(A \cap B) = \frac{1}{12}$$

$$\Pr(A \cap C) = \frac{1}{15}$$

$$\Pr(B \cap C) = \frac{1}{20}$$

$$\Pr(A \cap B \cap C) = \frac{1}{30}$$

- a) ¿Son los sucesos independientes dos a dos? ¿Son estadísticamente independientes?
- b) Encontrar $\Pr(A \cup B)$.
- c) Encontrar $\Pr(A \cup B \cup C)$.

7.2 Suponer que tenemos una moneda con las siguientes características: cuando se lanza, la probabilidad de que salga cara es $\Pr(c) = p$ y la probabilidad de que salga cruz $\Pr(+) = q$. Lanzamos dos veces la moneda y queremos conocer acerca de la independencia estadística de los siguientes sucesos:

A = Sale c en la primera tirada

B = En las dos tiradas sale lo mismo

C = Sale c en la segunda tirada

7.3 Determinar la media, la autocorrelación y el espectro densidad de potencia de la salida de un sistema con respuesta impulsiva dada por:

$$h(n) = \begin{cases} 1 & n = 0, 2 \\ -2 & n = 1 \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

cuando la señal de entrada es un ruido blanco $X(n)$ con varianza σ_X^2 .

Solución. Si el ruido es blanco, su valor esperado será cero y su espectro densidad de potencia será una constante: $S_X(\Omega) = C$. Calculemos su autocorrelación. Se tiene:

$$R_X(k) = \mathbb{E}[F]^{-1} [S_X(\Omega)] = \mathbb{E}[F]^{-1} [C] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} C e^{jk\Omega} d\Omega = \begin{cases} k \neq 0 & \frac{C}{2\pi} \frac{e^{jk\Omega}}{jk} \Big|_{-\pi}^{\pi} \Rightarrow \\ k = 0 & C \end{cases}$$

$$R_X(k) = C\delta(k) = \begin{cases} C & k = 0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases}$$

Ahora bien: (...)

□

Si quiere introducir un separador dentro de un capítulo puede utilizar la instrucción subchapter. Esto le puede interesar, por ejemplo, para introducir alguna información adicional al final de un capítulo como un anexo al mismo.

En las secciones que siguen vamos a repasar algunas materias que utilizamos ampliamente a lo largo del texto y que sostienen de forma rigurosa el estudio de las comunicaciones digitales.

7.4 Señales: definición y clasificación

Una puede definirse como una función que transmite información generalmente sobre el estado o el comportamiento de un sistema físico, [?]. Aunque las señales puedan representarse de muchas maneras, en todos los casos la información está contenida en la variación de alguna magnitud física. Matemáticamente se representan como una función de una o más variables independientes. Por ejemplo, una señal de voz se puede representar como una función del tiempo y una imagen fotográfica puede representarse como una variación de la luminosidad respecto a dos parámetros espaciales. En cualquier caso, es una práctica común denotar como tiempo, t , a la variable independiente, en el caso de una variación continua de la variable independiente, y n en caso contrario.

7.4.1 Clasificación de señales

Establezcamos a continuación una clasificación de las señales atendiendo a diversos puntos de vista.

Señales deterministas y aleatorias

Una señal se clasifica como determinista cuando no hay incertidumbre alguna acerca del valor que tiene en cualquier instante de tiempo. Estas señales pueden modelarse como una función matemática, por ejemplo, $g(t) = 10 \cos(4\pi t^2)$.

Una señal aleatoria es aquella para la que existe cierta incertidumbre respecto a su valor. Matemáticamente vamos a modelarla como una función muestra de un proceso aleatorio.

Para que una señal transmita información debe tener un carácter aleatorio, [?].

Señales periódicas y no periódicas.

Una señal $g(t)$ es periódica, con periodo T_0 , si existe una cantidad $T_0 > 0$ tal que:

$$g(t) = g(t + T_0) \quad \forall t \quad (7.7)$$

siendo T_0 el valor más pequeño que cumple esta relación. Una señal que no cumpla (7.7) se denomina no periódica.

Señales analógicas, discretas, muestreadas y digitales

Una señal analógica $g(t)$ es aquella que está definida para todo t . Una señal discreta sólo está definida en un conjunto numerable² de valores del tiempo. Una señal muestreada está definida para todo instante de tiempo, aunque sólo puede tomar valores en un conjunto numerable y una señal digital es aquella que sólo está definida en un conjunto numerable de valores del tiempo y toma valores en un conjunto numerable.

² Un conjunto es numerable o contable cuando sus elementos pueden ponerse en correspondencia uno a uno con el conjunto de los números naturales. Con posterioridad veremos que el concepto de conjunto numerable o contable juega un papel importante en el desarrollo de numerosos aspectos de la teoría.

Apéndice A

Sobre \LaTeX

Este es un ejemplo de apéndices, el texto es únicamente relleno, para que el lector pueda observar cómo se utiliza

A.1 Ventajas de \LaTeX

El gusto por el \LaTeX depende de la forma de trabajar de cada uno. La principal virtud es la facilidad de formatear cualquier texto y la robustez. Incluir títulos, referencias es inmediato. Las ecuaciones quedan estupendamente, como puede verse en (A.1)

$$x_1 = x_2. \tag{A.1}$$

A.2 Inconvenientes

El principal inconveniente de \LaTeX radica en la necesidad de aprender un conjunto de comandos para generar los elementos que queremos. Cuando se está acostumbrado a un entorno “como lo escribo se obtiene”, a veces resulta difícil dar el salto a “ver” que es lo que se va a obtener con un determinado comando.

Por otro lado, en general será muy complicado cambiar el formato para desviarnos de la idea original de sus creadores. No es imposible, pero sí muy difícil. Por ejemplo, con la sentencia siguiente:

Código A.1 Escritura de una ecuación.

```
\begin{equation}\LABEQ{Ap2}
x_{1}=x_{2}
\end{equation}
```

obtenemos:

$$x_1 = x_2 \tag{A.2}$$

Esto será siempre así. Aunque, tal vez, esto podría ser una ventaja y no un inconveniente.

Para una discusión similar sobre el Word[®], ver Apéndice B.

Apéndice B

Sobre Microsoft Word®

B.1 Ventajas del Word®

La ventaja mayor del Word® es que permite configurar el formato muy fácilmente. Para las ecuaciones,

$$x_1 = x_2, \tag{B.1}$$

tradicionalmente ha proporcionado pésima presentación. Sin embargo, el software adicional Mathtype® solventó este problema, incluyendo una apariencia muy profesional y cuidada. Incluso permitía utilizar un estilo similar al L^AT_EX. Además, aunque el Word® incluye sus propios atajos para escribir ecuaciones, Mathtype® admite también escritura L^AT_EX. En las últimas versiones de Word®, sin embargo, el formato de ecuaciones está muy cuidado, con un aspecto similar al de L^AT_EX.

B.2 Inconvenientes de Word®

Trabajar con títulos, referencias cruzadas e índices es un engorro, por no decir nada sobre la creación de una tabla de contenidos. Resulta muy frecuente que alguna referencia quede pérdida o huérfana y aparezca un mensaje en negrita indicando que no se encuentra.

Los estilos permiten trabajar bien definiendo la apariencia, pero también puede desembocar en un descontrolado incremento de los mismos. Además, es muy probable que Word® se quede colgado, sobre todo al trabajar con copiar y pegar de otros textos y cuando se utilizan ficheros de gran extensión, como es el caso de un libro.

Índice de Figuras

1.1	Modelo de un sistema de Comunicación Digital I	5
2.1	Logo de la ETSI	14
2.2	Logo de la ETSI	15
3.1	Logo de la ETSI	26
3.2	Logo de la ETSI	27
4.1	Logo de la ETSI	38
4.2	Logo de la ETSI	39
5.1	Logo de la ETSI	50
5.2	Logo de la ETSI	51
6.1	Logo de la ETSI	62
6.2	Logo de la ETSI	63
7.1	Logo de la ETSI	74
7.2	Logo de la ETSI	75

Índice de Tablas

1.1	Tipos de transmisión y frecuencia central	6
2.1	Valores de parámetros	14
3.1	Valores de parámetros	26
4.1	Valores de parámetros	38
5.1	Valores de parámetros	50
6.1	Valores de parámetros	62
7.1	Valores de parámetros	74

Índice de Códigos

1.1	Inclusión de una figura	5
1.2	Inclusión de una tabla	5
1.3	Teoremas, Lemas,...	7
1.4	Teorema y Demostración	7
1.5	Fuente del texto	9
2.1	Código para incluir una figura	13
2.2	Representación de la función $\text{rect}(t - T/2)$	16
3.1	Código para incluir una figura	25
3.2	Representación de la función $\text{rect}(t - T/2)$	28
4.1	Código para incluir una figura	37
4.2	Representación de la función $\text{rect}(t - T/2)$	40
5.1	Código para incluir una figura	49
5.2	Representación de la función $\text{rect}(t - T/2)$	52
6.1	Código para incluir una figura	61
6.2	Representación de la función $\text{rect}(t - T/2)$	64
7.1	Código para incluir una figura	73
7.2	Representación de la función $\text{rect}(t - T/2)$	76
A.1	Escritura de una ecuación	85

Índice alfabético

Adobe, 4	Índice de palabras, 8	aleatoria, 23, 35, 47, 59, 71, 83
BibTex, 2	index, 8	analógica, 24, 36, 48, 60, 72, 84
	subpalabra, 8	determinista, 23, 35, 47, 59, 71, 83
corolarios, 13, 25, 37, 49, 61, 73	Lemas, 13, 25, 37, 49, 61, 73	digital, 24, 36, 48, 60, 72, 84
Cuestiones, 13, 25, 37, 49, 61, 73	Macintosh, 2	discreta, 24, 36, 48, 60, 72, 84
Ecuaciones, 13, 25, 37, 49, 61, 73	manuscrito, 2	muestreada, 24, 36, 48, 60, 72, 84
Ejemplos, 13, 25, 37, 49, 61, 73	paquetes, 1	no periódica, 23, 35, 47, 59, 71, 83
engine, 2, 8	Problemas, 13, 25, 37, 49, 61, 73	periódica, 23, 35, 47, 59, 71, 83
Figuras, 13, 25, 37, 49, 61, 73	Resúmenes, 13, 25, 37, 49, 61, 73	Tablas, 13, 25, 37, 49, 61, 73
formato	señal, 23, 35, 47, 59, 71, 83	teoremas, 13, 25, 37, 49, 61, 73
de capítulo, 13, 25, 37, 49, 61, 73		TexMaker, 2
		TeXShop, 2
		Winedt, 2

