

MATLAB

APLICADO A TELECOMUNICACIONES

MAURICIO ORTEGA RUÍZ

Apoyo en la



 **Alfaomega**

 **marcombo**
ediciones técnicas

MATLAB

APLICADO A TELECOMUNICACIONES

MAURICIO ORTEGA RUÍZ



Director Editorial
Marcelo Grillo Giannetto
mgrillo@alfaomega.com.mx

Editor
Francisco Javier Rodríguez Cruz
jrodriguez@alfaomega.com.mx

Datos catalográficos	
Ortega Ruíz, Mauricio MATLAB Aplicado a Telecomunicaciones Primera Edición	
Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México	
ISBN 978-607-707-597-4	
Formato: 17 × 23 cm	Páginas: 292

MATLAB Aplicado a Telecomunicaciones

Mauricio Ortega Ruíz
Derechos reservados ©Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México.

Primera edición: Alfaomega Grupo Editor, México, octubre de 2014

©2015 Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
Pitágoras 1139, Col. Del Valle, 03100, México D.F.

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana
Registro No. 2317

Pág. Web: <http://www.alfaomega.com.mx>
E-mail: atencionalcliente@alfaomega.com.mx

ISBN: 978-607-707-597-4

Derechos reservados:

Esta obra es propiedad intelectual de sus autores y los derechos de publicación en lengua española han sido legalmente transferidos al editor. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del propietario de los derechos del copyright.

Esta obra fue compuesta por el editor en Latex con el compilador MiKTeX 2.8.

Nota importante:

La información contenida en esta obra tiene un fin exclusivamente didáctico y, por lo tanto, no está previsto su aprovechamiento a nivel profesional o industrial. Las indicaciones técnicas y programas incluidos, han sido elaborados con gran cuidado por los autores y reproducidos bajo estrictas normas de control. ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V. no será jurídicamente responsable por: errores u omisiones; daños y perjuicios que se pudieran atribuir al uso de la información comprendida en este libro, ni por la utilización indebida que pudiera dársele.

MATLAB y Simulink son marcas registradas de The Mathworks, Inc., Natick, MA.

Impreso en México. Printed in Mexico.

Empresas del grupo:

México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. – Pitágoras 1139, Col. Del Valle, México, D.F. – C.P. 03100.
Tel.: (52-55) 5575-5022 – Fax: (52-55) 5575-2420 / 2490. Sin costo: 01-800-020-4396
E-mail: atencionalcliente@alfaomega.com.mx

Colombia: Alfaomega Colombiana S.A. – Calle 62 No. 20-46, Barrio San Luis, Bogotá, Colombia,
Tels.: (57-1) 746 0102 / 210 0415 – E-mail: cliente@alfaomega.com.co

Chile: Alfaomega Grupo Editor, S.A. – Av. Providencia 1443. Oficina 24, Santiago, Chile
Tel.: (56-2) 2235-4248 – Fax: (56-2) 2235-5786 – E-mail: agechile@alfaomega.cl

Argentina: Alfaomega Grupo Editor Argentino, S.A. – Paraguay 1307 P.B. Of. 11, C.P. 1057, Buenos Aires,
Argentina, – Tel./Fax: (54-11) 4811-0887 y 4811 7183 – E-mail: ventas@alfaomegaeditor.com.ar

Acerca del autor



Mauricio Alberto Ortega Ruíz. Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la carrera de Ingeniería Mecánico Electricista, área de Telecomunicaciones (Facultad de Ingeniería de la UNAM), Maestro en Comunicaciones y Procesamiento de Señales (Imperial College of Science Technology and Medicine). De 1996 a 2000 el Maestro Ortega se desempeñó como responsable del área de instrumentación sísmica del CENAPRED, especializándose en áreas de instrumentación, sensores, electrónica y telemetría. Durante este periodo realizó cursos de especialización en instrumentación en las Universidades de Tokyo y Kyoto en Japón. Ha publicado artículos en distintas ediciones del Congreso de instrumentación de la Sociedad Mexicana de Instrumentación y de la Unión Geofísica Mexicana.

Se ha desempeñado como Coordinador de Capacitación y Soporte técnico en áreas de equipo de impresión digital y manipulación de imágenes digitales, siendo responsable de lanzamientos de nuevos productos y actualización en cursos de especialización en Italia.

En 2007 fue el responsable técnico del proyecto de desarrollo de un sismógrafo digital, apoyado por el fondo de Innovación Tecnológica del Conacyt, y en 2012 fue el asesor del proyecto de desarrollo de un equipo de monitoreo de resistividad para estudio del suelo en el DF, finalmente este mismo año fue el ganador del Premio de Ingeniería de la Ciudad de México como Profesionista de la Ingeniería.

Desde 2010 se desempeña como docente de tiempo completo y asesora a estudiantes en proyectos extracurriculares. Ha impartido diversas materias dentro de las áreas de electrónica y telecomunicaciones, y ha fomentado el uso de herramientas de simulación y apoyo dentro de las cuales MATLAB es una de las más útiles para la preparación de material didáctico para los cursos de estas áreas.



A Rosana, gracias por tu apoyo.

Gracias a Elizabeth y Mauricio, por las fotos tomadas para el procesamiento de imágenes.

Gracias a Sofía, quien grabó la voz para el procesamiento de voz.



Mensaje del Editor

Una de las convicciones fundamentales de Alfaomega es que los conocimientos son esenciales en el desempeño profesional, ya que sin ellos es imposible adquirir las habilidades para competir laboralmente. El avance de la ciencia y de la tecnología hace necesario actualizar continuamente esos conocimientos, y de acuerdo con esta circunstancia Alfaomega publica obras actualizadas, con alto rigor científico y técnico, y escritas por los especialistas del área respectiva más destacados.

Consciente del alto nivel competitivo que debe de adquirir el estudiante durante su formación profesional, Alfaomega aporta un fondo editorial que se destaca por sus lineamientos pedagógicos que coadyuvan a desarrollar las competencias requeridas en cada profesión específica.

De acuerdo con esta misión, con el fin de facilitar la comprensión y apropiación del contenido de esta obra, cada capítulo inicia con el planteamiento de los objetivos del mismo y con una introducción en la que se plantean los antecedentes y una descripción de la estructura lógica de los temas expuestos, asimismo a lo largo de la exposición se presentan ejemplos desarrollados con todo detalle y cada capítulo concluye con un resumen y una serie de ejercicios propuestos.

Además de la estructura pedagógica con que está diseñado el contenido de nuestros libros, Alfaomega hace uso de los medios impresos tradicionales en combinación con las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) para facilitar el aprendizaje. Correspondiente a este concepto de edición, todas nuestras obras tienen su complemento en una página Web en donde el alumno y el profesor encontrarán lecturas complementarias así como programas desarrollados en relación con temas específicos de la obra.

Los libros de Alfaomega están diseñados para ser utilizados en los procesos de enseñanza aprendizaje, y pueden ser usados como textos en diversos cursos o como apoyo para reforzar el desarrollo profesional, de esta forma Alfaomega espera contribuir así a la formación y al desarrollo de profesionales exitosos para beneficio de la sociedad, y espera ser su compañera profesional en este viaje de por vida por el mundo del conocimiento.



Contenido

Prefacio	XVII
Introducción	XIX
Capítulo 1. Introducción a MATLAB	
1.1. Introducción	2
1.2. Instrucciones for, while, if	3
1.2.1. For	4
1.2.2. While	5
1.2.3. If	5
1.3. Relaciones de comparación	6
1.4. Operaciones básicas	6
1.4.1. Generación de vectores y matrices	6
1.4.2. Operaciones escalares, vectoriales y matriciales	8
1.4.3. Funciones vectoriales	10
1.4.4. Funciones matriciales	10
1.4.5. Submatrices y uso del índice	11
1.5. Generación de archivos y funciones tipo m	13
1.6. Entrada de datos y de texto	15
1.7. Formato de salida	16
1.8. Graficación con MATLAB	17
1.8.1. Curvas planas	17
1.8.2. Gráficas en 3 dimensiones	22
1.9. Resumen	23
1.10. Ejercicios	23
Capítulo 2. Sistemas, señales y análisis en frecuencia	
2.1. Introducción	26
2.2. Señales representadas en MATLAB	26
2.2.1. Impulso unitario	28
2.2.2. Escalón unitario	28

2.2.3.	Senoidal	29
2.2.4.	Función exponencial	30
2.3.	Series de Fourier	31
2.4.	Transformada de Fourier	36
2.4.1.	Transformada de Fourier de secuencias discretas	37
2.4.2.	Propiedades de la transformada de Fourier	38
2.4.3.	Linealidad de la TDF	39
2.4.4.	Desplazamiento en el tiempo	41
2.4.5.	Convolución	42
2.4.6.	Modulación	43
2.4.7.	Inversión en el tiempo	44
2.4.8.	Desplazamiento circular	45
2.4.9.	Transformada discreta de Fourier matricial	47
2.5.	Resumen	47
2.6.	Ejercicios	48
Capítulo 3. Procesamiento digital de señales		
3.1.	Introducción	52
3.2.	Teorema de muestreo	53
3.3.	Sistemas lineales e invariantes en el tiempo	55
3.3.1.	Convolución	56
3.3.2.	Ecuación diferencial de los sistemas discretos	57
3.3.3.	Filtros con respuesta al impulso finito FIR	58
3.3.4.	Filtros con respuesta al impulso infinito IIR	59
3.3.5.	Función de transferencia	61
3.4.	Transformada Z	64
3.4.1.	Propiedades de la Transformada Z	64
3.4.2.	Diagrama de polos y ceros	65
3.5.	Diseño de filtros digitales	69
3.5.1.	Transformación de filtros analógicos mediante el método de invariancia de la respuesta al impulso	70
3.5.2.	Transformación bilineal	72
3.5.3.	Principales tipos de filtros analógicos	73
3.5.4.	Filtros Butterworth	73
3.5.5.	Filtros tipo Chebyshev	75
3.5.6.	Diseño de Filtros tipo FIR	76
3.6.	Resumen	82

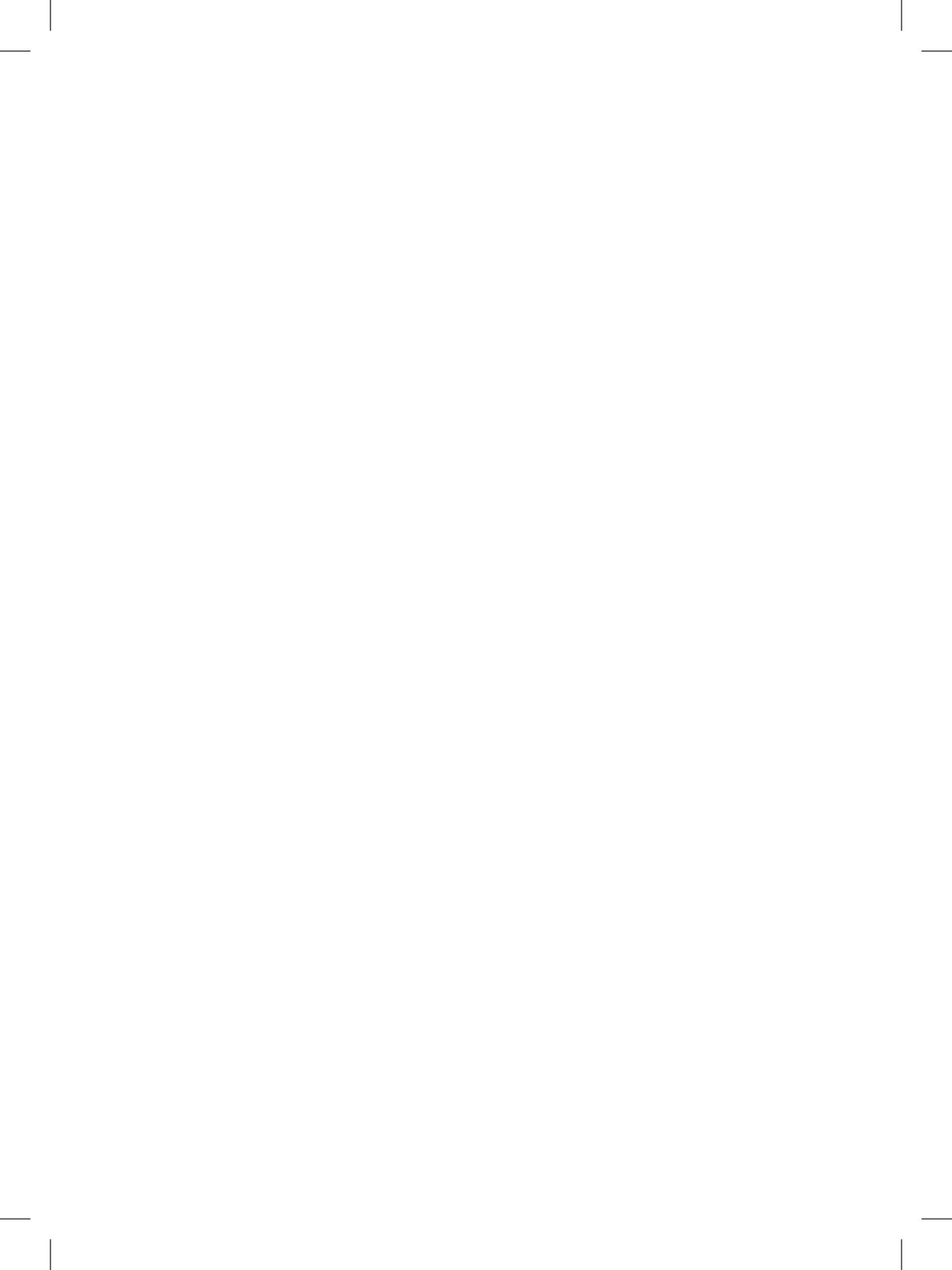
3.7. Ejercicios	83
Capítulo 4. Procesamiento de señales de voz	
4.1. Introducción	88
4.2. Acústica de la voz	89
4.2.1. Características de los órganos que integran la voz	90
4.3. Captura de la voz en MATLAB	91
4.4. Análisis en el dominio del tiempo	92
4.5. Análisis en el dominio de la Frecuencia	93
4.5.1. Espectrograma de la señal de voz	96
4.6. Predicción lineal de la voz	97
4.6.1. Teoría de estimación	98
4.6.2. Identificación de un sistema	98
4.6.3. Predicción lineal en MATLAB	100
4.7. Compresión de la voz y VOCODERS en telefonía celular	102
4.8. Resumen	103
4.9. Ejercicios	103
Capítulo 5. Introducción al procesamiento de imágenes	
5.1. Introducción	106
5.1.1. Captura de una imagen	107
5.2. Ecualización del histograma	108
5.2.1. Modificación del histograma	111
5.2.2. Ajuste de la imagen	113
5.3. Detección de orillas	114
5.4. Transformada de Fourier de una imagen	117
5.4.1. Separabilidad	117
5.4.2. Traslación	117
5.4.3. Periodicidad	118
5.5. Transformada coseno	119
5.6. Visión artificial	122
5.7. Resumen	122
5.8. Ejercicios	122
Capítulo 6. Sistemas de comunicación	
6.1. Introducción	126
6.2. Communications System Toolbox	127
6.3. Modulación en amplitud AM	127

6.3.1. Tipos de Modulación AM	128
6.3.2. Demodulación AM	129
6.3.3. Demodulación síncrona y asíncrona	131
6.4. Uso de SIMULINK para simulación de sistemas de comunicación	133
6.5. Modulación en frecuencia FM	135
6.5.1. Análisis en frecuencia de FM	137
6.6. Ruido en los sistemas de comunicación	141
6.6.1. Ruido blanco gaussiano	141
6.6.2. Multitrayectorias en el medio de comunicación	143
6.6.3. Velocidad Doppler	144
6.6.4. Dispersión	144
6.6.5. Interferencia intersimbólica	144
6.6.6. Modelo del canal en MATLAB	145
6.6.7. Modelo del modulador en MATLAB	148
6.7. Sistemas de comunicación digital	149
6.7.1. Modelo del canal digital binario simétrico	149
6.7.2. Tasa de bits con error	150
6.8. Modulación digital	151
6.8.1. Comunicación M-aria	152
6.8.2. Modulación digital en frecuencia FSK	152
6.8.3. Modulación digital en fase PSK	154
6.8.4. Modulación digital en cuadratura QPSK	156
6.8.5. Modulación digital en Amplitud y Cuadratura QAM	158
6.9. Rendimiento en los sistemas de comunicación	161
6.10. Resumen	163
6.11. Ejercicios	164
Capítulo 7. Líneas de transmisión, propagación de ondas y antenas	
7.1. Introducción	168
7.2. Modelo de la línea de transmisión	169
7.2.1. Cable multipar	170
7.2.2. Par trenzado	170
7.2.3. Cable coaxial	171
7.3. Onda estacionaria	171
7.4. Carta de Smith	174
7.4.1. Acoplador de cuarto de longitud de onda	175

7.5. Antenas	177
7.5.1. Impedancia de la antena	177
7.5.2. Resistencia de radiación	177
7.5.3. Ganancia de la antena	179
7.5.4. Patrón de radiación	180
7.5.5. Directividad	181
7.6. Propagación de ondas electromagnéticas	185
7.7. Resumen	187
7.8. Ejercicios	188
Capítulo 8. Comunicaciones por microondas y satelitales	
8.1. Introducción	190
8.2. Antecedentes	191
8.3. Órbitas satelitales	191
8.3.1. Clasical Orbital Elements	192
8.3.2. Principales órbitas satelitales	193
8.3.3. Órbitas asíncronas	196
8.3.4. Órbitas geosíncronas	196
8.3.5. Órbitas geoestacionarias	197
8.4. Estaciones terrenas	198
8.5. Pérdidas en un enlace satelital	201
8.6. Características de un sistema de comunicación por satélite	204
8.6.1. Multicanalización	204
8.6.2. Modulación de la señal en banda base	204
8.6.3. Codificación de la información	205
8.6.4. Frecuencias de microondas	205
8.7. Análisis de un sistema de comunicación satelital	205
8.8. Resumen	208
8.9. Ejercicios	209
Capítulo 9. Introducción al procesamiento de señales de radar	
9.1. Introducción	212
9.2. Señal Chirp	213
9.3. Detección de posición	215
9.4. Radar Doppler: detección de la velocidad	217
9.5. Resumen	220
9.6. Ejercicios	220

Capítulo 10. Comunicaciones ópticas	
10.1. Introducción	224
10.2. Optical Fiber Toolbox	225
10.3. Fibra óptica	225
10.3.1. Índice de refracción en el OFT	226
10.3.2. Ley de Snell	227
10.3.3. Modos de operación	228
10.3.4. Fibras de índice escalonado	228
10.3.5. Fibras de índice gradual	229
10.4. Parámetros de operación de la fibra	229
10.5. Propagación de una onda electromagnética en fibra óptica	232
10.6. Atenuación y pérdidas en una fibra óptica	234
10.6.1. Pérdidas por absorción	235
10.6.2. Pérdidas por dispersión	235
10.6.3. Pérdidas en los acoplamientos	235
10.6.4. Otros elementos en un sistema de comunicación óptica	235
10.7. Resumen	236
10.8. Ejercicios	236
Capítulo 11. Filtros adaptables y aplicaciones a telefonía móvil	
11.1. Introducción	240
11.1.1. Estructura de un filtro adaptable	241
11.2. Principales Algoritmos Adaptables	242
11.3. Algoritmo LMS	243
11.4. Algoritmo RLS	245
11.5. Funciones de ecualización en el toolbox de comunicaciones	247
11.5.1. Crear objeto ecualizador	247
11.5.2. Propiedades del ecualizador	248
11.5.3. Simulación de ecualizado a la señal deseada	249
11.5.4. Aplicaciones para cancelación de ruido	249
11.5.5. Filtros adaptables en Simulink	252
11.6. Aplicaciones de filtros adaptables a las comunicaciones celulares	255
11.6.1. Evolución de las comunicaciones celulares	256
11.6.2. Ecualización del canal de comunicación	257
11.7. Resumen	261
11.8. Ejercicios	261

Bibliografía	263
Índice analítico	267



Prefacio

No hay nada como imaginar para crear futuro, ya que lo que hoy es utopía será carne y sangre mañana.

Julio Verne

El desarrollo de nuestra sociedad y la manera en que concebimos nuestra realidad presente y futura, no sería posible sin la presencia de las tecnologías de información y comunicaciones, comúnmente denominadas “TICs”.

Desde la invención del telégrafo, pasando por el teléfono, teletipo, el Internet, y ahora las redes móviles de tercera y cuarta generación, hemos visto la reducción virtual de nuestro mundo, acercando cada vez más no sólo a las personas, sino también generando la sensación de cercanía con sitios y elementos que podemos visualizar o incluso en ocasiones, manipular a través de diversidad de dispositivos modernos conectados a lo que simplemente es “la red”. Acuñamos nuevas definiciones entonces, como redes sociales, realidad aumentada, realidad virtual.

De esta forma tenemos una nueva concepción del tiempo y distancia, donde ambas se perciben en forma “inversamente proporcional” a la velocidad y disponibilidad de la red: mayor velocidad, menor tiempo y menor “distancia”. El mundo se vuelve cercano, gracias a la posibilidad de conexión en cualquier momento, cualquier lugar y con cualquier dispositivo.

De acuerdo a la cita de Julio Verne, quien quizá nunca supo hasta dónde su visión inspiraría las realidades de hoy, es la imaginación, creatividad y motivación por afrontar los retos lo que ha permitido que las tecnologías convergentes de telecomunicaciones, electrónica y cómputo sean las herramientas que están llevando a conformación de una nueva sociedad, la cual bajo una dinámica constante, pierde día a día su capacidad de asombro con expectativas cada vez mayores respecto a la funcionalidad, eficacia, costo y tiempos de desarrollo de las nuevas tecnologías.

Las generaciones que vimos con asombro las posibilidades imaginarias de Gene Roddenberry con su saga “Star Trek”, donde las telecomunicaciones, dispositivos de cómputo y agendas personales se veían como ciencia ficción, nos asombramos de lo que hoy tenemos en la palma de la mano con un teléfono móvil, laptop o tableta electrónica, mientras los jóvenes nos miran con simpatía y curiosidad dado que en su mundo es parte de lo cotidiano.

No sabemos lo que seremos capaces de lograr o inventar en las próximas décadas, pero lo que sí sabemos es que no podemos esperar 104 años desde “De la Tierra a

la Luna” de Julio Verne para hacer realidad la visita de Neil Armstrong, o 17 años entre el intercomunicador de “Star Trek” y el primer celular concebido por Martin Cooper, con Motorola en 1983.

Bajo esta demanda acelerada de poder desarrollar más rápidamente tecnologías y servicios es que se plantea este libro orientado al aprendizaje de los fundamentos y teoría de las telecomunicaciones, bajo un enfoque práctico y a través del uso de simulaciones y aplicaciones con la herramienta MATLAB, con lo cual es posible no sólo comprobar y evaluar conceptos asociados a los modelos teóricos, sino generar escenarios diversos que permitan en tiempos muy cortos, comprobar soluciones y propuestas para sistemas o servicios de comunicaciones.

La forma como se abordan las diversas temáticas, desde los fundamentos como son análisis de señales, análisis de Fourier, o procesamiento digital de señales, hasta sus aplicaciones en sistemas de comunicación AM/FM, comunicaciones digitales, procesamiento/reconocimiento de voz e imágenes o bien sistemas de video y satelitales, permite un aprendizaje basado en un enfoque de análisis de casos, desarrollo y solución de problemas empleando herramientas de cómputo muy versátiles y poderosas como MATLAB.

De esta manera, no sólo es posible lograr un aprendizaje del conocimiento asociado con las telecomunicaciones, sino también se desarrollan en forma integral las competencias respecto al uso de la tecnología como un elemento para la eficiencia, productividad y oportunidad en la solución de problemas, atendiendo como ya mencioné la demanda en rapidez y calidad de las nuevas propuestas tecnológicas que reta la sociedad a las futuras generaciones de ingenieros y científicos.

Sin duda, este libro será un acompañante de gran valor para los estudiantes de electrónica, telecomunicaciones o computación, al igual que ingenieros de desarrollo, que buscan profundizar en los conocimientos de las telecomunicaciones a través de la aplicación de la teoría y uso de simulación por computadora, con un enfoque práctico, orientado a generar competencias y habilidades, que enriquezcan el talento para crear el futuro.

Dr. Eduardo J. García García
Director Institucional de la División de Ingeniería
Universidad del Valle de México

Introducción

Esta obra tiene como objetivo presentar diversos ejercicios basados en el programa MATLAB para la solución de problemas del campo de las Telecomunicaciones, así como una descripción general de los principales temas y la teoría de las telecomunicaciones aplicados al programa MATLAB tales como: sistemas y señales, análisis en frecuencia mediante series de Fourier y transformada de Fourier, modulación AM, modulación FM, líneas de transmisión, ejemplos de radiación y propagación de señales etc.

Primero se comienza con los fundamentos del uso del programa MATLAB así como una serie de ejercicios destinados principalmente a la graficación de señales y a realizar operaciones matemáticas básicas, posteriormente se estudian con más detalle los sistemas y las señales y su representación en frecuencia a través de las series de Fourier y la transformada de Fourier; y el estudio de las propiedades de los sistemas lineales e invariantes en el tiempo. Se hace especial énfasis en el análisis de las señales de voz, que son tratadas en el capítulo 4 y de las imágenes, capítulo 5, considerando que son hoy en día las principales señales transmitidas por un canal de comunicación. Un estudio más detallado de las señales digitales y de su tratamiento, incluyendo la transformada Z, el análisis y diseño de filtros digitales se presenta en el capítulo 3. En seguida, se presenta la teoría y fundamentos de los sistemas de comunicación. Para el desarrollo de los ejercicios de estos capítulos se requiere el Toolbox de Sistemas de Comunicación (Communication systems toolbox). Inicialmente se analizan las características principales del ruido y de las señales aleatorias para conocer sus propiedades y posteriormente los distintos tipos de modulación analógica incluyendo AM, FM y PM. Asimismo se estudia la modulación digital y la codificación de datos digitales. Durante el estudio de estos capítulos también se utiliza el paquete simulink a fin de mostrar también los distintos enlaces de comunicación mediante este programa. El estudio de las líneas de comunicación, características de la propagación de señales electromagnéticas y las antenas se cubre en el capítulo 8. La fortaleza de MATLAB para graficación de señales especialmente en 3-D permite mostrar excelentes ejercicios de patrones de radiación y propagación de ondas, de igual modo, gracias a las ventajas de la graficación en MATLAB y mediante el uso de mapas terrestres, se analizan en el capítulo 9 los parámetros y movimiento de las órbitas principales de satélites artificiales, así como cálculos de elevación y localización de los mismos. Algunos ejemplos adicionales de aplicaciones basadas en MATLAB al procesamiento de señales de radar

y a la estimación y filtros adaptables se presentan en el capítulo 10. Estos ejemplos permiten ver el potencial de este programa mediante la solución y graficación de simulaciones para casos concretos de aplicación. Los ejercicios presentados permitirán al lector desarrollar ejemplos y crear funciones que serán utilizadas a lo largo del libro y que muchas de ellas se utilizará en capítulos posteriores. El lector podrá ir generando y guardando las diferentes funciones hasta completar toda una librería de herramientas denominada TOOLBOX de MATLAB, enfocada a la solución de problemas en telecomunicaciones. Para ejecutar los ejercicios a lo largo del curso se requerirá el uso de los TOOLBOXES de Procesamiento de señales, Procesamiento de imágenes y de Sistemas de comunicación.

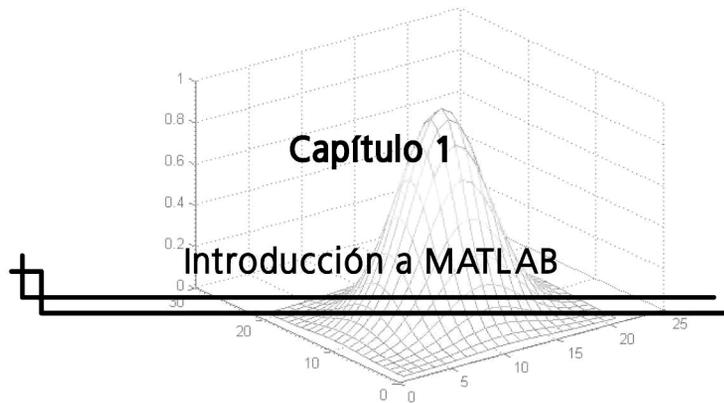
Material web de apoyo

El material web de este libro incluye los siguientes recursos:

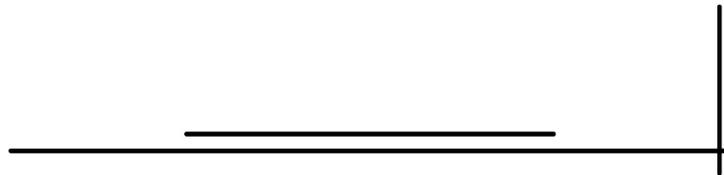
- En relación con el procesamiento de imágenes (capítulo 5), se tiene una exposición completa del tema **visión artificial**.
- Respecto de los sistemas de comunicación (capítulo 6), se cuenta con un ejemplo de simulación así como con una presentación de los fundamentos de este tipo de modulación.
- Para los profesores se tiene una presentación power point de cada uno de los capítulos, así como la solución completa de todos los problemas propuestos en el libro.

Para tener acceso al material de la página web de apoyo del libro:

1. Ir a la página <http://libroweb.alfaomega.com.mx>
2. En la sección de catálogo dar doble clic en la imagen de la portada del libro.



- 1.1** Introducción
- 1.2** Instrucciones for, while, if
- 1.3** Relaciones de comparación
- 1.4** Operaciones básicas
- 1.5** Generación de archivos y funciones tipo .m
- 1.6** Entrada de datos y de texto
- 1.7** Formato de salida
- 1.8** Graficación con MATLAB
- 1.9** Resumen
- 1.10** Ejercicios



Al igual que los hijos biológicos de generaciones anteriores, las máquinas representan la mejor esperanza de la humanidad para un futuro a largo plazo.

Moravec

Objetivos

Se presentan los fundamentos del uso de MATLAB, así como una serie de ejercicios para graficar señales y realizar operaciones matemáticas básicas.

1.1 Introducción

Este capítulo tiene como finalidad presentar una introducción a MATLAB mediante una descripción general de su uso, y en él se describen las principales herramientas para generar matrices y vectores, así como operaciones matemáticas básicas y las funciones principales para la graficación de señales, además de que se expone el procedimiento para generar funciones que serán utilizadas a lo largo del presente libro. Se recomienda almacenar las diferentes funciones hasta completar toda una librería de herramientas (o TOOLBOX), en nuestro caso dedicada especialmente al campo de las telecomunicaciones.

MATLAB es un programa de cómputo basado en operaciones matriciales y orientado al cálculo numérico por computadora. Este programa resulta muy útil para ingenieros y para el área científica ya que puede resolver problemas numéricos de una manera más sencilla que utilizando lenguajes de programación de alto nivel.

Una vez ejecutado MATLAB se presentan diferentes ventanas, la principal es la línea de comandos que puede identificarse mediante el símbolo `>>`, lugar en donde se ejecutan los comandos. En dicha ventana todo aquello que es introducido desde el teclado de la computadora será interpretado y evaluado por MATLAB.

Las variables que se desean utilizar se generan y almacenan en la memoria del programa al asignarles una cierta expresión:

$$\mathbf{A} = \text{expresión}$$

en donde las expresiones pueden ser operaciones aritméticas, ecuaciones y funciones matemáticas. Al presionar la tecla **enter** MATLAB ejecuta la operación del lado

derecho del signo de igualdad y le asigna el resultado a la variable del lado izquierdo. Al incluir al final de la línea el símbolo “;” se omite el despliegue del resultado en la pantalla y solamente se asigna el resultado a la variable designada. Todas las variables generadas permanecen en la memoria dentro del espacio de trabajo hasta finalizar la ejecución de MATLAB, también se pueden borrar al ejecutar el comando **clear**, sin embargo el comando **save** permite guardar todas las variables en un archivo llamado **matlab.mat** que se recupera con el comando **load**. Todas las variables dentro del programa se consideran matrices, inclusive una multiplicación simple de dos escalares es considerada una multiplicación matricial de 1×1 . El siguiente ejemplo muestra la ventaja de utilizar operaciones matriciales sobre el uso de ciclos (**for - end**) en cualquier otro lenguaje de alto nivel.

Ejemplo 1.1

Realice la multiplicación de los vectores de datos: $x = [0.5 \ 0.3 \ 0.2 \ 0.8 \ 0.4 \ -0.2]$, $y = [0.8 \ 0.2 \ -0.6 \ -0.3 \ 0.9 \ 0.1]$. Encuentre el resultado de la multiplicación término a término de la serie de datos.

```
x = [ 0.5   0.3   0.2   0.8   0.4  -0.2 ];
y = [ 0.8   0.2  -0.6  -0.3   0.9   0.1 ];
z = x.*y
z =
    0.4000    0.0600   -0.1200   -0.2400    0.3600   -0.0200
end
```

En el resultado anterior se observa que la multiplicación se realizó en una sola instrucción, además hay que destacar que la multiplicación punto a punto de dos vectores se indica mediante el punto (.) antes del símbolo de multiplicación *.

1.2 Instrucciones for, while, if

Las declaraciones de control **for**, **while** e **if** operan como en la mayoría de los lenguajes de cómputo y permiten incorporar condicionales y ciclos secuenciales dentro de la programación en MATLAB.

1.2.1 For

Mediante la instrucción

```
for
:
end
```

es posible realizar ciclos de instrucciones N veces.

Ejemplo 1.2

Mediante el uso de la instrucción **for** se desea generar un vector de datos que contenga las potencias de números enteros desde 1 hasta 10.

```
N=10;
x = [ ];
for i = 1 : N
x = [ x, i*i ],
end
```

Ejemplo 1.3

Para generar el mismo vector del ejemplo 1.2 en orden inverso se pueden plantear las siguientes instrucciones:

```
x = [ ];
for i=N:-1:1;
x = [ x, i*i ];
end
```

1.2.2 While

Esta directiva repite un ciclo de instrucciones hasta cumplirse una cierta condición. La forma general de un ciclo utilizando **while** es la siguiente:

```
while(relación o comparación)
comandos
end
```

Las declaraciones se ejecutarán mientras la comparación sea verdadera. En el ejemplo 1.4 se muestra una aplicación de esta instrucción.

Ejemplo 1.4

Obtener el menor número entero positivo n , tal que $2^{\exp(n)} < a$ para $a = 10$. Para este caso se tienen las siguientes instrucciones:

```
n=1;
while(2n<10)
n=n+1
end
```

Este resultado calcula la potencia a la que se deberá elevar el número 2 y que da por resultado el máximo número n antes de sobrepasar el número a .

1.2.3 If

La forma general de la declaración **if** es la siguiente:

```
if comparación
comandos y declaraciones
end
```

Las declaraciones y comandos de la línea central se ejecutan únicamente si la comparación es verdadera.

1.3 Relaciones de comparación

En la tabla 1.1 se muestra una lista de los operadores de relación en MATLAB.

En una declaración de asignación se utiliza el operador “=”, mientras que el operador “==” se utiliza para comparación.

Las operaciones de relación generan por sí solas un resultado, 1 ó 0, dependiendo de si son verdaderas o falsas; por ejemplo, $3 < 5$, $3 > 5$ producen 1 y 0, respectivamente. En su uso dentro de matrices el resultado es una matriz con unos y ceros, de acuerdo con la relación entre los correspondientes elementos.

Por otro lado, las operaciones lógicas se realizan mediante los siguientes operadores: **and**, **or**, **not**.

Tabla 1.1 Operadores de relación

Operador	Nombre del operador
<	Menor que
>	Mayor que
<=	Menor o igual que
>=	Mayor o igual que
==	Igual
~=	Desigual

1.4 Operaciones básicas

1.4.1 Generación de vectores y matrices

MATLAB trabaja y realiza operaciones numéricas esencialmente con un sólo tipo de objeto: matrices con elementos complejos. En algunas situaciones matrices de 1 por 1 se interpretan como escalares y matrices de un sólo renglón o columna como vectores. En general las matrices son introducidas mediante las siguientes formas:

- Por teclado listando todos los elementos.
- Mediante funciones que generan matrices.

- Utilizando un editor de texto.
- Cargando un archivo de datos.

A continuación se genera la matriz **A**:

```
»A = [ 2 5 4; 3 4 6; 9 1 2 ]
```

o bien

```
»A = [
2 5 4
3 4 6
9 1 2];
```

Por otro lado, los siguientes son dos ejemplos de matrices complejas:

```
»A = [1 3; 6 4] + i*[5 7; 8 9]
```

```
»A = [1+5i 3+7i; 6+8i 4+9i]
```

Si se ha utilizado **i** o **j** como variables, será necesario generar una nueva unidad imaginaria, por ejemplo `ii=sqrt(-1)`.

Para generar matrices de un gran tamaño es recomendable hacerlo mediante un editor ASCII, ya que de esta forma se pueden corregir los errores fácilmente. El comando **Load name.ext** asigna a la variable **name** el contenido del archivo **name.ext**.

En la tabla 1.2 se presentan algunas funciones útiles para la construcción de matrices. Por ejemplo, **zeros(m, n)** genera una matriz de tamaño **m** por **n** de ceros, y **zeros(n)** una de tamaño **n** por **n**. Si **A** es una matriz, **zeros(size(A))** produce una matriz de ceros del mismo tamaño de **A**.

Tabla 1.2 Funciones para construir matrices

Función	Tipo de matriz
eye	Genera la matriz identidad
zeros	Genera matriz de ceros
ones	Genera matriz de unos

Continúa

Tabla 1.2 Funciones para construir matrices. Continuación

diag	Crea o extrae la diagonal de una matriz
triu	Parte triangular superior de una matriz
tril	Parte triangular inferior de una matriz
rand	Genera una matriz con datos aleatorios
hilb	Matriz hilbert
magic	Genera un cubo mágico
toeplitz	Véase help toeplitz

1.4.2 Operaciones escalares, vectoriales y matriciales

MATLAB permite la ejecución de las principales operaciones aritméticas básicas, mismas que como se ha mencionado se realizan en matrices. Una operación de escalares es tomada como una matriz de 1×1 . En la tabla 1.3 se listan las principales operaciones aritméticas.

Tabla 1.3 Operaciones aritméticas básicas

Función	Tipo de matriz
+	Suma
-	Resta
*	Multiplicación
^	Potencia
\	División por izquierda
/	División por derecha

En caso de que el tamaño de las matrices sea incompatible con la operación por realizar, se obtendrá un mensaje de error. Todas las operaciones se aplican a escalares o matrices de 1×1 , y a matrices. La operación de división de matrices se interpreta de la siguiente forma:

$x=Ab$ es la solución de $A*x=b$

$x=A/b$ es la solución de $x*A=b$

Las operaciones de suma y substracción se realizan sobre matrices de iguales dimensiones y sumando o restando término a término precediendo la operación con un

punto. Existen ciertas funciones que operan en escalares y al aplicarlas en matrices es similar a efectuar la operación sobre cada elemento de la matriz; en la tabla 1.4 se presentan las funciones sobre escalares más comunes.

Tabla 1.4 Operaciones elementales con escalares

Función	Tipo de matriz
abs	Valor absoluto de un número complejo
angle	Fase del número complejo
sqrt	Raíz cuadrada
real	Parte real de número complejo
imag	Parte imaginaria del número complejo
conj	Conjugado del número complejo
round	Redondeo de un número
fix	Truncamiento
sign	Signo de un número
rem	Residuo de división
exp	Función exponencial
log	Logaritmo natural
Log10	Logaritmo base 10

Las principales funciones trigonométricas se presentan en la tabla 1.5, éstas serán de gran utilidad para el estudio de las señales requeridas en telecomunicaciones, especialmente las señales seno y coseno que se estudiarán en el tema de la modulación.

Tabla 1.5 Funciones trigonométricas

Función	Tipo de matriz
sin	Función seno
asin	Arco seno
cos	Función coseno
tan	Función tangente
atan	Arco tangente
atan2	Arco tangente en los 4 cuadrantes
sinh	Seno hiperbólico

Continúa