

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POSTGRADO EN INGENIERÍA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**

**ELABORACIÓN DE UN LIBRO SOBRE DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL  
CONTINUOS, LINEALES E INVARIANTES EN EL TIEMPO, CON  
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS TECNOLÓGICOS**

**Autora: Ing. Alejandra Zamy Matamoros Sánchez  
Tutor: Dr. Francklin E. Rivas Echeverría**

**TRABAJO DE GRADO**

**Presentado ante la Ilustre Universidad de Los Andes  
como requisito final para optar al Grado Académico de  
Magíster Scientae en Ingeniería de Control y Automatización**

**MÉRIDA, VENEZUELA  
Noviembre, 2004**

**Licencia Creative Commons:  
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)**

*A mis padres, todos mis triunfos les pertenecen!*

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:  
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

## AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen, siempre primeros en mi ser!

A todas aquellas personas que con su compañía, confianza, solidaridad, estímulo y mano amiga dieron su voto por el logro de esta meta y...

Al profesor Francklin Rivas Echeverría, quien me brindó todo el apoyo académico que necesité para realizar todas las etapas de este proyecto.

Al Postgrado en Ingeniería de Control y Automatización de la Universidad de Los Andes, por abrirme sus puertas.

A ustedes, por siempre GRACIAS!

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

## RESUMEN

### ELABORACIÓN DE UN LIBRO SOBRE DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL CONTINUOS, LINEALES E INVARIANTES EN EL TIEMPO, CON APROVECHAMIENTO DE RECURSOS TECNOLÓGICOS

por:

Alejandra Zmary Matamoros Sánchez

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

El diseño de sistemas de control ha sido y sigue siendo objetivo fundamental del proceso evolutivo del estudio del control automático, iniciado en 1868. En ese transcurrir, se han creado bases teóricas orientadas hacia la aplicación de estrategias que conduzcan a la utilización de las técnicas de control más apropiadas según las condiciones del estudio y los propósitos del diseño respecto al sistema. Hasta el momento, diversos autores han escrito las teorías que se han adoptado como básicas para el diseño de sistemas de control continuos, lineales e invariantes en el tiempo y desarrollos asociados a ellas; hallándose escritos técnicos en diversos idiomas, organización de contenidos y profundidad teórica, en su mayoría, en formato impreso. Se presenta un proyecto orientado al desarrollo de contenidos en el área de Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

en el Tiempo, cuyo propósito principal es ofrecer un apoyo accesible económica y físicamente, en idioma castellano, para la formación de estudiantes y profesionales que se inicien en el área de diseño de sistemas de control, bajo una estructura que clasifica los métodos según la naturaleza de la técnica de estudio en la cual se fundamentan y, cuya aplicación directa es reflejada por medio de ejemplos expuestos dentro del contexto, en general, sin ninguna naturaleza física asociada. Tales ejemplos, han sido convertidos electrónicamente a aplicaciones de simulación con el propósito de soportar la sesión de lectura y adquisición de conocimientos técnicos. La presentación de los contenidos se realiza en dos versiones: impresa y electrónica, consideradas como alternativas independientes y cuya elección dependerá de la accesibilidad y conveniencia del lector. La versión electrónica es presentada con características hipermedia que faciliten la navegación dentro del libro y el acceso a contenidos y recursos externos.

**PALABRAS CLAVE:** Diseño de Sistemas de Control, Ingeniería de Control, Libro, e-book, Matlab.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
---------------------	----------

### **CAPÍTULO 1**

<b>EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL CONTINUOS, LINEALES E INVARIANTES EN EL TIEMPO</b>	<b>7</b>
--	----------

1.1 Historia del Control Automático	7
-------------------------------------	---

1.2 El Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo y su Importancia en la Ingeniería	16
---	----

1.3 Temas sobre Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo para Estudios de Ingeniería de Sistemas, Opción Control y Automatización	21
---	----

1.4 Antecedentes	22
------------------	----

1.4.1 Antecedentes Internos	23
-----------------------------	----

1.4.2 Antecedentes Externos	24
-----------------------------	----

### **CAPÍTULO 2**

<b>LA ENSEÑANZA DEL DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL CONTINUOS, LINEALES E INVARIANTES EN EL TIEMPO</b>	<b>30</b>
--	-----------

2.1 Proceso de Aprendizaje del Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo	31
---	----

2.2 Respecto a los Conocimientos Previos	34
--	----

2.3 Recursos físicos para la Enseñanza-Aprendizaje del Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo	36
---	----

2.4 El Libro como Medio de Comunicación y su Evolución	38
--	----

2.4.1 Los libros electrónicos <i>-e-books</i>	41
---	----

2.4.2 Del texto al hipertexto; del hipertexto al hipermedia: El Valor Agregado de los <i>e-books</i>	44
--	----

2.4.3 El e-book y la versión tradicional del libro	52
--	----

2.5 La Educación Presencial y la Educación a Distancia	56
--	----

### **CAPÍTULO 3**

#### **UN RECURSO PARA EL ESTUDIO DEL DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL CONTINUOS, LINEALES E INVARIANTES EN EL TIEMPO \_\_\_\_\_ 61**

3.1	Metodología _____	61
3.1.1	Fase I. Desarrollo de Contenidos _____	62
3.1.2	Fase II. Elaboración de Aplicaciones de Simulación de las Estrategias de Diseño _____	69
3.1.3	Fase III. Elaboración de las Presentaciones del Libro _____	71
3.2	Resultados del Proyecto _____	74
3.2.1	El Contenido _____	75
3.2.2	Aplicaciones de Simulación de las Estrategias de Diseño _____	80
3.2.3	Modelos de Presentación _____	84
3.3	Conocimientos Previos para el Aprovechamiento de los Recursos generados en el Proyecto _____	87
3.4	Actuación del producto resultante del proyecto dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje de las estrategias de diseño _____	88

### **CAPÍTULO 4**

#### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES \_\_\_\_\_ 92**

4.1	Conclusiones _____	92
4.2	Recomendaciones _____	95

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS \_\_\_\_\_ 97**

#### **ANEXOS \_\_\_\_\_ 101**

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Materias del Pensum de Ingeniería de Sistemas Asociadas al Área _____	22
Figura 1. Proceso de Aprendizaje de las Estrategias de Diseño _____	31
Figura 2. Conocimientos Previos _____	35
Figura 3. Recursos para la Enseñanza-Aprendizaje del Diseño de Sistemas de Control ____	37
Figura 4. Recorrido Lineal _____	47
Figura 5. Recorrido Jerárquico _____	48
Figura 6. Recorrido No Lineal _____	50
Figura 7. Fase I del Proyecto _____	63
Figura 10. Particularización dentro del Proyecto General _____	67
Figura 9. Fase II del Proyecto _____	69
Figura 10. Fase III del Proyecto _____	72
Tabla 2. Contenido del Libro _____	76
Figura 11. Organización interna del CD-ROM _____	83
Figura 12. Modelo de relaciones del sistema de hipervínculos _____	86
Figura 13. Conocimientos Previos para el Aprovechamiento de los Recursos _____	88
Figura 14. Etapas de influencia _____	89

## INTRODUCCIÓN

El diseño, como concepto, es una acción inteligente que se realiza sobre un área en particular. Como acción inteligente, producto del pensar humano, requiere de técnicas que conduzcan a alcanzar un fin deseado. En el caso de los sistemas de control, su implementación es comúnmente desplazada por las acciones que son consecuencia de la experiencia o la intuición, tanto en la vida cotidiana como a nivel de procesos industriales.

Las estrategias basadas en técnicas y métodos para el diseño de sistemas de control ofrecen ventajas particulares, fundamentalmente en la confiabilidad, seguridad y óptimos resultados, sin necesidad de poner en riesgo económico ni físico, el sistema sobre el cual se aplica.

Actualmente, el problema de Diseño de Sistemas de Control se encuentra muy presente en los cursos avanzados de muchas carreras profesionales, especialmente en las ramas de la Ingeniería, aún de ser un problema que ha existido y ha sido abordado a lo largo del tiempo de diversas maneras.

Se ha contado, con una amplia variedad de textos orientados a respaldar el estudio del Análisis y Diseño de Sistemas de Control, la gran mayoría con contenidos entrelazados que mantienen el problema de diseño o bien, muy inmerso dentro de la teoría de análisis de

sistemas de control o, presentado como un conjunto de técnicas que en ocasiones no conducen a que el lector conciba la solución del diseño como una estrategia sino como una norma. Muchas veces, el lenguaje suele ser muy complejo, orientándose a cursos muy avanzados. Además, se dispone de este tipo de textos en una variedad de idiomas que, en general, no están al alcance de muchos lectores de habla hispana que no poseen dominio instrumental sobre otro idioma. Otras veces, la dificultad no es el idioma, ni el contenido, sino la accesibilidad económica, pues suelen ser desarrollos intelectuales de tal profundidad y cotización a nivel mundial que, para el estudiante universitario local, por ejemplo, significa una adquisición bastante difícil o casi imposible.

Desde hace algunos años, la tecnología y, específicamente el uso de computadores en todas sus variedades (de oficina, portátil, de bolsillo y dispositivos especiales) para almacenar y manejar información, le están dando una fuerte importancia a los datos electrónicos. Tal es el caso de los ya empleados hoy en día, libros electrónicos o *e-books*, los cuales se presentan básicamente como la digitalización de la información que comúnmente contiene un libro impreso de cualquier área. Sin embargo, las bondades de los avances tecnológicos demuestran que este tipo de presentación es capaz de ofrecer grandes ventajas sobre la tradicional versión impresa de un libro, pese a que esta última aún sigue siendo de mayor uso por su portabilidad y factibilidad para quienes carecen de dichos equipos electrónicos, además de su fama en el mercado.

Entre sus ventajas, además del ahorro económico y de espacio físico, los *e-books* presentan características muy útiles y, pueden considerarse de gran importancia al momento de pretender transmitir conocimientos técnicos y facilitar la lectura de un material cuyo

contenido está organizado de una manera multidimensional. Ofrecen la posibilidad de ser concebidos como un sistema hipermedia, lo cual, hace del libro, además de un conjunto de contenidos técnicos plasmados por medio de textos, ecuaciones e imágenes que caracterizan a la versión impresa de un libro como el que se desarrolla en este proyecto, un conjunto estructurado de referencias presentado al lector como enlaces de navegación. Estos últimos, le permiten, efectuar un recorrido no lineal y automático del libro entre los puntos de referencia al contenido interno, el llamado de animaciones, sonido y video, así como la ejecución de programas de computación que se consideren de pertinencia en una sección dada del libro y el ingreso directo a páginas *Web* referentes al tema (si se cuenta con conexión a Internet). El uso de esta tecnología en libros especializados como los orientados al estudio de Sistemas de Control, por los momentos, es muy vago, a pesar de ser una herramienta bastante poderosa para contribuir en la expresión de conocimientos teóricos y prácticos en el área. En general, se sigue concibiendo a la versión electrónica de un libro técnico como la digitalización de la información, simplemente.

El presente proyecto se trata de una investigación documental, basada en una interpretación de conocimientos propios y bibliográficos, la cual ha sido canalizada hacia el desarrollo y presentación original del contenido estructurado de un libro sobre Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo, tanto en la tradicional versión impresa como en versión electrónica, aprovechando en esta última, ciertas ventajas tecnológicas de actualidad que se consideran útiles a la ampliación de las posibilidades de expresión del conocimiento de la materia dándole ello, además, características de investigación aplicada. Se definió para ello, un conjunto de objetivos específicos planteados a continuación.

- a) Desarrollar el contenido de un libro sobre Diseño de Sistemas de Control Lineales, Continuos e Invariantes en el Tiempo, para sistemas de una entrada y una salida, SISO (*Single Input –Single Output*), en idioma castellano, concebido como un conjunto de estrategias con bases teóricas específicas y derivadas de conocimientos analíticos, estructurado según las técnicas clásicas y modernas, que han sucedido al estudio de los sistemas de control.
- b) Constituir uno de los elementos fundamentales del proyecto general sobre el desarrollo de contenidos de Análisis y Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el tiempo, presentados de una manera organizada pero menos unificada que en los libros comunes en el área.
- c) Realizar dos versiones independientes para la presentación de los contenidos: como libro de texto impreso y como libro electrónico.
- d) Asociar características hipermedia a la versión electrónica del libro, que ofrezcan al lector la recuperación de la información de una manera no lineal y automática a través de los contenidos y, que le faciliten el uso de herramientas externas al documento digital como lo son: el enlace a páginas Web relacionadas con los temas y la ejecución de programas interactivos que le permitan complementar el proceso de comprensión de las estrategias y métodos propuestos a través de los desarrollos teórico-prácticos constituidos en una presentación de información estática.

- e) Desarrollar ejemplos particulares donde se apliquen cada una de las estrategias de diseño, haciendo uso del lenguaje de computación técnica, *Matlab*®.
- f) Ofrecer al lector, independientemente de la disposición de una herramienta de cálculo computacional, la interacción con los diversos ejemplos desarrollados en el libro para la aplicación de estrategias, de manera que pueda complementar los conocimientos adquiridos por medio de los desarrollos propuestos en la sección correspondiente.
- g) Elaborar el libro en un formato en el que las anotaciones y marcas de páginas, requeridas por el lector, no signifiquen el deterioro del mismo.
- h) Hacer una contribución al *e-learning* o estudios a distancia, no sólo como libro de su área, sino como modelo para otras asignaturas de las ramas de Ingeniería.

El proyecto ha sido desarrollado con miras a alcanzar cada uno de los objetivos propuestos, siguiendo para ello estrategias de investigación científica y tecnológica. La presentación del proyecto se efectúa en cinco capítulos:

- Capítulo 1: “El Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo”, donde se presenta el proceso evolutivo del control automático, se hace una introducción teórica del área particular en la cual se enfoca el proyecto, se resalta su importancia dentro de la Ingeniería, se hace una presentación de

contenidos asociados al área dentro del p nsu m de la carrera de Ingeniería de Sistemas, opción Control y Automatización, de la Universidad de Los Andes de Venezuela.

- Capítulo 2: “La Enseñanza del Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo”, donde se analizan los aspectos importantes del proceso de enseñanza-aprendizaje de contenidos asociados a la materia y sus recursos, se presentan los antecedentes locales y externos que son contribución de dicho proceso.
- Capítulo 3: “Un Recurso para el Estudio del Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo”, en el cual se hace la presentación formal del proyecto: la estructura del libro desarrollado, tanto en su versión impresa como en la electrónica; la metodología de diseño empleada para ello, las herramientas empleadas para complementar los contenidos y, la cadena de transformación del conocimiento en un producto final, accesible a lectores y estudiantes interesados en el  rea.
- Capítulo 4: Conclusiones y Recomendaciones del proyecto.

# CAPÍTULO 1

## EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL CONTINUOS, LINEALES E INVARIANTES EN EL TIEMPO

El presente capítulo describe aspectos importantes del área para la cual se desarrolla el proyecto, como lo son: la historia del control automático, la definición propia del área, su concepción dentro de los estudios actuales de Ingeniería de Sistemas, opción Control y Automatización de la Universidad de Los Andes –Venezuela y, algunos aportes que se han realizado hasta el momento para dar soporte al proceso de enseñanza-aprendizaje de esta área.

### 1.1 Historia del Control Automático

La Real Academia Española (RAE) define a la historia como el “conjunto de los acontecimientos ocurridos a alguien a lo largo de su vida o en un período de ella” (RAE, 2001). Si se considera ese alguien como el estudio del control automático, el cual se ha convertido desde sus orígenes en un área de gran interés e importancia y en un incentivo para la investigación, debe hacerse mención a los acontecimientos que han sucedido el

Licencia Creative Commons.

proceso evolutivo de ésta, el cual ha conducido a la formación de áreas de estudio más particulares, dada la expansión de los estudios asociados a ella como una disciplina. Dentro de éstas se encuentra el estudio de los Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo, donde son de especial importancia las técnicas de diseño que llevan a la generación de estrategias que hagan de un sistema particular, un Sistema de Control.

Braslavsky, J. (2004), expresa certeramente en sus notas del curso de Control Automático I que “El control por realimentación tiene una larga historia que comenzó con el deseo primordial de los seres humanos de dominar los materiales y las fuerzas de la naturaleza en su provecho.” Lewis (1992), en su libro “*Applied Optimal Control and Estimation*”, ofrece una breve historia del Control Automático. En él, cita la clasificación de la evolución de esta gran disciplina en tres períodos, según Friedland (1986):

- Período Primitivo: desde 1868 hasta principios de los años 1900.
- Período Clásico: desde inicios de 1900 hasta 1960
- Período Moderno: desde 1960 hasta el presente.

Presenta los acontecimientos más importantes que se han sucedido desde entonces, donde da principal importancia al control por realimentación como un área de Ingeniería. Concibe que su progreso ha ido de la mano de la solución de los problemas prácticos que han necesitado ser resueltos durante cualquier fase de la historia humana. Dentro de estos acontecimientos, se describen:

- La primera necesidad en el uso del sistema de control por realimentación en la antigüedad, fue la necesidad de la precisión en la determinación del tiempo. Los griegos Ktesibios inventaron un regulador flotante para relojes de agua, alrededor del año -270. Luego, en -250, se utilizó el regulador flotante para mantener constante el nivel de aceite de una lámpara. Entre los años 800 y 1200, varios ingenieros árabes utilizaron estos reguladores flotantes en otras aplicaciones. Utilizaron el principio de control “*on/off*”, el cual resurgió en los años 1950.

En el siglo XIV, la invención del reloj mecánico hizo del sistema de control por realimentación empleado en el reloj de agua, un sistema obsoleto; sin embargo, este nuevo, no era un sistema de control por realimentación. El regulador flotante fue empleado nuevamente en la Revolución Industrial.

- La Revolución Industrial europea generó la introducción de las primeras máquinas autodirigidas, marcada por la invención de los molinos, hornos, calderas y los motores a vapor, dispositivos éstos que no podían ser regulados adecuadamente a mano, generando entonces, requerimientos de sistemas de control automático. Se inventó una variedad de dispositivos de control, entre ellos, los reguladores flotantes, los reguladores de temperatura, los reguladores de presión y los controles de velocidad. Las raíces de la Revolución Industrial datan desde antes de los años 1600, con el desarrollo de los molinos y los hornos; éstos, fueron evolucionando con las invenciones de los motores a vapor, pero fue hasta la invención de los motores mejorados y los sistemas de control automático que los regulaban, que

realmente se dio inicio a la Revolución Industrial, durante el tercer cuarto del siglo XVIII.

Durante la Revolución Industrial, el diseño de sistemas de control por realimentación fue resultado de “ensayo y error”, orientado por una gran intuición ingenieril. “Fue un arte, más que una ciencia”, Lewis (1992).

- A mediados del siglo XIX, nace la Teoría de Control Matemático. Se comenzó el uso de las matemáticas en el análisis de estabilidad de los sistemas de control por realimentación. Se inició entonces el período “prehistórico” de la teoría de control, pues se comenzaron a emplear las matemáticas como el lenguaje formal de la teoría de control automático.
- En 1840, G.B. Airy, un Astrónomo Británico de Greenwich, descubrió con el desarrollo de un sistema de control de velocidad para regular la orientación de un telescopio, compensándolo respecto a la rotación de la tierra, de manera tal que le permitiera el estudio de una estrella específica durante un largo tiempo, que un diseño inapropiado del lazo de realimentación de un sistema de control, genera oscilaciones indeseables al sistema. Así, Airy fue el primero que discutió el tema de inestabilidad y, fue el primero en emplear las ecuaciones diferenciales para explicar sus análisis (citado por Airy (1840), en "*Memoirs of the Royal Astronomical Society*", según comenta Lewis (1992)). A partir de este momento, se incrementa el desarrollo de las ecuaciones diferenciales, cuyos estudios iniciales datan del año 1642. J.L. Lagrange (1736-1813) y W.R. Hamilton (1805-1865), fueron quienes

propusieron el uso de las ecuaciones diferenciales en el análisis del movimiento de sistemas dinámicos.

- J.C. Maxwell, E.J. Routh, I.I. Vishnegradsky, A.B. Stodola, A. Hurwitz, A.M. Lyapunov y O. Heaviside, cada uno de ellos con sus trabajos particulares en sus épocas respectivas, comenzando por Maxwell según él menciona en sus escritos de 1868 (Lewis, 1992), se preocuparon por el estudio de la teoría de estabilidad, apoyándose en las ecuaciones diferenciales. Se dice que el trabajo de Maxwell estableció con firmeza la teoría de los sistemas de control. Se sucedieron estudios y hallazgos como el de la ecuación característica, el efecto de los parámetros del sistema sobre la estabilidad, la definición de la estabilidad según las raíces de la ecuación característica, la incorporación de las características de los elementos actuadores para efectuar los análisis, el estudio de estabilidad sobre ecuaciones diferenciales lineales y no lineales y, el comportamiento transitorio de los sistemas, introduciéndose una noción equivalente a lo que expresa la Función de Transferencia.
- La concepción de la teoría de sistemas desde el punto de vista del conocimiento humano, es ubicada dentro del estudio de los sistemas. De ahí, que se considere este último como un concepto fundamental dentro del diseño de sistemas de control, el cual ha sido adoptado con el transcurrir del tiempo por muchos investigadores pertenecientes a distintas áreas de estudio, como A. Smith investigador de economía (1776), C.R. Darwin con sus estudios biológicos sobre especies (1859) y otros investigadores de ramas de gran impacto sobre la conciencia humana como lo son la

política y la sociología. Las bases sobre el concepto de sistemas en los distintos ámbitos de estudio, permitieron la evolución de la teoría de control.

- El desarrollo del teléfono y las comunicaciones de masas, incluyendo los medios rápidos de transporte, cuya tensión generada sobre el hombre y la sociedad, dio lugar a la Primera y Segunda Guerra Mundial, fueron acontecimientos también de gran importancia para el desarrollo de la teoría de control, período definido entre 1910 y 1945, durante el cual los sistemas de control por realimentación, se convirtieron en un medio de supervivencia.
- Durante las décadas de los años 1920 y 1930, los Laboratorios de Teléfonos Bell, emplearon los enfoques desarrollados por P.-S. de Laplace (1749-1827), J. Fourier (1768-1830), A. Cauchy (1789-1857) y otros, sobre el dominio frecuencial, para la exploración y uso sobre los sistemas de comunicación.

La necesidad de efectuar amplificaciones periódicas de señales de voz en líneas telefónicas para desarrollar sistemas de comunicación de masas para largas distancias, reduciendo la distorsión de las señales por amplificaciones de las señales de ruido, hizo que H.S. Black demostrara la utilidad de la realimentación negativa, en 1927. El problema de diseño fue, introducir cambios de fase en el sistema, a las frecuencias correctas. H. Nyquist, en 1932, desarrolló la Teoría de Regeneración para el diseño de amplificadores estables; derivó el “criterio de estabilidad de Nyquist”, basado en el diagrama polar de una función compleja. Luego, en 1928, Bode utilizó los diagramas de respuesta en frecuencia de la magnitud y fase de una

función compleja, e investigó la estabilidad de lazo cerrado utilizando las nociones de margen de fase y ganancia.

- El uso de los controladores de tres términos: el control Proporcional-Integral-Derivativo, PID, fue introducido por N. Minorsky (1922), según Lewis (1992), al aplicarlo al control de dirección de barcos. Consideró los efectos no lineales en el sistema de lazo cerrado.
- C. Hall, en 1941, demostró la importancia de las técnicas de diseño de sistemas de control basadas en el dominio de la frecuencia, por medio del diseño de un radar aerotransportado, basándose en la tecnología sobre el dominio de la frecuencia de los Laboratorios Bell.
- En 1947, N. B. Nichols desarrolló su Diagrama de Nichols para el diseño de sistemas realimentados.
- W.R. Evans, en su trabajo de 1948, presentó su técnica del lugar de las raíces, la cual proporcionó una manera directa para determinar la ubicación de los polos de lazo cerrado en el plano  $s$ . Durante la década de 1950, muchos trabajos de control se enfocaron en este plano y obtuvieron características deseadas de lazo cerrado ante entradas escalón.
- Las técnicas estocásticas también fueron introducidas a la teoría de control y comunicación, durante los años de las décadas de 1940 y 1950.

- Luego de la Segunda Guerra Mundial, se dio origen al período clásico de la teoría de control. Se caracterizó por la aparición de los primeros libros de texto: MacColl 1945; Lauer, Lesnick, y Matdon 1947; Brown y Campbell 1948; Chestnut y Mayer 1951; Truxall 1955 (según referencia Lewis (1992)) y por herramientas simples de diseño que proporcionaron una gran intuición y soluciones garantizadas para el diseño de problemas. Tales herramientas fueron aplicadas utilizando cálculos manuales o a lo sumo, utilizando reglas deslizantes, junto a técnicas gráficas.
- Con el advenimiento de la era espacial, el diseño de sistemas de control en los Estados Unidos, regresó al enfoque del estudio en el dominio del tiempo, basado en ecuaciones diferenciales, empleadas a finales del siglo XIX. Este retorno al estudio de los sistemas y diseño de controles basados en el dominio del tiempo, se debió fundamentalmente a la limitación de aplicar las técnicas frecuenciales expresamente a sistemas lineales o versiones linealizadas, e invariantes en el tiempo. Se buscaba lograr diseños de sistemas de control para sistemas no lineales, multivariables, con características óptimas y robustas. A partir de esta necesidad, se han venido sucediendo muchas investigaciones y desarrollos basados en modelos escritos en términos de ecuaciones diferenciales.

El diseño de control basado en las técnicas modernas requiere la solución de complicadas matrices de ecuaciones no lineales, en muchos casos; a diferencia de las técnicas de diseño clásico, que podían ser empleadas utilizando herramientas gráficas hechas a mano. Por fortuna para el diseño moderno, en 1960, surgieron los

principales desarrollos en el área de la computación digital, lo cual significó desde entonces un alivio para las limitaciones en la aplicación del control moderno.

- Se comenzó el empleo de las computadoras digitales para la determinación de leyes de control basadas en la teoría moderna y, para la implementación de leyes de control moderno y de esquemas de filtros en sistemas actuales, que generalmente son variantes en el tiempo. En 1969, con el advenimiento del microprocesador, se desarrolló el área de los sistemas de control implementados sobre computadores digitales, formulándose los sistemas de control en tiempo discreto, cuyo estudio comenzó a crecer desde entonces. Se ha enfocado al control de plantas químicas, refinerías petroleras: al control de procesos industriales en general, lográndose diversos sistemas controlados por computadora, los cuales aún siguen en evolución, conforme avanzan los desarrollos tecnológicos.
- La Teoría de Control Moderna se estableció por sí misma como un paradigma en el diseño de sistemas de control en los Estados Unidos, con la publicación de los primeros libros sobre ésta, en los años 1960. A partir de ello, se han llevado a cabo intensas actividades de investigación e implementación.
- La Teoría de Control Moderna, sin embargo, presenta ciertas debilidades, sobre todo respecto a la dependencia de la solución de los sistemas de ecuaciones en los cuales se enfoca el diseño, lo que hace que la intuición ingenieril no sea desarrollada respecto al problema; contrario a la Teoría de Control Clásica, cuyas técnicas se

apoyan en la intuición del ingeniero y la realimenta a través de sus estudios y aplicación.

Por otra parte, la Teoría de Control Moderna, presenta otras debilidades, respecto al rechazo de perturbaciones, las dinámicas no modeladas y la medición de ruidos. La robustez es construida en base a nociones de margen de fase y de ganancia, esto es, bajo el enfoque del dominio frecuencial. El uso de los diagramas del dominio frecuencial, pueden ser incorporados en diseños de la teoría moderna, tal como lo propusieron M. Athans y otros, para el control de aviones y de procesos, resultando en una nueva teoría de control que mezcla las bondades de las técnicas del control clásico y el control moderno.

Las bases teóricas surgidas a lo largo de los años, han sido entonces complementadas con nuevas experiencias, nuevas suposiciones y nuevos alcances de índole, generalmente más compleja. Como es de esperarse, muchos de los avances que se han efectuado, han sido adoptados para la constitución de tales bases teóricas, fundamentales para la apertura hacia nuevos estudios, dada su comprobación a lo largo de la historia de los sistemas de control.

### **1.2 El Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo y su Importancia en la Ingeniería**

El diseño de sistemas de control en general, está apoyado en las leyes que gobiernan al sistema sobre el cual se aplica. Son muchos y, de diversa naturaleza, los sistemas sobre los

cuales se pueden establecer diseños de control; según los objetivos que se desean alcanzar, para cada uno de ellos, será necesaria la generación de efectos específicos. Para lograr tales efectos, es necesario realizar una intervención sobre el sistema por medio de la incorporación de elementos que permitan definir un esquema de control capaz de hacer que el nuevo sistema, conformado por el sistema original y los elementos de control, revele el comportamiento deseado. El diseño de estos elementos, percibido desde el punto de vista de la Ingeniería de Control, se fundamenta en técnicas resultantes de un proceso analítico, tanto del comportamiento original del sistema, como de las especificaciones del diseño y de las herramientas básicas del diseño de sistemas de control, siendo este proceso una estrategia para la manipulación del sistema particular. Las condiciones actuales del sistema y las especificaciones son las que definen las pautas de selección o establecimiento de un esquema de control apropiado. Los esquemas de control, aún los más complejos, están compuestos por elementos cuyas características básicas son las mismas que las de los elementos incorporados a los esquemas de control más simples, como lo es el de realimentación negativa con adición de un elemento de compensación o control en serie al sistema, por ejemplo. Así, se considera que los esquemas de control más sencillos son la base del estudio de diseños de sistemas de control más complejos o más particulares para satisfacer las necesidades del sistema original.

Un sistema es caracterizado principalmente por: el tipo de modelo o tipo de señal que se dispone del mismo, respecto al tiempo –continuo o discreto; comportamiento en el tiempo – lineal o no-lineal y, su variabilidad en el tiempo según los parámetros que intervienen en el proceso –variante o invariante en el tiempo. Para efectos de presentación del proyecto, se tratará sobre sistemas de control continuos, lineales e invariantes en el tiempo.

**Continuos:**

Algunos sistemas operan continuamente en el tiempo y el diseño de un sistema de control que los conduzca a alcanzar las especificaciones deseadas, también es abordado con la misma característica. Otros, son tratados con características discretas, haciendo uso de los sistemas digitales que aligeran la aplicación de operaciones complejas o bien, son originalmente de naturaleza discreta (aquellos en los que sus variables cambian de manera discreta). Para cada uno de estos casos, las estrategias de diseño son distintas, pero siempre fundamentadas en las mismas bases. La manera más generalizada para los sistemas físicos es la de los sistemas continuos en el tiempo. A un sistema continuo en el tiempo, le son asociados los comportamientos analógicos.

**Lineales:**

El comportamiento de los sistemas de cualquier naturaleza es, por lo general, de carácter no lineal; una mayoría de ellos, son sistemas de orden superior. El diseño de sistemas de control para sistemas no lineales implica desarrollos matemáticos más complejos que para sistemas lineales, más aún, cuando el orden del sistema se hace cada vez mayor. El diseño para sistemas lineales, por su parte, puede ser aplicado sobre sistemas de estas complejas naturalezas, cuyo modelo inicial ha de someterse a un proceso de linealización, lo cual implica el replanteamiento del modelo del sistema, atendiendo a procedimientos de aproximación del mismo, según las condiciones de operación para las cuales se va a diseñar. Entonces, el uso de alternativas hace que la importancia del diseño de sistemas de control lineales sea exaltada aún para este tipo de sistemas, lo cual hace de las estrategias que se emplean en esta área, las de mayor disposición para el Ingeniero de Control, sobre todo para sistemas donde intervienen muchas variables. Sin embargo, en casos más

rigurosos de diseño, se hace necesario ahondar dentro del área del Diseño de Sistemas de Control No-Lineales.

### **Invariantes en el Tiempo:**

Al considerarse que las condiciones de operación de un sistema, son las mismas en el transcurrir del tiempo, pese al deterioro que puede sufrir el sistema debido a la influencia de agentes externos o internos, sea de la naturaleza que sea el sistema, se está tratando con sistemas invariantes en el tiempo, pues los parámetros que definen su modelo matemático, permanecen constantes en el tiempo. Para iniciarse en el campo del diseño de sistemas de control, así como en el inicio del aprendizaje de cualquier área nueva, es necesario crear bases sólidas que permitan extenderse hacia estructuras complejas. Considerar un sistema invariante en el tiempo, es considerar que el sistema está en su estado más simple, donde no existirán cambios internos del mismo que soliciten la aplicación de estrategias de control más especializadas, que atiendan los cambios, muchas veces despreciados.

Braslavsky, J. (2004), referencia a Åström sobre algunas citas de Wilbur Wright (1901), respecto al impacto que ha tenido la Ingeniería de Control en la sociedad:

“Sabemos construir aeroplanos.”

“Sabemos construir motores.”

“El no saber cómo **equilibrar** y **maniobrar** aún desafía a los estudiantes del problema de vuelo.”

“Cuando esta única dificultad sea resuelta, la era del vuelo habrá arribado, ya que todas las demás dificultades son de menor importancia.”

“¡Los hermanos Wright resolvieron cómo **equilibrar y maniobrar** y volaron el *Kitty Hawk* el 17 de diciembre de 1903!”

Asimilando el mensaje que se pretende transmitir por medio de estas citas: la importancia de la aplicación del diseño de sistemas de control para un sistema de cualquier índole y, concretadas las tres características principales que revelan el tipo de un sistema, es posible establecer la siguiente definición propia:

Puede expresarse el Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo, como la modificación del comportamiento de un sistema lineal y cuyas condiciones se preservan en el tiempo, para lograr un desempeño deseado, el cual revela continuidad por medio de su modelo y/o señales de respuesta.

En Ingeniería, particularmente, el diseño de sistemas de control ocupa un rol muy importante, dedicándose al control de sistemas mecánicos, eléctricos y químicos, especialmente. Los sistemas continuos, lineales e invariantes en el tiempo, constituyen el grupo de sistemas cuyo diseño de control resulta más simple, por la naturaleza de los desarrollos matemáticos que lo fundamentan; sin embargo, la complejidad podrá incrementar el orden del modelo del sistema. Por su simplicidad respecto a otro tipo de sistemas, no pierde importancia dentro del área, por el contrario, constituyen el área de estudio principal, por el hecho de permitir la creación de bases para otros desarrollos en el área y por ser empleados en muchas ocasiones como formas genéricas capaces de resolver problemas de control de sistemas más complejos, siempre y cuando sea posible.

Generalmente se hace difícil la modificación interna del sistema; por tanto, se hace necesario el diseño de esquemas que le asocien al sistema original, elementos capaces de efectuar las modificaciones requeridas. Estos elementos son los llamados compensadores y controladores de sistemas, cuyas características han de ser definidas por estrategias de diseño que irán de la mano de la intuición del ingeniero en la mayoría de los casos. Las estrategias de diseño deben abordarse por medio de la aplicación de metodologías específicas, según el tipo de técnicas que se requieran y deseen emplear.

### **1.3 Temas sobre Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo para Estudios de Ingeniería de Sistemas, Opción Control y Automatización**

La definición de los contenidos del libro que resulta de este proyecto, estuvo guiada inicialmente por el contenido programático de las asignaturas afines que se estudian actualmente en la carrera de Ingeniería de Sistemas, opción Control y Automatización de la Universidad de Los Andes –Venezuela, la cual define la población más inmediata a la cual se destina este proyecto.

Los temas asociados al área de Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo, están ubicados en asignaturas del sexto y séptimo semestre de la carrera, pertenecientes al ciclo formativo del estudiante. En la Tabla 1, que se muestra a continuación, se presentan dichos temas, haciendo mención a su ubicación dentro del programa de cada materia a la cual pertenecen. La información fue tomada del Pénsum de estudios vigente desde el 30 de junio de 2003.

Tabla 1. Materias del Pensum de Ingeniería de Sistemas Asociadas al Área

Materia	Contenido asociado al área del proyecto
CONTROL 1	<p><b>Tema 6:</b> Diseño de Controladores en el Espacio de Estado.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realimentación del vector de estado:               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Características, condición necesaria y suficiente</li> <li>b. Cálculo del controlador</li> <li>c. Estabilizabilidad en términos del subespacio incontrolable</li> </ol> </li> <li>2. Observadores de estado, Observador de Luenberger:               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Características, condición necesaria y suficiente</li> <li>b. Cálculo del observador</li> <li>c. Detectabilidad en términos del subespacio inobservable</li> <li>d. El principio de separación</li> </ol> </li> </ol>
CONTROL 2	<p><b>UNIDAD IV:</b> Diseño de Sistemas Lineales de Control. Especificaciones de Diseño</p> <p><b>Tema 1:</b> Criterios de desempeño (exactitud en estado estacionario, régimen transitorio, etc)</p> <p><b>Tema 2:</b> Ruido y perturbaciones</p> <p><b>Tema 3:</b> Compensadores propios, planteamiento correcto (<i>well posedness</i>)</p> <p><b>Tema 4:</b> Efecto de las saturaciones</p> <p><b>Tema 5:</b> Dos enfoques de diseño: entrante (<i>inward</i>) y saliente (<i>outward</i>)</p>
	<p><b>Unidad V:</b> Diseño de Controladores Clásicos por el Enfoque Saliente (<i>outward</i>)</p> <p><b>Tema 1:</b> Controladores Adelanto-Atraso. Características.</p> <p><b>Tema 2:</b> Cálculo de Adelanto-Atraso, en todas sus configuraciones.</p> <p><b>Tema 3:</b> Controladores PID. Características.</p> <p><b>Tema 4:</b> Cálculo de controladores PID por diferentes métodos (lugar de las raíces, Ziegler-Nichols, Nyquist, ubicación de polos, otros métodos analíticos).</p> <p><b>Tema 5:</b> Predictor de Smith, sistema anti-saturación de la acción integral (<i>windup</i>).</p> <p><b>Tema 6:</b> Incertidumbre de la planta y el problema del control robusto.</p>
	<p><b>Unidad VI:</b> <i>Diseño de Controladores por el Enfoque Entrante (inward)</i></p> <p><b>Tema 1:</b> Escogencia de la función de transferencia total en lazo cerrado.</p> <p><b>Tema 2:</b> Implementación usando el método algebraico lineal.</p>

#### 1.4 Antecedentes

Los antecedentes asociados al proyecto los constituyen, en su mayoría, las referencias bibliográficas empleadas para el desarrollo de los contenidos de los libros impreso y electrónico presentados acá como resultado final. Sin embargo, se hace mención a algunos

proyectos relacionados con el uso de la tecnología en el proceso de enseñanza-aprendizaje del área de sistemas de control.

#### 1.4.1 Antecedentes Internos

- Algunos desarrollos resultados del trabajo intelectual de docentes del departamento de Ingeniería de Control de Ingeniería de Sistemas, de la Universidad de Los Andes – Venezuela, que contribuyen a la enseñanza-aprendizaje de las bases teóricas de los sistemas de control. Entre ellos se destacan principalmente los Cuadernos de Control publicados por el Postgrado en Ingeniería de Control y Automatización, preparados por docentes del departamento como un importante reflejo de su interés por atender las necesidades de los estudiantes, en cuanto a material de apoyo se refiere. Se pueden mencionar, dentro de un catálogo mayor:

- Dulhoste, Jean Claude: “Componentes de Sistemas de Control”, 1993.
- Ríos, Addison: “Análisis y Diseño de Sistemas de Control Asistido por Computadores”, 1999.
- Rivas, Francklin y Ríos, Addison: “Control de Procesos por Computadoras I Parte”, 1997.
- Rivas, Francklin y Ríos, Addison: “Control de Procesos por Computadoras II Parte”, 1997.
- Rodríguez, Jesús: “Diseño de Sistemas Lineales de Control”, 1994.
- Rodríguez, Jesús: “Controladores PID”, 1994.

- Rodríguez, Jesús: “Compensadores por adelanto y atraso”, 1994.
  - Rodríguez, Jesús: “Control por realimentación del vector estado”, 1994.
  - Rodríguez, Jesús: “Diseño de Sistemas de Control Mediante Técnicas de Computación Simbólica (segunda edición)”, 1998.
- Puente, Edgar: “Laboratorio de Control a Distancia”. Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero de Sistemas. Universidad de Los Andes. Mérida, 2003.

#### 1.4.2 Antecedentes Externos

Diversos desarrollos nacionales e internacionales, ajenos a la Universidad de Los Andes – Venezuela. Entre ellos, las ediciones más recientes de las referencias bibliográficas empleadas para desarrollar los contenidos de los libros resultantes del proyecto.

- Nise, Norman: su libro titulado “*Control Systems Engineering with CD*”, en su cuarta (4<sup>o</sup>) edición. Publicado en Agosto, 2003. Constituye el antecedente más importante del proyecto. La casa editorial que publica el libro: Wiley, John & Sons, Incorporated (2004), expresa respecto a éste:

La motivación es obtenida a través de explicaciones claras y completas sobre cómo diseñar sistemas del mundo real. Los tópicos son presentados de una manera progresiva y lógica que constituye y soporta a la interpretación. Al principio y siempre que sea posible, se presentan nuevos conceptos desde una perspectiva cualitativa para ayudar a los estudiantes a hacerse una idea sobre la necesidad de desarrollar diseños viables. Luego, una discusión detallada de las herramientas cuantitativas proporciona al lector la habilidad de diseñar parámetros y configuraciones para sistemas

que encontrará durante su carrera. Y, con el uso de Matlab®, los estudiantes descubrirán cómo aplicar los últimos métodos computacionales para el análisis y diseño de sistemas de control. (Traducido del inglés al español)

Las características principales del libro de Nise, asociadas como antecedentes del proyecto, son la presentación de casos de estudio integrados dentro del texto para proporcionar al estudiante una visión realista de cada etapa del proceso del diseño de sistemas de control; la presentación de una introducción a los métodos de análisis y diseño basados en el espacio de estados en secciones claramente marcadas respecto a las secciones que abarcan los métodos clásicos, pudiendo ser enseñadas separadamente o prescindidas sin perder continuidad y, la inclusión de un disco compacto (CD-ROM) que proporciona un valioso material adicional, tal como aplicaciones de computación *stand-alone*, archivos electrónicos de texto para uso con Matlab®, apéndices adicionales y soluciones a los ejercicios de pruebas de habilidades (Barnes&Noble.com).

- Ogata, Katsuhiko: la cuarta (4º) edición de su libro “*Modern Control Engineering*”, publicado en Noviembre, 2001. Según traducción de la sinopsis del libro (Barnes&Noble.com, 2004), del inglés al español:

...ofrece un tratamiento comprensivo del análisis y diseño de sistemas de control continuos en el tiempo. Proporciona un desarrollo gradual de la teoría de control y muestra cómo resolver problemas computacionales con Matlab®. Evita considerablemente el desarrollo de argumentos matemáticos y se caracteriza por una abundancia de ejemplos y problemas trabajados completamente. Proporciona explicaciones detalladas de cómo escribir programas en Matlab® para resolver una variedad de problemas en Ingeniería de Control.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

- Dorf, Richard y Bishop, Robert: la décima (10<sup>o</sup>) edición de su libro “*Modern Control systems*”, publicada en Abril, 2004. Su casa editorial, *Prentice Hall*, comenta acerca del libro (Barnes&Noble.com, 2004):

Por más de veinte años, *Modern Control Systems* ha marcado el estándar de excelencia en libros de texto para estudiantes de sistemas de control. Se ha mantenido como un *bestseller* porque Richard Dorf y Robert Bishop han sido capaces de tomar la teoría de control compleja y hacer de ésta excitante y accesible a los estudiantes. El libro presenta una metodología de ingeniería de control que, basada en fundamentos matemáticos, hace énfasis al modelado de sistemas físicos y diseños prácticos de sistemas de control con especificaciones reales de los sistemas. (Traducido del inglés al español)

La sinopsis del libro (Barnes&Noble.com, 2004) expresa que está escrito para cursos avanzados de ingeniería y que está constituido por conceptos de la teoría de sistemas de control por realimentación en el espacio de la frecuencia y del tiempo, incluyendo la discusión de tópicos de sistemas de control robusto, modelos en variables de estado, sistemas de control por computadora, control por modelo interno y controladores PID robustos. En esta última edición publicada, ofrece archivos en Matlab® y simulaciones de Simulink® alojados en un sitio Web comercial.

- Bequette, B.: presentó un libro titulado “*Process Control: Modeling, Design and Simulation 1st Edition-Cased*”, publicado en Enero, 2003. Es un libro destinado a niveles de iniciación y avanzados de cursos de Ingeniería Química, en dinámica de procesos y control, así como para profesionales que están en búsqueda de las últimas herramientas de simulación y estrategias de control avanzado. Según se señala en Pearson Education Schweiz AG, 2004, es el primer libro que ofrece una introducción completamente integrada de los tópicos fundamentales de la dinámica de procesos con

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

herramientas de software en Matlab® para permitirle a los estudiantes aprender el material interactivamente a través de ejercicios de simulación computacional. El libro presenta problemas realistas y provee las herramientas de software para que los estudiantes simulen los procesos y resuelvan problemas prácticos del mundo real. También expresa que “el libro enseñará a estudiantes a analizar procesos químicos dinámicos y desarrollar estrategias de control automático para operarlos segura y económicamente”.

- Glad, Torkel: publicó un libro electrónico titulado “*Control Theory*”, en formato *Microsoft Reader eBooks*®. Puede leerse en plataformas Windows 98 o superiores en computadores portátiles o de oficina, *Tablet PC's* y *Pocket PC's* 2002. Ofrece características de navegación avanzada, búsqueda, bibliotecas personales, marcas de libro, resaltado, notas y dibujos. Se trata de un libro diseñado para un curso avanzado en Teoría de Control. Los cursos básicos en control típicamente cubren sistemas lineales, invariantes en el tiempo, con una entrada y una salida. Debido a que los procesos industriales generalmente tienen varias entradas y salidas y contienen no-linealidades, se requiere cubrir estos tópicos en un segundo curso. *Control Theory* explica los desarrollos actuales en técnicas de control multivariable y control no-lineal, y hace una revisión de herramientas para el diseño asistido por computador, por ejemplo Matlab ® y sus librerías. También explora los límites prácticos del control de sistemas y se discute la relevancia de éstos para el diseño de control. (Extraído y traducido de ebookmall, 2004)

- Smith, Carlos A.: un libro electrónico titulado “*Automated Continuous Process Control*”, publicado en Agosto, 2003, en Formato de Documento Portátil (PDF). Según las notas del libro (John Wiley & Sons Canada, Ltd., 2004), traducidas del inglés al español, el autor:

...une en un volumen compacto y práctico, lo esencial para comprender, diseñar y operar sistemas de control de procesos. Esta guía comprensible cubre la mayoría de los elementos del control de procesos en una estructura ordenada y bien definida. Los conceptos son claramente presentados, con una dependencia mínima de las ecuaciones matemáticas, haciendo un importante énfasis en ejemplos prácticos de la vida real.

El libro comienza con los elementos más básicos del control de procesos. Estructura sobre cada capítulo para ayudar al lector a entender y practicar eficientemente el control de procesos industriales....

El lector se beneficiará de un disco compacto (CD) adicional al libro, el cual contiene procesos que han sido empleados exitosamente durante muchos años para practicar la entonación de controladores en cascada y realimentados, al igual que el diseño de controladores *feedforward*.

Según adiciona la editorial, respecto a las características del *e-book*, luego de hacer efectiva la compra del libro, en el portal de su editorial, John Wiley & Sons Canada, Ltd. (2004), puede ser descargado de Internet en los siguientes 14 días, después de la compra. El archivo que contiene el *e-book*, no puede ser copiado, permite imprimir hasta 35 páginas individuales cada 7 días, la opción de copiado y pegado a una página de texto es permitido para un total de 10 páginas cada 7 días, no permite el copiado y pegado de diagramas, figuras y obras de arte y, permite efectuar anotaciones dentro del libro.

- Departamento de Informática y Automática de la Universidad Nacional de Educación a Distancia de España (2000): según referencia de la fecha, “está trabajando en el desarrollo de nuevos paradigmas de laboratorios para la realización a través de Internet

## CAPÍTULO 2

### LA ENSEÑANZA DEL DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL CONTINUOS, LINEALES E INVARIANTES EN EL TIEMPO

En este capítulo se presenta una revisión sobre los recursos necesarios y disponibles para soportar el proceso de enseñanza-aprendizaje de materias técnicas que van más allá de contenidos teóricos, como lo son los temas que involucran las técnicas básicas del diseño de sistemas de control continuos, lineales e invariantes en el tiempo, área de interés del proyecto. Además, se hace una clasificación de los recursos constituidos por el material de apoyo del cual se puede disponer, según las posibilidades y necesidades del estudiante y la planificación del proceso de enseñanza. También se presenta la evolución por la cual han atravesado algunos de los recursos, como consecuencia de la transformación de las sociedades y los avances tecnológicos.

No se pretende exponer una metodología para la enseñanza del área. Se efectúa un análisis para definir los alcances e importancia del proyecto que se presenta, sin llegar a fundamentarse en las teorías que estudian rigurosamente los procesos de enseñanza-aprendizaje, pues el proyecto no pretende el diseño de un material instruccional, sino de un

material de apoyo al estudio del área, enfocado en el desarrollo de materiales de índole similar.

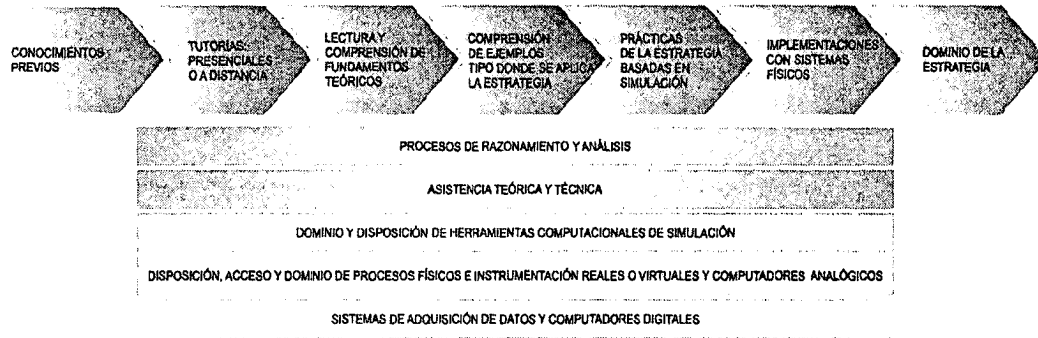
## **2.1 Proceso de Aprendizaje del Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo**

La planificación del proceso de enseñanza, la manera en la cual se expresan los conocimientos y la disponibilidad de recursos físicos, de asistencia al proceso de aprendizaje y la disposición del estudiante a aprender, pueden considerarse como elementos evidentes que inciden sobre el proceso de éste.

En 1983, Reigeluth, según expresa Rodríguez (2000), expuso que:

...el aprendizaje y las teorías que tratan los procesos de adquisición de conocimiento han tenido durante este último siglo un enorme desarrollo debido fundamentalmente a los avances de la psicología y de las teorías instruccionales, que han tratado de sistematizar los mecanismos asociados a los procesos mentales que hacen posible el aprendizaje.

Es lógico que se pueda hacer una representación del proceso de aprendizaje, desde el punto de vista de las concepciones propias de quien lo intenta esquematizar. Sin embargo, los estudiosos de la psicología y las teorías instruccionales propondrán esquemas de mayor fundamento, para el modelado de herramientas instruccionales, lo cual no es el propósito del proyecto.



*Figura 1. Proceso de Aprendizaje de las Estrategias de Diseño*

El aprendizaje de las estrategias de diseño de sistemas de control, particularmente, visto como un proceso de conversión de conocimientos previos y percibidos, soportado por una variedad de recursos, puede representarse, a criterio propio, como se muestra en la Figura 1.

La misma, muestra el proceso como una constitución de procesos menores que, en cadena, definen una adquisición progresiva del conocimiento. Dichos procesos menores pueden concebirse como:

- Conocimientos previos: son resultado de procesos de aprendizaje previos.
- Tutorías: definen el paso fundamental en la transmisión del conocimiento. Constituyen el proceso de la educación formal en el área. Las tutorías pueden ser presenciales o a distancia, lo cual será definido por el programa de formación y establecerá el tipo de recursos que se deberán emplear en el proceso. En ocasiones, según la programación del proceso, las tutorías serán suplantadas por tutoriales.
- Lectura y comprensión de fundamentos teóricos: proceso posterior a la percepción de conocimientos bajo la modalidad de tutorías. Los libros técnicos pueden considerarse como el principal recurso de este proceso.

- Comprensión de ejemplos tipo donde se aplica la estrategia: la ilustración de la aplicación de las estrategias de diseño de sistemas de control es la herramienta que se ofrece al estudiante en este proceso, quien tratará de extraer las bases teóricas que se ha creado sobre la estrategia y de asimilar la información reflejada ahora como un ejercicio práctico.
- Prácticas de la estrategia basadas en simulación: luego de asimilar los conocimientos teóricos, comprender los ejemplos modelos de aplicación y concebir los conocimientos adquiridos como estrategias para el diseño, deberá iniciar la aplicación de éstas haciendo uso de herramientas de simulación, tales que le permitan consolidar los conocimientos sobre cada estrategia de diseño particular.
- Implementaciones con sistemas físicos: luego de la consolidación de los conocimientos por medio de la simulación, el estudiante podrá ser capaz de materializar el aprendizaje por medio de la implementación.
- Dominio de la estrategia: el dominio lo hace la práctica fundamentada en bases teóricas. Si el estudiante ha logrado que los objetivos que dieron lugar a la aplicación de estrategias de control sobre los sistemas físicos con los que trabajó en el proceso anterior, estará tan cerca del dominio de la estrategia, como firmes hayan quedado los conocimientos que debía adquirir luego de los procesos por los cuales ha sido sometido para el aprendizaje de la estrategia particular.

Los procesos de razonamiento y análisis del estudiante, atenderán el proceso de aprendizaje, según esta percepción. Estudios psicológicos más profundos, podrían establecer qué procesos de la mente del estudiante, son los que intervienen en un proceso definido de esta manera. Cada uno de estos procesos deberá estar soportado por asistencia

humana, tanto teórica como técnica; al igual que por herramientas y sistemas que permitan llevar a cabo los procesos prácticos. Puede considerarse que, para algunos casos, la salida de un proceso relativo al aprendizaje de una estrategia particular, constituirá la alimentación de otros procesos relativos a otras estrategias, cuyos fundamentos son asociables a los de aquélla estrategia particular.

## **2.2 Respetto a los Conocimientos Previos**

Para un estudiante, el principal recurso para lograr un proceso de aprendizaje efectivo sobre un tema particular, luego de su disposición para ello, es el conjunto de conocimientos previos que le permitirán asociar a ellos y asimilar, la información que percibe en este nuevo proceso, según criterio propio. Se ha efectuado una organización de temas principales que, desde el punto de vista particular de la autora del proyecto, el estudiante debe conocer para abordar el estudio de las técnicas de diseño de sistemas de control continuos, lineales e invariantes en el tiempo. Dicha organización es presentada en el esquema de la Figura 2.

En tal esquema, se encuentra una clasificación de los conocimientos previos en dos grupos particulares: los conocimientos teóricos y los conocimientos prácticos. El diseño de sistemas de control continuos, lineales e invariantes en el tiempo es un área perteneciente a una disciplina de la Ingeniería, la Ingeniería de Control, el estudio de los sistemas de control o control automático, la cual es un área de bases técnicas que requiere de estrategias ingenieriles, resultado de una formación que va más allá de meros contenidos teóricos.

Requiere de la aplicación práctica del conjunto de conocimientos teóricos que fundamentan los estudios de cada uno de los temas asociados.

El estudiante, para dominar los contenidos teóricos de la materia, se deberá apoyar en una serie de conocimientos previos, clasificados en el diagrama al cual ya se ha hecho referencia. En cuanto a los conocimientos prácticos previos, algunos de ellos servirán al estudiante para apoyar la asimilación del conocimiento teórico para efectos de validación o asociación de información, pero en la mayoría de los casos, asistirán los procesos prácticos de simulación e implementación de las técnicas de diseño que habrá de aprender durante el proceso.

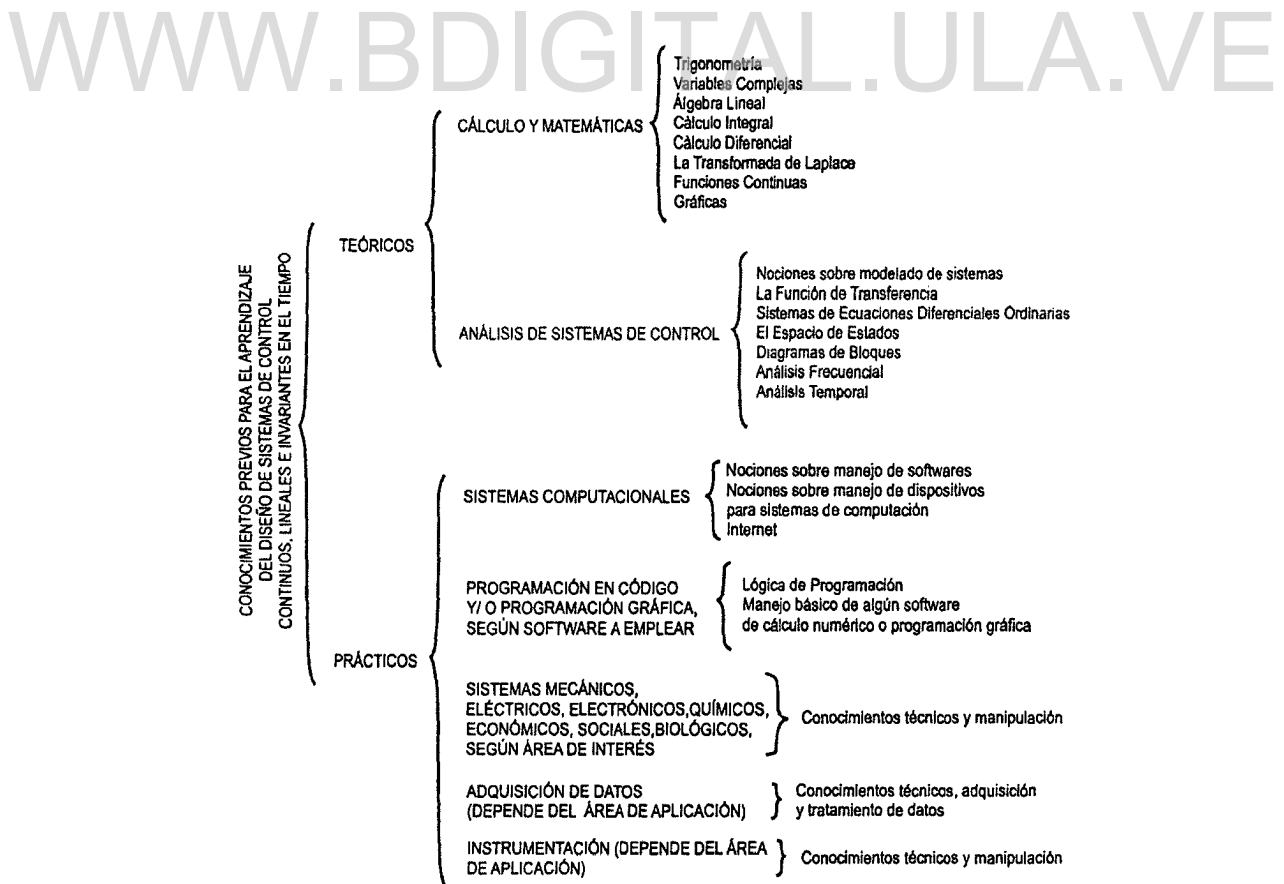


Figura 2. Conocimientos Previos

Los conocimientos teóricos resaltados en el esquema de la Figura 2, sobre Análisis de Sistemas de Control son los primeros conocimientos que fundamentan el estudio de los sistemas de control. El proyecto general al cual pertenece este proyecto, contempla la generación de un recurso de apoyo para la adquisición de estos conocimientos. Dado que el área de estudio se enfoca a un tipo de sistemas en específico: los sistemas continuos, lineales e invariantes en el tiempo, las bases de conocimientos mínimos sobre el análisis de sistemas, deben referirse a sistemas del mismo tipo.

La necesidad cabal de estos conocimientos previos depende de la profundidad con la cual se pretenda dominar el área, por parte del estudiante y, de la profundidad con la cual se desea orientar el proceso de enseñanza, por parte del docente.

### **2.3 Recursos físicos para la Enseñanza-Aprendizaje del Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo**

Para aprender y facilitar temas de la naturaleza del área específica de la cual trata este proyecto, se hacen necesarios recursos adicionales que soporten las tutorías o clases y, que van más allá de los materiales de apoyo teórico, los cuales son, indiscutiblemente, en sus diversas modalidades, las bases de un proceso de aprendizaje bien constituido. Según Sánchez, J. et al. (2004), “la enseñanza de la Ingeniería de Control requiere de algo más, de un elemento que permita al estudiante poner en práctica todos los conocimientos que vaya adquiriendo a lo largo del estudio de la materia”.

Segura, S. (2004) afirma que, la selección de medios en la educación, está determinada por las características del lenguaje empleado en cada uno de ellos, por las necesidades pedagógicas concretas trazadas desde un currículum específico y por el nivel de diálogo e interacción que pretende desarrollar el docente. Bajo esta concepción, en la Figura 3, se propone una clasificación de los recursos físicos de los cuales se puede disponer para la enseñanza-aprendizaje del diseño de sistemas de control continuos, lineales e invariantes en el tiempo. La clasificación se hace de acuerdo a la naturaleza de los recursos. Se señalan

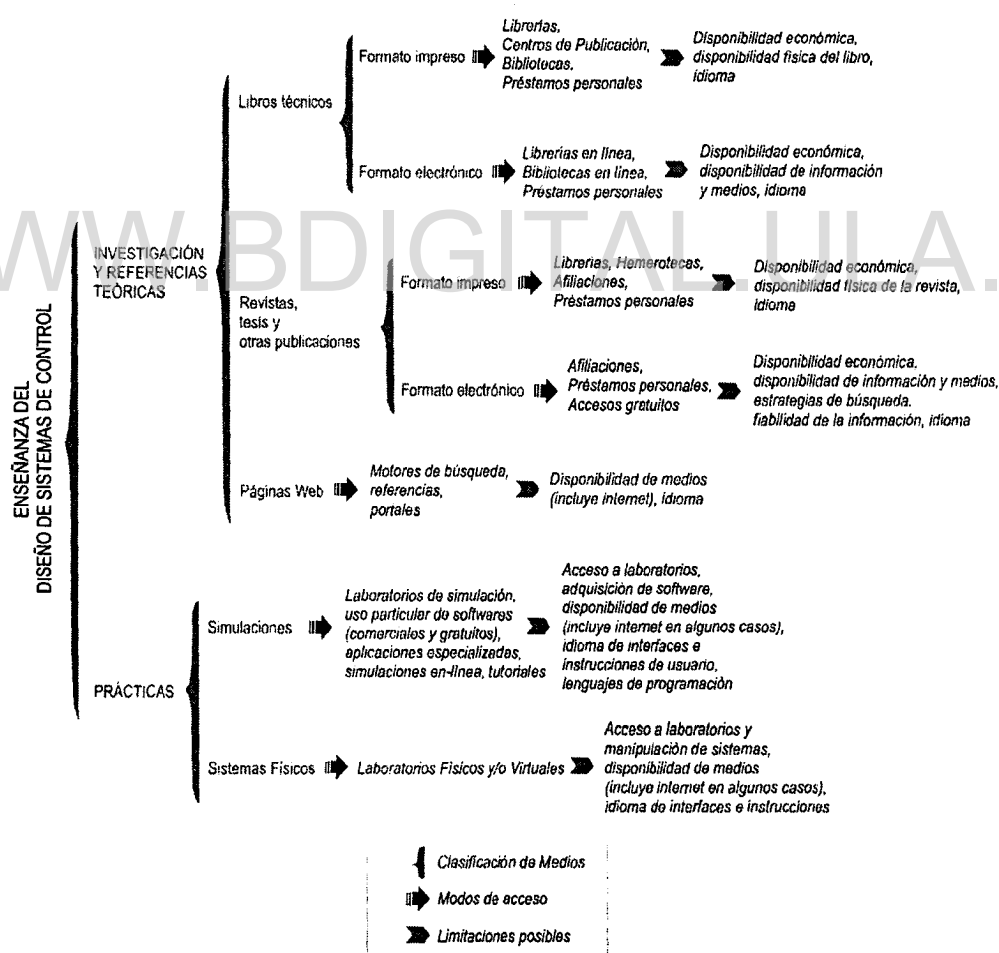


Figura 3. Recursos para la Enseñanza-Aprendizaje del Diseño de Sistemas de Control

las maneras de acceso a tales recursos y las limitaciones que pueden hallarse para disponer de ellos.

#### **2.4 El Libro como Medio de Comunicación y su Evolución**

Las alternativas de expresión de información las constituyen primordialmente la diversidad de lenguajes de los cuales disponen los individuos para expresarse y comunicarse. Estos lenguajes son los que asimila el ser humano por sus sentidos: el lenguaje escrito, el visual, el sonoro y el audiovisual. Segura et al., exponen que:

...cada sentido tiene una especialización en lo que se refiere a su modo de elaborar las informaciones que recibe, en consecuencia, estas características son de gran trascendencia en el plano de la comprensión, la participación y la construcción del conocimiento.

El libro de texto tradicional, constituye una de estas alternativas de expresión y ha sido, durante mucho tiempo, una de las más empleadas para la transmisión de conocimientos, sobre todo para el soporte de la investigación y el complemento teórico, desde el punto de vista de áreas como la que abarca este proyecto.

“El libro no fue creado por las imprentas, éstas lo cambiaron o lo redefinieron”, asegura Dewar, J. (2000). En la cultura de los escribanos, los libros o manuscritos eran producidos laboriosamente por escribanos; cada copia era ligeramente diferente de las otras copias del libro. Los errores de un manuscrito eran propagados a la siguiente copia del manuscrito y, comúnmente se iban adicionando a ello nuevos errores. Se notaba desde aquel entonces, un interés por transmitir el conocimiento o el pensamiento (aunque inicialmente estuviera

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

disponible sólo a los ricos de la población) pero también, la presencia de una deformación en la transmisión de los mismos. Los efectos de la imprenta en esta situación, fueron enormes, ejerciendo un gran impacto en la preservación del conocimiento. Cientos de copias de un solo manuscrito aseguraban virtualmente su supervivencia y difusión. Seguían siendo restringidas para los ricos, pero mejoró un poco su disposición al público en general. Por otra parte, la actualización de los escritos se efectuaba como un proceso de realimentación dado por los lectores propios, según Leed, E. (Dewar, J. (2000)).

Si se consideran tales aspectos como los primeros signos de la evolución del libro en torno a la necesidad de difusión, actualización y veracidad del conocimiento que surgió desde aquel entonces y que cada vez es mayor y, se desglosan algunos otros aspectos de la historia del libro, concibiendo que la actualidad de éste es su presentación electrónica, se podrá crear una visión del efecto de la tecnología sobre la evolución de este recurso, destinado a la transmisión del conocimiento y el pensamiento.

Las primeras concepciones del libro y su evolución, se sucedieron de distintas maneras en los pueblos antiguos. A continuación se hace mención a la concepción de algunos de los formatos que han marcado la evolución del libro:

- Los primeros libros consistían en planchas de barro, conformados por caracteres o dibujos hechos con un punzón, hacia el siglo I, después de Cristo.
- Luego, los escritos consistieron en densas columnas de caracteres manuscritas con plumas de junco, sobre rollos de papiro. La mayoría de las veces, por la longitud de los rollos, al lector le era difícil realizar ubicaciones dentro de la lectura.

- Más tarde, los rollos de papiro fueron desplazados por rollos de pergamino y de algunos materiales derivados de pieles secas.
- Después nació el códice (latín de “libro”), que consistía en un cuadernillo de hojas rayadas, hechas de madera cubierta de cera. La escritura se hacía empleando una herramienta filosa y, ya era posible borrar cuando fuese necesario.
- Luego, se comenzaron a insertar hojas de papiro y pergamino dentro de los primeros códices, consistiendo luego en solo hojas de estos materiales. Las hojas eran reunidas entre dos planchas de madera y atadas por correas. Se escribían los caracteres en columnas más anchas que las empleadas en los rollos anteriores. Ya se escribían hojas a dos caras. Eran más cómodos de manejar y ofrecían una fácil ubicación dentro de la lectura.
- Los monjes, quienes eran los que escribían los libros en cierta época, comenzaron a utilizar variados tipos de letra. Muchos de los libros contenían dibujos en tintas doradas y otros colores para indicar los comienzos de sección, ilustrar textos o decorar los bordes del manuscrito. Los libros tenían portadas de madera, muchas veces cubiertas de piel y algunas eran decoradas con piedras y orfebrería; poseían cierres en forma de botones o candados. Eran escasos y muy costosos y, por lo general, se realizaban por encargo de la pequeñísima población que sabía leer y que era pudiente económicamente.
- Con la invención de la imprenta, realizada por Gutenberg, J., se imprimió el primer libro de alta calidad, en 1455, la Biblia. Desde entonces, la evolución que han sufrido las máquinas y, con el advenimiento de la tecnología, los libros de alta calidad han tomado sus formas, según el tipo de contenido y la clase de lector a la cual se destinan.

- Internet ofrece la posibilidad de realizar compras de libros impresos.
- Nace la versión electrónica. Con el avance de la tecnología, esta nueva versión del libro ha tratado de ubicar un lugar tan considerado como la versión impresa, ofreciendo actualmente una diversidad de herramientas y opciones al lector e iniciando la “nueva era en la lectura por pantalla” (Alvear, M. (2004)). Se presume que el “Diccionario Electrónico *Random House*”, fue el primer libro electrónico disponible comercialmente en el mundo, en 1981.

Puede concluirse esta reseña, citando una interpretación de Acevedo, J. (2004): “la técnica y la tecnología han sido responsables de muchas de las transformaciones sociales”. La evolución ha dado para ello, un gran apoyo a la transmisión del conocimiento y el pensamiento, en concordancia con lo que afirma Dewar, J. (2000):

Uno de los puntos a considerar en esta transformación, es aceptar de una vez por todas que el libro como símbolo del conocimiento ocupa un espacio distinto, ya que las formas de acceder al conocimiento se ampliaron, hoy, Internet ha puesto al libro en condiciones de equidad frente a las Nuevas Tecnologías. Contradiendo algunas predicciones, el lenguaje escrito no desaparece, por el contrario, recobra importancia con el computador, los procesadores de texto siguen exigiendo al acto de escribir, una reflexión sobre los pensamientos e ideas que se quieren expresar.

#### 2.4.1 Los libros electrónicos –*e-books*

La descripción evolutiva muestra ser esta la última versión de presentación del libro, hasta hoy conocida. El nacimiento del *e-book* ha significado la revolución más importante en el mundo editorial, desde el ya mencionado descubrimiento de la imprenta, en el siglo XV. El *e-book* se empezó a gestar en los años sesenta: la idea de crear una presentación del libro

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

que “desafiara la cultura del papel y la tinta es más antigua de lo que puede parecer”, asevera Aledda, H. (2004).

El principal obstáculo superado por el *e-book*, fueron las barreras técnicas, luego, fue la oposición revelada por las propias editoriales. Las barreras técnicas, pueden considerarse hoy, y desde hace algunos años, como desafíos tecnológicos que han definido los avances en el desarrollo y concepción del *e-book*. El paso a generar una visión abierta a las nuevas concepciones del libro, la verdadera expansión y popularización del *e-book*, fue el lanzamiento y éxito del *bestseller* de Stephen King: “*Riding the Bullet*”, publicado en forma exclusiva por medio de Internet, en 1999, el cual en 48 horas había sido vendido a 500000 usuarios. Como consecuencia, muchos autores encuentran en Internet, una manera de publicar sus obras para darse a conocer y/o mantenerse al margen de las editoriales. Por otra parte, le demuestra a la industria editorial, el importante mercado que puede tener un producto de calidad intelectual. Tras los obstáculos superados, han sido muchos los acontecimientos que han marcado la vida del *e-book*.

Un libro electrónico o *e-book*, es un material digital de lectura que puede abordar todo tipo de temas: desde novelas de ficción hasta ensayos, trabajos de investigación y textos técnicos; son básicamente documentos cuyos contenidos han sido digitalizados o creados en formato digital. Aunque la concepción generalizada es ésta, ofrecen otras características que permiten al lector asistir y complementar la lectura, para aquellos contenidos que lo ameritan. Desde el punto de vista de los libros de texto técnicos, particularmente, pueden concebirse como contenidos indexados, estructurados en capítulos, secciones, referencias a expresiones, figuras y tablas, referencias a recursos externos, referencias a notas a pié de

página y, referencias a citas y referencias bibliográficas. El avance tecnológico ha permitido adicionarle a ello, características que le permiten al *e-book*, un manejo que emula el del libro tradicional, además de ofrecer un recorrido automatizado y el uso de herramientas de revisión y comentario, en muchos casos. Automatizar la navegación dentro de un documento, es el contraste con la navegación de páginas Web en Internet; se fundamenta en el principio del uso de hipervínculos. Las características de seguridad que tenían las versiones antiguas del libro, no se pierden con este nuevo formato, por el contrario, el derecho de autor y de propiedad, siguen siendo preservados por muchas de las herramientas de las que se dispone para la creación y publicación de estos formatos.

Hoy en día, se emplean diversos formatos para la presentación del *e-book*; la mayoría de las veces, las propias editoriales definen la tecnología a emplear. El constante avance de la tecnología, permite cubrir las necesidades de reducción de espacios y costos que ofrece esta presentación, respecto a la tradicional forma impresa, lo cual parece ser la lógica operante de la sociedad actual. Debido a sus características digitales, se utilizan distintos medios para su visualización: la computadora portátil y de oficina como el medio más común, las agendas electrónicas y dispositivos portátiles de lectura ajenos a éstos, ideados paralelamente a las iniciativas de digitalización de libros tradicionales, los llamados “*E-book Readers*”, ofreciendo éstos una gran capacidad de almacenamiento y posibilidad de descargar títulos desde Internet.

Los formatos más comunes son el “*Portable Document Format*” (PDF), para el cual hay diversos programas que permiten su lectura; sin embargo, el más usual es el Adobe Acrobat ®, el cual, en su versión gratuita Adobe Reader 6.0 ®, ofrece al lector el uso de diversas

herramientas de lectura referenciada y de revisión y comentarios, así como la asociación a documentos, archivos, ejecución de programas externos al documento que contiene al *e-book* y acceso a páginas Web, además de las características de seguridad que se destinan a este tipo de documentos, entre otras. Otro de los formatos son el *MS-Reader*®, de la casa comercial *Microsoft*®; los documentos HTML o XML modificado, para los cuales el editor define su propio estilo y bondades y, los archivos ejecutables .EXE a los cuales se convierten comúnmente los de formato HTML o XML modificado. Cada uno de estos formatos alternativos ofrece sus propias ventajas.

Respecto a la creación de los *e-books*, por lo general, el autor se encargará de la generación de los contenidos, y recurre a las editoriales de este tipo de presentaciones, para que se encarguen de la conversión de los documentos originales, en el formato específico. Sin embargo, este tipo de presentación del libro, ofrece como ventaja importante la posibilidad de “autoedición”, con lo cual, el mismo autor podrá encargarse de la edición de sus libros. De acuerdo a sus propósitos como editor, podrá seleccionar el formato que desee. Para unos formatos se encontrará con requerimientos de acceso a herramientas de naturaleza comercial, otros, con requerimientos de conocimiento de uno o varios lenguajes de programación. Siempre deberá tomarse en cuenta que, del formato seleccionado y la manera de abordar su edición, dependerá la calidad del *e-book*.

#### **2.4.2 Del texto al hipertexto; del hipertexto al hipermedia: El Valor Agregado de los *e-books***

Lo que realmente cambia en la presentación electrónica del libro, gracias a las tendencias surgidas hace algunos años sobre la navegación automatizada que predomina en el

recorrido de páginas Web en Internet, es la forma del mismo, donde la incorporación del hipertexto y la hipermedia es la ventaja adicional que se ofrece para la lectura de libros en dispositivos digitales. Según traducción de lo que comentan Keep, C., McLaughlin, T. y Parmar, R. (2004).

El advenimiento del hipertexto proporciona una oportunidad para “re-pensar” la relación entre la forma física y narrativa del libro por sí mismo. Considerar el libro simplemente como el vehículo, como el contenedor neutral del resultado de la imaginación del escritor significa, pasar por alto el enorme impacto que la misma idea del libro ha tenido sobre la forma narrativa, desde la Biblia hasta la Novela Postmoderna y de la ficción del hipertexto por sí mismo

En 1945, se originaron los conceptos revolucionarios referidos a la organización y recuperación de información, cuando Vannevar Bush escribió su ensayo titulado “*As we may think*”, donde presenta un sistema ideal, al que denominó “MEMEX”, siglas de *MEMory Extender System* (Sistema Extensor de Memoria), el cual habría de resolver el problema de organizar y recuperar documentos con rapidez y flexibilidad, dentro de una gran cantidad de información, generadas a raíz de la Segunda Guerra Mundial. Sería una máquina del tamaño de un escritorio, operado por teclado, características *touch-screen* y palancas accionadoras del sistema mecánico. Se definió entonces, lo que teóricamente son los actuales sistemas hipertexto. En 1963, Douglas Engelbart, continuando las ideas de Bush, diseñó el sistema NLS, de *oNLine System* (sistema en-línea) basado en la idea de trasladar el asociacionismo de la mente humana al ordenador. En este sistema, todo lo necesario para llevar a cabo un proyecto, estaría almacenado dentro del sistema: documentos, programas, informes, bibliografías, referencias, notas, y otros, entre los cuales se construirían jerarquías de información cuando fuese necesario para realizar el documento

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

electrónico del proyecto. Podría considerarse que éste fue el primer sistema de hipertexto real. Un sistema de este tipo, busca aumentar las capacidades de la mente humana, según afirmó Engelbart, D. en 1963, citado por Caridad, M. (1991):

Cuando decimos « aumentar el intelecto humano » queremos decir aumentar la capacidad del hombre para afrontar problemas complejos, desarrollar su capacidad para comprender según sus necesidades y encontrar solución a los problemas. Una mayor capacidad de este tipo sería una mezcla de lo siguiente: que la comprensión sea más rápida; que se pueda llegar a la comprensión en casos en los que el problema resultaba demasiado complejo; que las soluciones se encuentren más rápidamente; que se adopten mejores soluciones; que se llegue a soluciones en los casos en los que no las había. Y llamamos problemas complejos a problemas con los que se enfrentan diplomáticos, negociantes, científicos, médicos, jueces, diseñadores –tanto si el problema dura veinte minutos como si dura veinte años–. (...) Nos referimos a un contexto en que coexisten la intuición, lo intangible, etc., con métodos sofisticados, maquinaria electrónica especializada, terminología específica, etc.

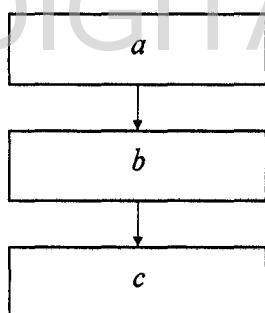
Así, los sistemas para aumentar esta capacidad del hombre, pueden concebirse como sistemas relacionales y, los constituyen dos subsistemas: el sistema humano y el sistema de herramientas disponibles o conjunto de medios disponibles para el ejercicio de las actividades humanas.

Por otra parte, en la misma década de los estudios de Engelbart, se iniciaron las investigaciones de Theodor Nelson, quien adoptó por primera vez el término “hipertexto” o “escritura no secuencial”, aseverando que la escritura tradicional era secuencial por dos razones: porque se deriva del discurso hablado, que es secuencial y, porque los libros estaban escritos de forma secuencial. También toma en cuenta que las estructuras de las ideas no son lineales, sino que están interrelacionadas en múltiples direcciones y que, además cuando se escribe, se trata de relacionar las cosas de forma no secuencial. En base

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

a ello, desarrolló su proyecto al que denominó “Xanadú”, cuyo objetivo era “almacenar toda la documentación mundial en un sistema en línea que utilizara el método de hipertexto para facilitar la recuperación de la información” Caridad, M. (1991). Se dispondría para ello de una red universal de documentos almacenada en el sistema y un usuario por medio de un terminal del sistema podría recuperar cualquier información de un documento, copiarla e integrarla en sus documentos, así como introducir a la red sus propios documentos, copiar partes o documentos enteros y añadir sus propias anotaciones, haciendo uso de los enlaces apropiados y mecanismos del propio sistema. Su proyecto ha evolucionado desde entonces, preservándose sus ideas originales.

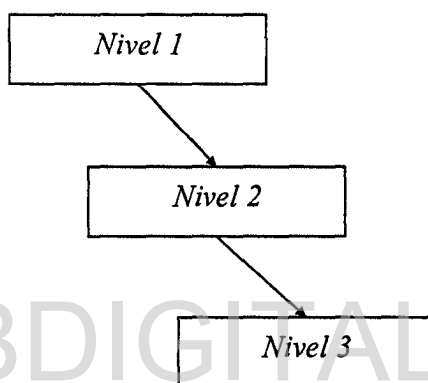


*Figura 4. Recorrido Lineal*

Con estos antecedentes del hipertexto y los avances tecnológicos, se incrementó grandiosamente el interés por la creación de sistemas basándose en esta estructuración asociativa. Se marcó en aquel entonces, una nueva manera de controlar y acceder a la información. Según el sentido general provisto por Caridad, M. (1991), “hipertexto” significa una lectura y escritura no lineal. En esta dirección, linealidad se refiere a una

organización de manera tal que para recuperar algún extracto de información no se necesitan referencias a sí misma o a otras informaciones externas (ver Figura 4).

Otra manera muy común de organizar la información impresa es, la jerárquica, la cual es la que se emplea en las clasificaciones numéricas (ver Figura 5).



**Figura 5. Recorrido Jerárquico**

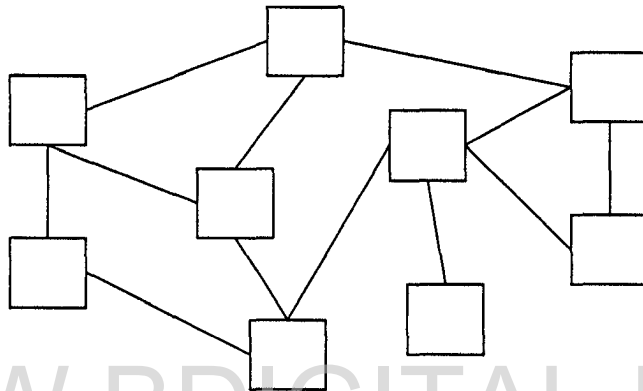
Si ahora, se trata la no linealidad en la estructuración de la información, se habla en términos de una organización relacional, establecida entre distintos puntos de la información, por asociación.

La linealidad en la escritura de textos está muy determinada por el tipo de contenidos; sin embargo, en la mayoría existen ciertos elementos que rompen la secuencialidad debido a ciertos elementos como las notas a pie de página y las referencias bibliográficas, que remiten al lector a otras partes de información relacionadas. Particularizando al libro técnico, como aquel que desarrolla contenidos como los que expone este proyecto, la secuencialidad es rota, predominantemente, por otros elementos que caracterizan la manera

en la que se exponen y entrelazan las teorías y fundamentos que se desarrollan dentro del contenido: las referencias a expresiones matemáticas, tablas, figuras y secciones de contenido que hacen que el lector se remita en un punto dado de los desarrollos teóricos y demostrativos, a aquellos elementos que complementan la lectura basada en texto, así como el acceso inmediato a una página determinada, identificada por su número. Sin embargo, para este tipo de documentos, el recorrido no lineal no es abordado en su totalidad por el hipertexto.

Si se toma en cuenta que el pensamiento humano funciona mediante asociaciones, se puede decir que el hipertexto es un modelo basado en esta idea, aprovechándose de las ventajas que ofrece el almacenamiento electrónico de la información para solventar las dificultades impuestas por la naturaleza del texto impreso, el cual, si bien rompe la linealidad de acuerdo al área temática a la cual pertenece, no ofrece las capacidades de recuperación automatizada del hipertexto. “Un sistema de hipertexto puede asemejarse más a una estructura del pensamiento humano creando una red de nudos y enlaces que permite al usuario desplazarse a través del sistema de forma multidimensional”, acota Caridad, M. (1991), concibiendo la forma multidimensional como un conjunto de puntos de información implicados en un juego relacional, donde su número no se limita y se puede crear una red de infinitas relaciones, en múltiples direcciones y sentidos, según se muestra en la Figura 6. El ser humano establece, en su mente, infinitas relaciones sobre todo lo que percibe, “...ciertos hechos nos recuerdan a otros, y dirigen nuestra mente a otros nuevos. Relacionamos pensamientos y recuerdos con imágenes, determinadas ideas, fechas, etc.”, acierta Caridad, M. (1991). Por su complejidad, sin embargo, la libertad y flexibilidad con la que se establecen las asociaciones dentro de la mente, no puede modelarse, sólo pueden

establecerse modelos que abarcarían estructuras reducidas respecto a las que genera la mente humana. La inteligencia artificial emplea herramientas para la generación de modelos próximos.



*Figura 6. Recorrido No Lineal*

Es la tecnología la que ha permitido romper totalmente la no linealidad, proporcionando la flexibilidad necesaria para el desarrollo de redes de enlaces multidimensionales, pues las características físicas de los documentos tradicionales limitan el aprovechamiento de una organización multidimensional: el usuario tiene que encontrar por sí mismo los documentos y posiciones dentro de la información a los que se hace referencia. Los enlaces de hipertexto permiten, mediante la activación de una simple instrucción del computador, el recorrido multidimensional a través de las relaciones electrónicas establecidas. La presencia de este tipo de enlaces en un *e-book* cuyo contenido es meramente técnico,

ofrece, por tanto, un mejor recorrido dentro de la complejidad y densidad de información que él significa y un acceso directo a otros documentos de igual naturaleza.

Considerando que, el hipertexto no solventa el recorrido no lineal que amerita un *e-book* de contenidos técnicos, como caso particular, se abordará ahora el concepto de hipermedia, que no es más que una extensión del hipertexto, pero el tipo de información que se involucra es variada: abarca las necesidades de aprovechamiento de las ventajas multimedia que ofrecen los sistemas computacionales actuales. Se refiere, entonces, a la organización de textos, gráficos, sonido, video y animaciones a través de vínculos que crean asociaciones entre información relacionada dentro del sistema, reflejando así la manera natural del pensar humano. Entonces, no sólo almacena enlaces entre distintas piezas de información textual, se convierte este tipo de sistemas en una red de información en todas las formas posibles. Esta es la forma de organización de información que se adopta mayormente hoy en día, más que el hipertexto. Para ello, se efectúa una integración de todo tipo de tecnologías, según los requerimientos del sistema a implementar. Casablanca, L. (1988), según Caridad, M. (1991), considera que los elementos esenciales de todo sistema hipermedia son: los computadores, que permitan la producción; la interactividad, para asegurar que los distintos medios implicados funcionen de forma eficaz e interactiva y, la edición de documentos, para la preparación de los formatos realizados a través del computador; en el caso del *e-book*, se refiere a la preparación del documento electrónico al cual se le atribuirán propiedades multimedia.

Así, la tecnología permite proveer al *e-book*, el valor agregado que significan las propiedades multimedia; para lo cual es importante atender el modelado de los recorridos

no lineales del libro. Debe ser diseñado de manera que los nodos que definan el recorrido que habrá de guiar al lector para el dominio de los fundamentos y estrategias representadas en su contenido, no conduzcan a una pérdida de concentración ni de ubicación dentro del libro.

### 2.4.3 El *e-book* y la versión tradicional del libro

No se pretende contraponer las versiones impresa y electrónica que hoy existen del importante medio de transmisión del pensamiento y el conocimiento; se presentan las principales características del *e-book*, algunas de las cuales se imponen sobre la versión impresa, por razones que justifican la innovación. Entre ellas:

- Las ventajas multimedia asisten el proceso de lectura del libro, en términos de su recorrido y del acceso a herramientas adicionales desde el punto de información que el autor considere necesario.
- Según se comenta en el Proyecto *e-book* (2004), “Hoy en día el uso de Internet está tan socializado que muchas veces se recurre a este soporte en lugar de acudir a bibliotecas o librerías.”
- La edición digital supone una edición más económica. Una vez que se ha preparado la “primera copia”, distribuirla es mucho más económico que distribuir un libro impreso. La mayor parte del valor económico asociado, se debe a la producción y edición. Permite con ello, una mayor cantidad de publicaciones.
- Para el autor y el editor, el espacio para almacenamiento físico no implica una limitación. Basta con el espacio virtual que ocupa el documento original y los recursos asociados a éste para poner el *e-book* a disposición para todo el que quiera adquirirlo,

según criterios de distribución. En el mismo sentido, para el lector, implica disponer sólo del espacio virtual que implica el *e-book* dentro de su computador.

- El autor puede abordar la edición de su propio libro. Sin embargo, para aquellos que no disponen del conocimiento computacional para ello y otros que no pretenden abordar la edición del libro, existen editoriales para *e-books*.
- Algunos *e-books* permiten la impresión de sólo las páginas que requiera el lector, se logra con ello, una disminución en la cantidad de papel empleado y energía, además de reducir el vertido de productos químicos al medio ambiente, ofreciendo contribuciones a la ecología.
- Dependiendo de los medios que se dispongan para la lectura, del uso generalizado que se le dé al medio utilizado y de las características de seguridad que el editor le imponga al *e-book*, tendrá un impacto significativo sobre la portabilidad. Portar con todos los libros (versión tradicional) de las materias de un período de estudios universitario, no es equiparable con el tener que portar con un dispositivo electrónico especializado, un computador portátil, una agenda electrónica o un *CD-ROM*. Sin embargo, en caso contrario, portar con un único libro (versión tradicional) en muchas ocasiones es más factible, sobre todo para quienes no acostumbran el uso de estos dispositivos o simplemente no disponen de ellos.
- En lugar de tener que esperar a que se lleve a cabo la impresión de nuevas ediciones o de “salir de los libros que hay en almacén”, la actualización de los contenidos de un *e-book* puede llevarse a cabo con regularidad.
- Se requiere de medios para tener el acceso a los documentos electrónicos y herramientas asociados a éstos. Tanto *hardware* como *software* se hacen necesarios en este aspecto.

- El lector debe poseer conocimientos básicos para el manejo de las herramientas y el acceso a los documentos electrónicos.
- A algunos lectores pareciera más cómodo leer directamente del computador; a otros, resulta muy incómoda la lectura por pantalla. Sin embargo, los dispositivos de lectura y los computadores actuales, han venido mejorando la resolución de sus pantallas, atendiendo a necesidades de este tipo.
- Dependiendo de su formato, el *e-book* permite el uso de herramientas de comentario, marcas de página, resaltado, sin causar deterioro del libro. Además, no se expone al deterioro debido al paso del tiempo. Sin embargo, la conservación del libro dependerá de la conservación del equipo electrónico que lo almacene.
- Algunos paquetes computacionales, diseñados especialmente para *e-books*, ofrecen al lector su lectura en voz alta, quien se podrá dedicar a escuchar en vez de leer. Es una ventaja útil para libros con contenidos meramente textuales, principalmente y, destinados especialmente a personas con impedimentos visuales.
- Algunos de los formatos en los que se realizan los *e-books* permiten la protección del libro según los derechos de autor.
- Según el criterio del autor y el editor del libro, se le puede proporcionar un acceso libre al lector por un tiempo o número de accesos limitados, de manera que pueda hacer una revisión del mismo, antes de adquirir la versión completa y definitiva.

En Epígrafe (2004) se comenta: “Quizá a través de estos nuevos libros digitales pueda cumplirse algún día el sueño de Borges, en el que un lector ideal pueda llegar a tener a su disposición una inmensa biblioteca con todos los libros imaginables.” Algunos críticos

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

opinan que el *e-book* no atenta contra los libros tradicionales, sólo ofrecen una nueva alternativa para la lectura. Peralazo, M. (2000), opina: “El libro tradicional, con papel y tapas, es un objeto cultural demasiado perfecto y demasiado establecido como para desaparecer o sufrir cambios fundamentales.”

En concordancia con lo que se comenta en el Proyecto *e-book* (2004), sobre la desaparición o no del libro impreso por los cambios que la tecnología está insertando en todos los ámbitos: “estamos siendo testigos de una explosión, una expansión nunca antes vista del espacio textual”. En este sentido, y tratando a dichos cambios como la expansión que se comenta en el Proyecto *e-book* (2004), la tecnología está ofreciendo muchas más alternativas hacia lo que anteriormente se consideraba “lo necesario y suficiente” para transmitir el conocimiento y el pensamiento. Además se manifiesta:

No se trata de la extinción de la Galaxia Gutenberg, sino de su integración a una constelación mucho más grande. (...), no cabe duda de que cierto tipo de libros va a desaparecer, de hecho así está ocurriendo. Las enciclopedias en cuarenta tomos, por ejemplo, y muchos catálogos, manuales, textos de estudio, obras de consulta y referencia. Va a ser muy difícil que estas modalidades informativas del libro compitan con la velocidad, la versatilidad y la capacidad de recuperar información que tienen las tecnologías digitales.

Manifestación ésta que respalda, particularmente, el criterio sobre la flexibilidad que puede ofrecer un *e-book* para la enseñanza-aprendizaje de un área como la que se trata en este proyecto. En el Proyecto *e-book* (2004), se hace referencia a una frase de Umberto Eco:

...Estamos caminando hacia una sociedad más liberada, en la que la libre creatividad coexistirá con la interpretación textual. Me gusta eso. El problema está en decir que hemos reemplazado algo viejo por otra cosa; tenemos ambas, gracias a Dios...

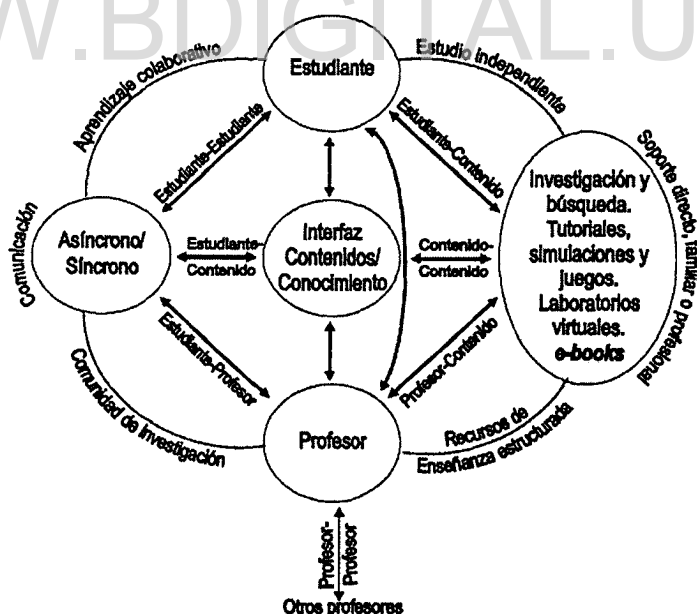
## 2.5 La Educación Presencial y la Educación a Distancia

En el Proyecto *e-book* (2004), se define a la educación como “los métodos por los que una sociedad mantiene sus conocimientos, cultura y valores afectando a los aspectos físicos, mentales, emocionales, morales y sociales de la persona.” La educación, al igual que todas las actividades en las cuales el hombre se encuentra involucrado, ha venido dando un vuelco con el pasar del tiempo, debido a la explosión de alternativas que se ha sucedido para soportar las estrategias que conducen al proceso educativo, entre otras.

Se ha dado lugar, entonces, a una reformulación en los procesos educativos, de lo cual no se hará parte en este proyecto; pero lo que sí es de importancia considerar en el presente es que, si bien las bases teóricas de los procesos educativos no constituyen por naturaleza el área de formación común de un Ingeniero, sí existe una percepción sobre algunas alternativas de cómo pueden ser transmitidos los conocimientos a un estudiante de esta área, haciendo uso de los recursos tecnológicos, de los cuales, por lo general, no escapa un estudiante o profesional de la Ingeniería.

La inserción de la tecnología en la educación ha sido, como en muchos ámbitos, de difícil adopción en la educación tradicional, sobre todo, por una inminente resistencia al cambio que existe en muchas sociedades. Sin embargo, la educación a distancia, como una modalidad que aún se sigue adoptando en muchos institutos universitarios, desde sus comienzos, se ha caracterizado por la búsqueda de innovaciones respecto a los procesos de enseñanza-aprendizaje, a efecto de favorecer los procesos de comprensión y tomando en cuenta que el estudiante que forma parte de estos procesos, no tiene disposición de acceso

físico a un recinto de clases para comunicación e intercambio con docentes y compañeros. Dentro de las herramientas que incorporan las modalidades de educación a distancia para atender a los estudiantes en estos casos, son el *e-book*, Internet, la comunicación vía *e-mail*, chats, foros, los portales Web y el CD-ROM, notándose la vital presencia de los medios electrónicos en el proceso de enseñanza-aprendizaje, en la actualidad, gracias a las tecnologías ofrecidas, debido al conjunto de interacciones que debe existir para llevar a cabo el proceso. La Figura 6 presenta un modelo común de interacción entre recursos de la educación a distancia. Sin embargo, es importante recordar que la educación a distancia no surge con la llegada de la tecnología digital, ésta se ha sustentado desde sus comienzos, en proyectos pedagógicos que avalen la coherencia y pertinencia de los recursos que emplea.



Traducido al español de:

"Theory and Practice of Online Learning e-book" (2004).

Figura 6. Un modelo de interacción en *e-learning*

Si bien existen diferencias entre la educación presencial o tradicional y la educación a distancia, lo que no se debe perder de la vista es, que es imprescindible que los recursos que utilicen para ambos planes, sean los más adecuados para llevar a cabo cada una de las etapas de formación en el área específica, por las cuales debe atravesar el estudiante.

Por su parte, la influencia del libro de texto sobre cualquier ámbito educacional, es irrevocable, dada la caracterización de la educación como una manera para preservar conocimientos dentro de una sociedad y, del libro, como un medio para transmitirlos. Así, considerando la influencia del libro de texto como recurso principal para soportar muchos de los conocimientos que requieren adoptarse en un área específica, las modalidades de presentación del mismo podrán desempeñar también un papel muy importante dentro del proceso educativo.

La versión tradicional del libro, por su trayectoria en el tiempo, ha mostrado su versatilidad en ambas modalidades de educación, en la presencial más que en la educación a distancia, por motivos de disponibilidad. Sin embargo, anteriormente la educación a distancia estilaba con mayor frecuencia, el envío físico de los libros de texto según fuesen requeridos. Hoy en día, la influencia de las redes digitales de comunicación ha ofrecido la disposición de recursos de manera casi instantánea, respecto a como se hacía hace algunos años atrás. Se trata, entonces, de recursos de características netamente digitales. Los recursos físicos, como es bien sabido, no han de ser desplazados, pero sí prevalecen las ventajas que sobre ellos imponen los electrónicos.

Particularizando un poco hacia la educación en el área de Diseño de Sistemas de Control y, atendiendo al esquema presentado en la Figura 3, por ser ésta un área rica en conocimientos, requiere de la disposición de diversos medios para un efectivo aprendizaje; la educación a distancia en un área como esta, solicita la disposición de recursos electrónicos que hagan de la tecnología su mejor aliado, previa aprobación dentro de su programa de enseñanza. Para ello, no sólo es necesario contar con contenidos electrónicos como los del *e-book*, sino de medios de práctica que le permitan la aplicación de los conocimientos adquiridos (Figura 3).

Resaltando la importancia de los recursos electrónicos para la educación a distancia, no se pretende desestimar su papel dentro del sistema de educación tradicional, por el contrario, si recursos electrónicos como los que se presentan en este proyecto, representados principalmente por el *e-book*, son capaces de atender ciertas necesidades de la educación a distancia, fielmente lo podrá hacer sobre la educación presencial; ello debido al tipo de recursos de los cuales se trata. Sin embargo, es posible notar que, el estudiante unido a una modalidad a distancia, por lo general está más acostumbrado al uso de este tipo de recursos, que el estudiante de la modalidad presencial, sobre todo en cuanto al manejo de contenidos teóricos. Es más común que el estudiante de un plan tradicional en esta área emplee los recursos electrónicos como herramientas para efectuar sus prácticas, si dispone de ellos, que como medio para adquirir los fundamentos teóricos que necesita de su área de formación.

Se puede decir entonces, que la llegada de la versión electrónica del libro ha influido de tal manera sobre la educación que, se tiende a la generación de nuevas situaciones para la

representación del conocimiento, la cual se puede dar con la era electrónica, en múltiples dimensiones. Por sus características no lineales, mencionadas en secciones previas, admite la combinación de diversos tipos de datos de manera de permitirle al estudiante, por ejemplo, construir sus propias relaciones, influyendo no sólo sobre sus propias ideas, sino en la manera en la que están estructuradas e interrelacionadas, ofreciendo ello un aporte a la flexibilidad cognitiva, tema que no es preciso extender en este proyecto. Sin embargo, para complementar la idea, es preciso hacer referencia a lo que en el Proyecto *e-book* (2004) se comenta sobre estudios referidos a la Psicología del Aprendizaje que sugieren que el uso de audiovisuales en educación tiene varias ventajas:

Todo aprendizaje está basado en la percepción, proceso por el cual los sentidos captan información a partir del contexto en que se produce. Los procesos superiores de la memoria y de la formación de conceptos no pueden darse sin la percepción. Los investigadores han encontrado que, se consigue más información si es recibida simultáneamente en dos modalidades (por ejemplo, visión y audición) y no solo mediante una. Por lo tanto el libro digital puede lograr que el lector retenga aún más información, dado que al ser leído de la computadora, ésta le permite la doble modalidad visual y auditiva.

Atendiendo la influencia de las versiones del libro sobre la educación y, acorde con lo que se asegura en el Proyecto *e-book* (2004) sobre la influencia del *e-book*, particularmente, puede decirse que la tecnología logrará abrirse caminos dentro de las metodologías de enseñanza como una manera alternativa y complementaria del sistema educativo tradicional, de una manera progresiva en muchas instituciones.

## CAPÍTULO 3

### UN RECURSO PARA EL ESTUDIO DEL DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL CONTINUOS, LINEALES E INVARIANTES EN EL TIEMPO

El proyecto se orientó hacia el desarrollo un libro sobre Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el tiempo, el cual sería presentado en las dos versiones del libro de las cuales se dispone hoy en día: la versión tradicional y la versión impresa. A ambos formatos se les adicionaron características importantes para dar soporte a la transmisión del conocimiento de parte del autor hacia el lector, entre ellas, la común a ambas: un CD-ROM con aplicaciones ejecutables que permiten al lector, la simulación por computadora de la mayoría de los ejemplos expuestos en el contenido del libro, así como los códigos desarrollados en el lenguaje de computación técnica empleado, Matlab ®, para lograr tales simulaciones.

#### 3.1 Metodología

Se trata de un proyecto especial, pues supone la creación de recursos que constituya un aporte a la formación de estudiantes y profesionales en el área.

Abordar un proyecto de esta índole, supone la adopción de una metodología orientada al desarrollo de contenidos respecto a un área específica, así como a la elaboración de aplicaciones computacionales de simulación de las estrategias de diseño para ofrecer las características electrónicas que contemplan los objetivos del proyecto y a la presentación de las versiones del libro, cuyos contenidos han sido desarrollados previamente. Sin embargo, los objetivos en el marco del proyecto, no contemplan la edición final de las versiones del libro ni los procesos posteriores que implica el ofrecimiento del libro a sus lectores: publicación y distribución.

El proyecto estuvo dividido en tres fases:

### 3.1.1 Fase I. Desarrollo de Contenidos:

Se caracterizó como la fase principal del proyecto, enmarcándose como una investigación del tipo documental, basada en la interpretación de fuentes bibliográficas y aportes importantes, disponibles en Internet, asociada a los conocimientos previos adquiridos en el proceso de formación académica de la autora. Para ello se emplearon métodos de organización de la información disponible y el saber propio y efectuar un planteamiento original de los métodos de diseño y fundamentos teóricos que los respaldan, así como desarrollar ejemplos que permitieran demostrar la aplicación de cada una de las metodologías expuestas.

En la Figura 7 se muestra un diagrama que pretende esquematizar la metodología empleada en la Fase I del proyecto: el desarrollo de los contenidos. La descripción de cada uno de los elementos de la metodología es la que sigue:

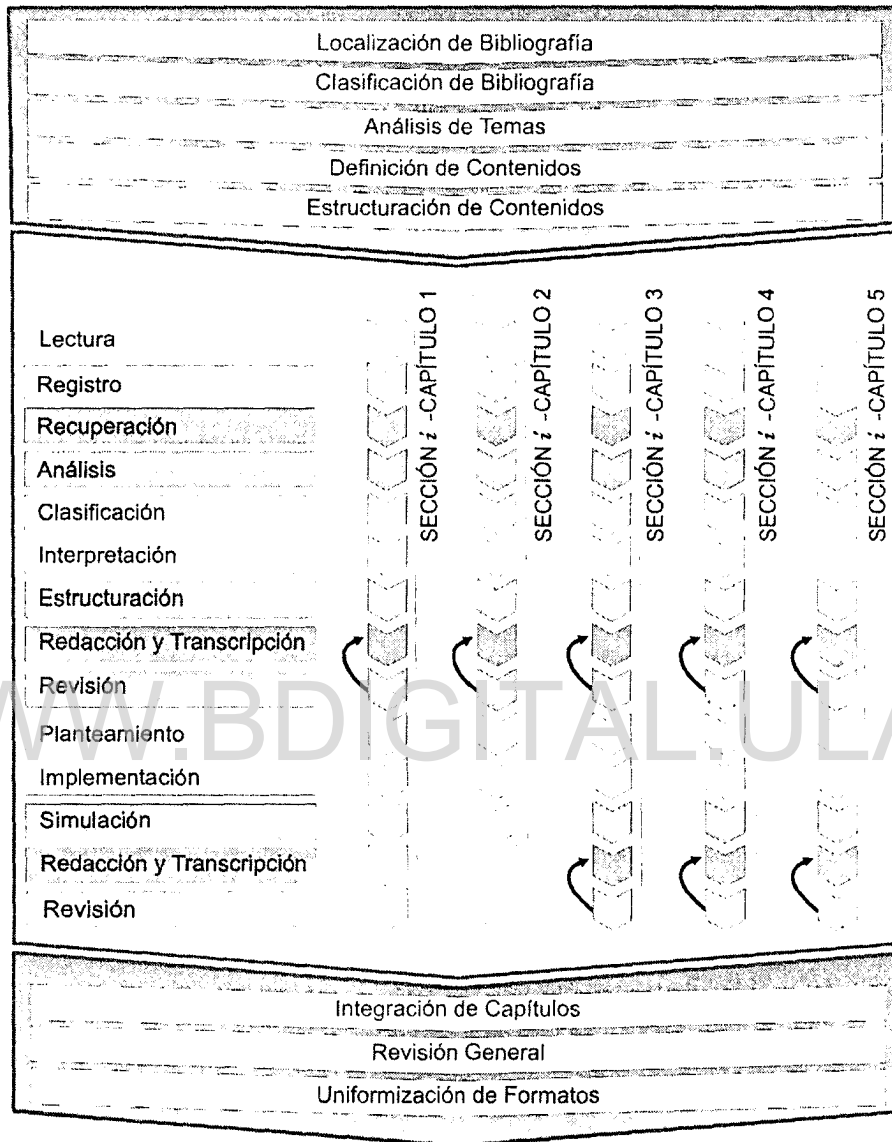


Figura 7. Fase I del Proyecto

- Localización de la Bibliografía relacionada con el área definida para la realización del libro. Se recurrió a la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes, a libros de propiedad personal, a solicitud

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

de préstamos personales y a consultas efectuadas en Internet, a través de los motores de búsqueda más usuales. Se emplearon bibliografías escritas en Español y en Inglés.

- Clasificación de la Bibliografía: se clasificó la bibliografía de acuerdo a la relación de sus contenidos temáticos con el área de interés y a la calidad de sus contenidos.
  
- Análisis de Temas: se realizó un análisis de los temas contenidos en cada uno de los recursos bibliográficos que resultaron seleccionados de la clasificación.
  
- Definición de Contenidos: se realizó un análisis de los temas contenidos en el pénsum de estudios de la carrera de Ingeniería de Sistemas, en el área de Control y Automatización, de la Universidad de los Andes y, de los contenidos temáticos de las bibliografías consideradas de mayor relevancia para el apoyo al estudio de los sistemas de control, respecto al área de diseño de sistemas de control continuos, lineales e invariantes en el tiempo. Consecuencia de este análisis, fue la definición de los contenidos del libro que se desarrolló en el proyecto.
  
- Estructuración de Contenidos: habiendo efectuado una definición del contenido del libro, se realizó un esquema estructural que definiera ahora, de manera preliminar, el cómo sería organizada la información dentro del libro.

La estructuración dio origen a una división del libro en capítulos y secciones.

- Desarrollo de Contenidos: se llevó a cabo una serie de actividades basadas fundamentalmente en la organización, concentración y estructuración lógica de los conceptos creados en la mente, apoyadas por los recursos bibliográficos seleccionados. Fue abordado atendiendo la estructuración de los contenidos realizada previamente. Para cada una de las secciones se llevaron a cabo las siguientes actividades:

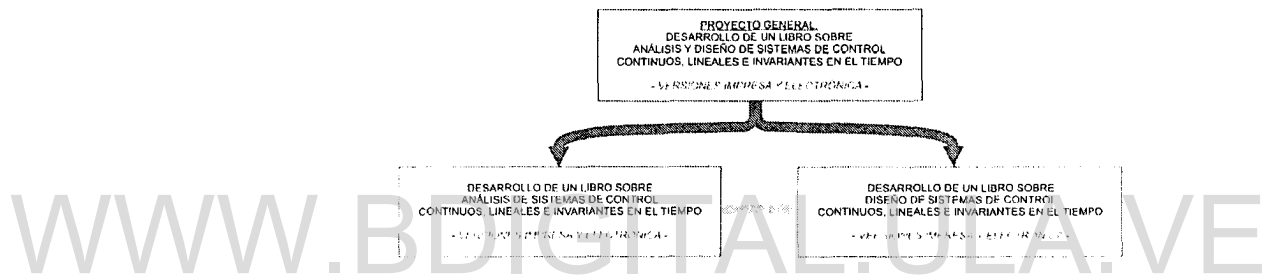
- Lectura de cada uno de los recursos bibliográficos disponibles.
- Registro de cada uno de los recursos bibliográficos donde se hallaba información respecto al aspecto en desarrollo. Para ello se hizo uso de referencias a las bibliografías respectivas.
- Recuperación: habiendo registrado todos los extractos de los libros y documentos que permitirían complementar los conocimientos que se deseaban reflejar en la redacción, se procedió a la lectura de los desarrollos planteados en cada bibliografía.
- Análisis de cada uno de los desarrollos recuperados.
- Clasificación de la información, según relevancia y relación con lo que se deseaba expresar.
- Interpretación de cada uno de los extractos (fundamentos teóricos, matemáticos y métodos de diseño) hallados en cada recurso bibliográfico y asociación con conocimientos propios.

Licencia Creative Commons.

- Estructuración de la información que se deseaba desarrollar en cada sección. En esta etapa se hizo un bosquejo general de la información que contendría la sección en desarrollo.
- Redacción y Transcripción: una vez definida y estructurada la manera en que se presentaría la información en la sección y, teniendo claridad de los conceptos teóricos y metodologías que se escribirían como resultado de la organización de la información en la mente y los recursos empleados como soportes, se procedió a la redacción y transcripción paralela del contenido de la sección. En esta etapa, se hizo una subdivisión de la sección, para aquellos casos en los que se consideró necesario. Se hizo uso de expresiones matemáticas, figuras y tablas, así como referencias a ellas y a citas bibliográficas, pic de páginas y direcciones Web. Las referencias a las expresiones matemáticas, se realizaron de manera de hipervínculos, haciendo uso de una herramienta disponible para el programa empleado en la transcripción (*Mathtype*® para Microsoft Word®). La redacción se basó en la suposición de conocimientos de Análisis de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo, los cuales estarían contenidos en la otra parte del proyecto general al que pertenece el presente (ver Figura 8), según verificación de los desarrollos de tal proyecto que se desarrollaba en paralelo a éste, en el tiempo.
- Revisión del contenido redactado para la sección. La revisión se basó en la lectura y comprensión de las ideas que se deseaban

Licencia Creative Commons:

transmitir. La mayoría de los casos, luego de la primera revisión, solicitaba una segunda redacción, de manera de clarificar y corregir aquellos detalles que se consideraran necesarios. En ocasiones, este proceso tuvo que realizarse más de una vez. Esta etapa contemplaba, además, la reestructuración de la información dentro de la sección en desarrollo.



*Figura 10. Particularización dentro del Proyecto General*

- Planteamiento de modelos matemáticos a los cuales se les aplicaría la estrategia de diseño de la sección correspondiente. Esta etapa fue desarrollada para la mayoría de las secciones de los capítulos 3, 4 y 5, capítulos prácticos del libro.
- Implementación de cada una de las estrategias de diseño, empleando codificación de funciones y procedimientos en Matlab®.
- Simulación: de cada una de las estrategias de diseño. Se seleccionaron las simulaciones de mayor relevancia para la ilustración de la estrategia de diseño.

- Redacción y Transcripción de cómo fue abordada la estrategia de diseño para controlar el sistema representado por el modelo matemático planteado. En esta etapa se incluyen tanto textos expositivos, como los resultados numéricos y gráficos de las simulaciones seleccionadas en la etapa anterior.
  - Revisión de la redacción y transcripción del ejemplo desarrollado.
- Integración de los Capítulos: cada capítulo quedaría conformado por sus secciones respectivas; luego, el libro completo, quedó conformado por todos sus capítulos, definidos en la etapa de Estructuración de Contenidos y desarrollados, en la etapa de Desarrollo de Contenidos.
- Revisión General: una vez constituido el contenido del libro, se procedió una revisión general del mismo, que indicaría que ya estaba listo para una edición preliminar.
- Uniformización de Formatos: como el primer paso hacia la edición.

Una de las Reglas para el Uso Exitoso de la Tecnología, según Ulrik Ramsing (Masie, E., 2004) es: “Contenido antes de Tecnología. Cultura antes de Tecnología. Colaboración antes de Tecnología”.

### 3.1.2. Fase II. Elaboración de Aplicaciones de Simulación de las Estrategias de Diseño:

En esta fase se efectuó un levantamiento de información respecto a cómo elaborar herramientas o aplicaciones de simulación en Matlab®, basadas en la estructura lógica empleada en la etapa de Implementación de la Fase I, para cada una de las secciones prácticas del libro. Para ello, se recurrió a la documentación, basada en los archivos de ayuda de Matlab®, foros no comerciales de Matlab® y consultas con usuarios de esta herramienta. Con soporte en este recurso documental, se realizaron ciertas actividades que condujeron a la creación de dichas aplicaciones. El desarrollo de esta etapa conduce al proyecto, entonces, a caracterizarse también como una investigación aplicada, con lo cual se expresa que el proyecto realizado, tal y como es de esperarse por la naturaleza del problema planteado, es un proyecto cuyo tipo de investigación no es único.

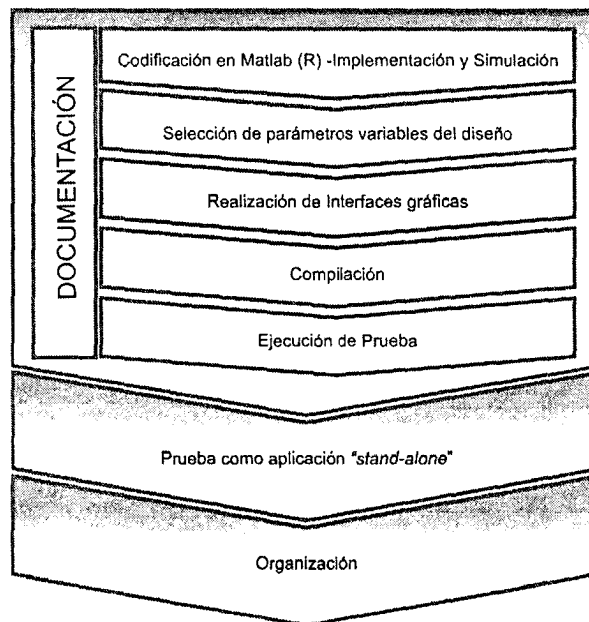


Figura 9. Fase II del Proyecto

Dado que la fase I implicó la implementación y simulación de las estrategias de diseño de los ejemplos ilustrativos de las secciones prácticas en una de sus etapas, para cada uno de estos casos, se aplicó la metodología de la Figura 9.

- Desarrollo de la aplicación:

- Codificación en Matlab® -Implementación y Simulación: en las etapas Implementación y Simulación, de la Fase I, se realizó la codificación en Matlab® para abordar cada una de las estrategias de diseño, en aquellas secciones que lo ameritaban. La aplicación correspondiente a cada ejemplo presentado, se desarrolló sobre esta misma codificación.
- Selección de Parámetros Variables del Diseño: en cada aplicación, se definieron algunos parámetros del diseño respectivo que se consideraron que pudiesen ser modificables por el usuario para interactuar con la aplicación y realizar observaciones de sus efectos sobre la aplicación de la estrategia de diseño.
- Realización de Interfaces Gráficas: una vez definidos los parámetros que se le permitirían al usuario modificar por interacción, se insertaron las líneas de comando que harían posible la realización de las interfaces gráficas necesarias, sobre la codificación inicial de la estrategia.

- Compilación del código fuente realizado, luego de haber validado que funciona correctamente, para convertirlo en una aplicación “*stand-alone*”, es decir, que funciona de manera independiente del programa en el cual fue generado.
  - Ejecución de Prueba en el mismo sistema donde se compiló, para validar su correcto funcionamiento.
- Prueba como Aplicación “*stand-alone*”: pruebas efectuadas en computadores con sistema operativo *Windows XP*® con versiones anteriores de Matlab® *Release 14* y sin ninguna versión de Matlab® instalada.
- Organización: dentro de un esquema de árbol que permita mantener clasificadas las aplicaciones según el capítulo al cual pertenecen. Dicho esquema de aplicaciones fue posteriormente almacenado en un CD-ROM, junto a un programa de libre distribución que genera Matlab® para su ejecución como aplicación *stand-alone*.

### 3.1.2 Fase III. Elaboración de las Presentaciones del Libro:

Luego de haber abordado las fases anteriores, la fase III constituye la metodología que se empleó para lograr las presentaciones actuales del libro; la Figura 10 muestra su diagrama representativo. Esta fase, al igual que la fase II, adiciona a las características documentales de la fase I, características de investigación aplicada.

Cabe recordar en esta fase se ofrecen presentaciones preliminares del libro, las cuales deben ser sometidas a etapas finales más especializadas que conduzcan a presentaciones más adecuadas para publicación y distribución, atendiendo principalmente a que el presente proyecto constituye una parte de un proyecto más general (Figura 8).

- Creación de partes del libro, adicionales a los contenidos: etapa le dio la forma preliminar al libro. El prefacio, el índice, la carátula, las referencias bibliográficas, son elementos que constituyen un libro, aparte de su contenido principal.

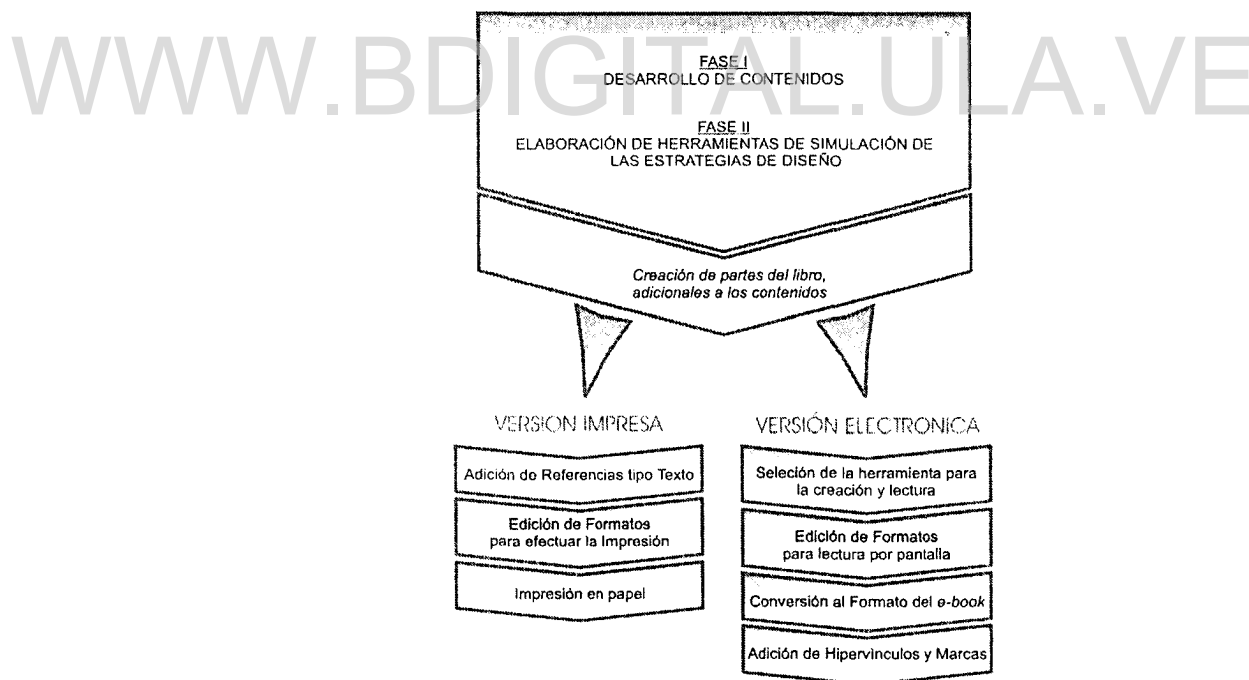


Figura 10. Fase III del Proyecto

- VERSIÓN IMPRESA:

- Adición de Referencias tipo Texto: adición de referencias estáticas al libro, representadas por el mismo texto impreso. Puesto que la versión impresa del libro estará acompañada por un CD-ROM contentivo de las aplicaciones de simulación desarrolladas, se adicionaron referencias directas al CD-ROM y la ubicación exacta de la aplicación respectiva, en las secciones correspondientes.
- Edición de formatos para impresión: se realizó la edición del documento en el cual se transcribió el libro, según el estándar de impresión seleccionado.
- Impresión del libro. Para efectos del proyecto, se realizó la impresión en impresora de escritorio.

- VERSIÓN ELECTRÓNICA –e-book:

- Selección de la herramienta computacional para creación del e-book y lectura: implicó un levantamiento de información basada en búsquedas en Internet, sobre las herramientas disponibles para la creación del *e-book* y las herramientas de lectura, con características de acceso gratuito al lector. En esta etapa, además, se evaluaron las características ofrecidas por cada una de las herramientas halladas.
- Edición de Formatos para Lectura por Pantalla: implicó la edición del documento en el cual se transcribió el libro, según un estándar seleccionado para ofrecer una lectura cómoda por pantalla.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

- Conversión al formato del *e-book*: se refiere a la conversión del documento que contiene al libro en forma digital, al formato seleccionado para visualizar el libro electrónico y proveerlo de las herramientas de lectura.
- Adición de Hipervínculos y Marcas: se adicionaron hipervínculos y marcas de páginas, atendiendo un modelo de referencias para el recorrido no lineal, automático, del libro. La mayoría de las referencias creadas en esta etapa se destinaron para la ejecución de las aplicaciones de simulación desarrolladas, así como para la ubicación directa de las figuras, tablas y secciones dentro del libro, sobre el *e-book* creado. Los hipervínculos a las expresiones matemáticas fueron realizados en el proceso de transcripción, al mismo tiempo que se crearon las referencias a ellas, como resultado de la redacción.

### 3.2 Resultados del Proyecto

La metodología y procedimientos descritos anteriormente, suponen el logro de un producto final conformado de contenidos sobre el área de Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo, presentados en las dos versiones de libro que hoy en día se utilizan, para las cuales se han definido formatos específicos. Como soporte al contenido desarrollado para ofrecer al lector los conocimientos básicos que necesita para iniciarse en el área, se realizó un conjunto de aplicaciones de simulación de las estrategias

de diseño presentadas en el libro, aplicadas particularmente sobre los modelos matemáticos que se plantearon en las secciones prácticas del libro.

### 3.2.1 El Contenido

Como ya se ha mencionado, el libro en forma general, está estructurado en capítulos y secciones que permiten clasificar la información, respecto al tema particular del cual tratan, según se muestra en la Tabla 2. Se emplearon divisiones adicionales de las secciones, en aquellos aspectos que se consideró pertinente. Anexos al contenido, se presentan los códigos

realizados en Matlab® para llevar a cabo la implementación de cada estrategia de diseño.

El libro está constituido por aproximadamente 330 páginas de contenido y 100 páginas de códigos.

En el Capítulo 1: “Diseño de Sistemas de Control”, se ofrece al lector una introducción al Diseño de Sistemas de Control, donde se consideran los términos básicos que debe dominar para iniciarse en el área, la relevancia del papel que desempeñan los controladores dentro de un esquema de control, cuáles son los objetivos básicos del diseño y los métodos fundamentales que pueden asociarse a esta área de la Ingeniería. Además, bajo la suposición de conocimientos previos sobre Análisis de Sistemas de Control, le presentan cuáles son las características que habrán de considerarse para determinar las especificaciones de un problema de diseño. Se toma en consideración el uso de herramientas tecnológicas disponibles en la actualidad y, se presentan algunas situaciones

de la vida real donde los sistemas de control han desempeñado un papel de gran importancia.

**Tabla 2. Contenido del Libro**

1	<i>Diseño de Sistemas de Control</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.1 Introducción</li> <li>1.2 Generalidades de los Sistemas de Control</li> <li>1.3 Los Controladores</li> <li>1.4 Objetivos y Métodos de Diseño</li> <li>1.5 Especificaciones de los Sistemas de Control</li> <li>1.6 Herramientas Actuales de Diseño</li> <li>1.7 Artículo Complementario</li> </ul>
2	<i>La Realimentación en los Sistemas de Control</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2.1 Introducción</li> <li>2.2 Sistemas en Lazo Abierto y en Lazo Cerrado</li> <li>2.3 Compensación de Sistemas de Control</li> <li>2.4 Configuraciones de los Sistemas de Control Realimentados</li> <li>2.5 Efectos Positivos de la Realimentación vs. Costos de la Realimentación</li> <li>2.6 Presentación de Algunos Métodos de Control por Realimentación</li> </ul>
3	<i>Métodos de Diseño: El Lugar de las Raíces</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3.1 El Lugar de las Raíces como Método de Diseño</li> <li>3.2 Ajuste de la Ganancia</li> <li>3.3 Efectos de la Compensación en el Diseño de Sistemas de Control</li> <li>3.4 Diseño de Compensadores por Atraso de Fase</li> <li>3.5 Diseño de Controladores PI</li> <li>3.6 Diseño de Compensadores por Adelanto de Fase</li> <li>3.7 Diseño de Controladores PD</li> <li>3.8 Diseño de Compensadores por Atraso-Adelanto</li> <li>3.9 Diseño de Controladores PID</li> <li>3.10 Diseño de Compensación en Paralelo</li> <li>3.11 Comentarios Finales</li> </ul>
4	<i>Métodos de Diseño: La Respuesta en Frecuencia</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4.1 Introducción</li> <li>4.2 La Respuesta en Frecuencia como Método de Diseño</li> <li>4.3 Criterios de Desempeño para el Diseño utilizando la Respuesta en Frecuencia del Sistema</li> <li>4.4 Ajuste de la Ganancia</li> <li>4.5 Diseño de Compensadores por Atraso de Fase</li> <li>4.6 Diseño de Compensadores por Adelanto de Fase</li> <li>4.7 Diseño de Compensadores por Atraso-Adelanto</li> <li>4.8 Diseño de Controladores PI, PD y PID utilizando la Respuesta en Frecuencia</li> <li>4.9 Comentarios Finales</li> </ul>
5	<i>Métodos de Diseño: El Espacio de Estados</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5.1 Introducción</li> <li>5.2 Representación en el Espacio de Estados y el Diseño</li> <li>5.3 Función de Costo en el Diseño basado en la Respuesta Transitoria</li> <li>5.4 Control por Realimentación del Vector de Estados</li> <li>5.5 Observadores de Estado: El Observador de Luenberger</li> <li>5.6 Diseño de Controladores PI, PD y PID para sistemas de Primero y Segundo Orden por Asignación de Polos</li> <li>5.7 Sistemas con Retardo</li> <li>5.8 Diseño de Controladores P, PI y PID utilizando los Métodos de Ziegler-Nichols</li> <li>5.9 Diseño de Controladores Integrales</li> <li>5.10 Control Óptimo en la Realimentación del Vector de Estados de Sistemas Lineales</li> <li>5.11 Introducción al Diseño de Control por Modelo Interno (IMC)</li> <li>5.12 Introducción al Control Adaptativo</li> </ul>

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

En el Capítulo 2: “La Realimentación en los Sistemas de Control”, se hace una presentación de la realimentación en los sistemas de control, como esquema principal para la definición de un sistema de este tipo, el cual puede dar origen a cualquier cantidad de esquemas de control más complejos, tales que atiendan la estrategia del diseñador y las necesidades del sistema, en cuanto a control se refiere. La realimentación como medio para establecer características de autorregulación dentro del sistema y, el uso de elementos capaces de modificar las dinámicas del mismo, en búsqueda del logro de objetivos de diseño trazados, conducen a la presentación de una definición preliminar de la Compensación dentro de los sistemas de control en este capítulo, la cual será expandida en los capítulos del libro que se dedican a la presentación de los Métodos de Diseño específicos. A modo de ofrecer al lector una visión general sobre las configuraciones de los sistemas de control realimentados, también se presentan algunos ejemplos de éstas dentro del capítulo, así como algunos métodos que se dedican al diseño de sistemas de control para asumir una configuración de realimentación. Además, se ofrece una sección que permitirá al lector advertirse sobre las ventajas que ofrecen los sistemas de control y los costos que implica el pretender el aprovechamiento de las mismas.

En el Capítulo 3: “Métodos de Diseño: El Lugar de las Raíces”, se presenta el diseño de sistemas de control haciendo uso del método gráfico denominado Lugar de las Raíces, el cual está definido en el espacio de los números complejos donde se ubican las raíces del sistema en lazo cerrado para distintas ganancias de control y, en otros casos, para variaciones en sus parámetros. Se presentan los fundamentos teóricos para abordar las estrategias de ajuste de ganancia, del diseño de compensadores por atraso de fase, adelanto de fase y atraso-adelanto, así como del diseño de controladores PI, PD y PID, todos ellos.

suponiendo conexión una en serie al sistema, del elemento adicional de control o compensación. Para cada una de las estrategias presentadas, se ofrece un ejemplo de aplicación de las mismas, desarrollado y documentado mediante una redacción expositiva y el uso de las imágenes gráficas que reflejan los resultados de las simulaciones efectuadas en el lenguaje de computación técnica Matlab®. Adicional a la presentación de estas estrategias de diseño para conexiones en serie, se presenta el diseño de compensación en paralelo de una manera generalizada, como estrategias derivadas por analogía del diseño de compensación en serie.

El Capítulo 4: “Métodos de Diseño: La Respuesta en Frecuencia”, está orientado hacia el uso de las respuestas del sistema representadas comúnmente por los diagramas de Nyquist y los diagramas de Bode, los cuales surgen de las técnicas analíticas de la Teoría Clásica de Control para estudios en el dominio de la frecuencia y el uso de una metodología de diseño basada en características de esta índole, ampliamente conocidas en la mayoría de los sistemas. El desarrollo de este capítulo se basa en herramientas gráficas de análisis concebidas para ilustrar los comportamientos en el dominio en estudio, empleándose ahora en la implementación de los métodos básicos de diseño: ajuste de ganancia, compensadores en atraso, adelanto, atraso-adelanto, y controladores PI, PD y PID, todos ellos, conectados en serie al sistema. En su mayoría, el diseño estará soportado fundamentalmente por el uso de los diagramas de Bode. Para una mejor visualización de los comportamientos de las variables en términos de magnitudes físicas en el tiempo, se emplean las relaciones existentes entre las respuestas frecuenciales y las respuestas temporales.

Los métodos de diseño que se utilizan para abordar el problema de control suelen adaptarse a los requerimientos y a las condiciones que presenta el sistema tanto en su dinámica, como en la información que el ingeniero de control conoce sobre el caso. Diversos sistemas se presentan con dinámicas SISO (*single input-single output* –una entrada-una salida) y comportamientos lineales, para los cuales los métodos basados en la función de transferencia se adaptan fácilmente. Sin embargo, otra gran parte de los sistemas se presentan con características no lineales e incluso con más de una entrada y más de una salida (sistemas MIMO - *multiple input-multiple output* –múltiples entradas-múltiples salidas), para los cuales dichos métodos no son apropiados. Esta particularidad puede ser resuelta en el diseño utilizando un modelo del sistema representado en ecuaciones diferenciales que determinan el espacio de estados que describe su desempeño en el espacio del tiempo. En el Capítulo 5: “Métodos de Diseño: El Espacio de Estados”, se presentan algunos métodos de control basados en esta filosofía, sobre los cuales se han de apoyar muchas otras técnicas que han surgido hasta el momento. Dentro de éstos se consideran: la realimentación del vector de estados como un proceso de ajuste de ganancias de realimentación de cada una de las señales del sistema que definirán la acción de control, el diseño de observadores de estado que solventen el problema de la no disposición de las señales para emplearlas dentro de las estrategias de control, en aquellos casos que sea posible y necesario, el diseño de controladores PI, PD y PID por asignación de polos y por los métodos de Ziegler-Nichols, el diseño de controladores integrales y, a modo de introducción a esquemas de control más especializados y complejos, se presenta el control óptimo según el segundo método de Liapunov, el control por modelo interno y el control adaptativo; tal que ofrezca al lector un estímulo a la continuación de sus estudios en el diseño de sistemas de control.

### 3.2.2 Aplicaciones de Simulación de las Estrategias de Diseño

La simulación por computadoras permite, dentro del diseño de sistemas de control, asistir el problema de riesgo al que se puede someter un sistema para analizar su comportamiento ante cambios efectuados, aún de que estos últimos hayan sido realizados atendiendo a estrategias basadas en metodologías de diseño bien abordadas. Se utilizó el lenguaje de computación técnica Matlab®, *Release* 14, para efectuar las simulaciones necesarias que permitieran ilustrar las estrategias de diseño presentadas teórica y prácticamente dentro de los contenidos del libro y, convertirlas luego en aplicaciones de los ejemplos particulares estudiados en el mismo. Se realizaron códigos fuente programados según el lenguaje que soporta esta herramienta, haciendo uso de los comandos de la librería de Control de la misma.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

#### 3.2.2.1 Descripción:

Las aplicaciones permitirán al usuario, la asignación de ciertos parámetros y especificaciones del diseño, los cuales fueron definidos por criterios propios respecto a qué valores sería conveniente que el lector modificara para observar los efectos que estos cambios producen sobre el sistema. Cada aplicación hace la solicitud de los parámetros por medio de cajas de diálogo, en el formato preestablecido por *Windows*®. De igual manera, por medio de una ventana de mensaje de formato *Windows*®, ofrece al usuario, los resultados numéricos del diseño y las respectivas simulaciones en ventanas de figura, éstas últimas en formato propio de Matlab®.

Por ejemplo, una de las aplicaciones se dedica al diseño de un controlador PD para un sistema en particular, usando el método de la respuesta en frecuencia. La aplicación solicita al sistema la definición de los parámetros de entrada: N° de veces de mejora del error en estado estacionario, deseada y, el nuevo Margen de Fase que se desea que tenga el sistema, luego del diseño. La estrategia supone el uso de un factor particular del diseño, el cual también se solicita definir por parte del usuario. Adicional a ello, se le proveen ciertas instrucciones al usuario, mostradas sobre la figura que contiene uno de los diagramas de Bode empleados, para que el usuario ubique los puntos de corte a partir de los cuales, el algoritmo de cálculo, determinará el valor de los parámetros que conducirán a la determinación de los coeficientes del controlador PD. Finalmente, la aplicación muestra los resultados numéricos y la simulación correspondiente del sistema controlado. El Anexo 1 muestra imágenes de los cuadros de diálogo y las ventanas de figura generados en esta aplicación (ej4\_6.exe).

### **3.2.2.2 Generación:**

Las aplicaciones de simulación *stand-alone*, resultaron de la compilación de los códigos fuente realizados, almacenados como funciones *.m*, haciendo uso del compilador interno de Matlab® y la línea de comando:

```
>> mcc -m ejemplo.m
```

donde, *ejemplo.m* es el nombre de la función que contiene al código fuente. Los nombres de las funciones de cada aplicación, fueron estandarizados según la norma

establecida para ello: *ejx\_y.m*; siendo *x*, el número del capítulo e *y*, el número del ejemplo dentro del capítulo. Algunas funciones utilizan funciones personales, que fueron creadas para ser utilizadas por varias estrategias de diseño y evitar una codificación redundante. El modificador *-m* empleado en el comando de compilación, es el llamado a un macro preescrito en Matlab® para la conversión de la función *.m* a una función en lenguaje de programación *C* y generar un ejecutable de esta última.

El resultado de la compilación para la función *ejemplo.m*, es el conjunto de archivos:

*ejemplo.exe*

*ejemplo.ctf*

*ejemplo\_main.c*

*ejemplo\_mcc\_component\_data.c*

de los cuales, para efecto del uso de las aplicaciones, sólo se dispuso de los archivos: *ejemplo.exe*, ejecutable de la aplicación y, *ejemplo.ctf*, archivo generador de las librerías necesarias para la ejecución de la aplicación; puesto que los dos últimos, son archivos utilizables para aquellos casos en los que se deseen desarrollar aplicaciones en el lenguaje de programación *C* y hacer uso de las funciones creadas inicialmente en Matlab®, convertidas a este otro lenguaje en archivos *.c*.

### 3.2.2.2 Organización:

Las aplicaciones fueron almacenadas en un CD-ROM, organizadas por capítulos, en carpetas particulares para cada una, como se muestra en la Figura 11. Cada carpeta



**Figura 11. Organización interna del CD-ROM**

contiene la aplicación (archivo *.exe*) y una carpeta *ejemplo\_mcr* que contiene las librerías necesarias para su ejecución: archivos *.dll*, *.m* y *.csf* de código no accesible. generadas por la activación del generador *ejemplo.ctf* como resultado de la primera ejecución de la aplicación, recordando que *ejemplo* es el nombre de cada función particular.

### 3.2.2.3 Recursos:

Para la ejecución de cualquiera de las aplicaciones de simulación creadas, es necesario contar con un sistema operativo *Windows 2000®* o *Windows XP®*, debido a requerimientos impuestos por Matlab® y, obviamente con una unidad de CD-ROM como recurso físico.

El uso de estas aplicaciones requiere la instalación previa de un conjunto de librerías del sistema que se necesitan para su ejecución, el *Matlab® Component Runtime*, cuyo paquete de instalación está igualmente contenido en el CD-ROM de aplicaciones. La instalación de este componente requiere un espacio en disco duro de 226MB. En cuanto al uso de recursos de memoria virtual empleados por cada aplicación durante la ejecución, en promedio, cada una de ellas solicita 75MB de memoria.

### 3.2.3 Modelos de Presentación

Se efectuó una presentación preliminar del libro en ambas versiones propuestas dentro del proyecto. La acotación “preliminar”, se refiere a que aún los contenidos del libro se encuentran en revisión por parte de docentes e investigadores del área, cuyas opiniones y observaciones se consideran de gran importancia para la emisión de los modelos a una publicación y distribución formal.

### 3.3.3.1 Versión Impresa:

La versión impresa del libro es el resultado de la composición de todos sus elementos constituyentes: portada, prefacio, índice, contenidos, bibliografía. Dentro del libro se encuentran referencias estilo texto para la ubicación manual de expresiones matemáticas, figuras, tablas, notas de pie de página, referencias bibliográficas, secciones previas, páginas Web y códigos fuentes desarrollados en Matlab® para cada ejemplo práctico, así como a las aplicaciones contenidas en el CD-ROM de aplicaciones creado, el cual será incluido dentro de esta versión como un recurso adicional. Se asumió un formato preliminar de impresión en papel tamaño carta.

El usuario deberá disponer de los recursos necesarios para la ejecución de las aplicaciones de simulación que le permitan complementar la documentación ofrecida en el contenido del libro impreso.

### Publicación y Distribución:

La publicación del libro requiere previamente una formalización de la edición del mismo, la cual está sujeta a la uniformización de formatos para el proyecto global al cual se ha hecho referencia y, a las condiciones que imponga la imprenta o la editorial que se encargará de su impresión. Se esperaba lograr una publicación vía Web. La distribución, como etapa posterior a la publicación, es todavía un proceso desconocido, pero obviamente deberá hacer uso de los recursos físicos.

### 3.3.3.2 Versión Electrónica

El *e-book* o versión electrónica del libro, contiene los mismos elementos de la versión impresa, inclusive el CD-ROM de aplicaciones, por sus requerimientos de espacio en memoria física, de aproximadamente 140MB. Como ventaja práctica sobre la versión impresa, hace uso de hipervínculos para la ubicación automática de las referencias y acceso a páginas Web y ejecución las aplicaciones de simulación almacenadas en el CD-ROM, referencias éstas contenidas en la versión impresa como sólo texto. La Figura 12 muestra un diagrama de relaciones que modela el sistema de hipervínculos implementado para el *e-book*.

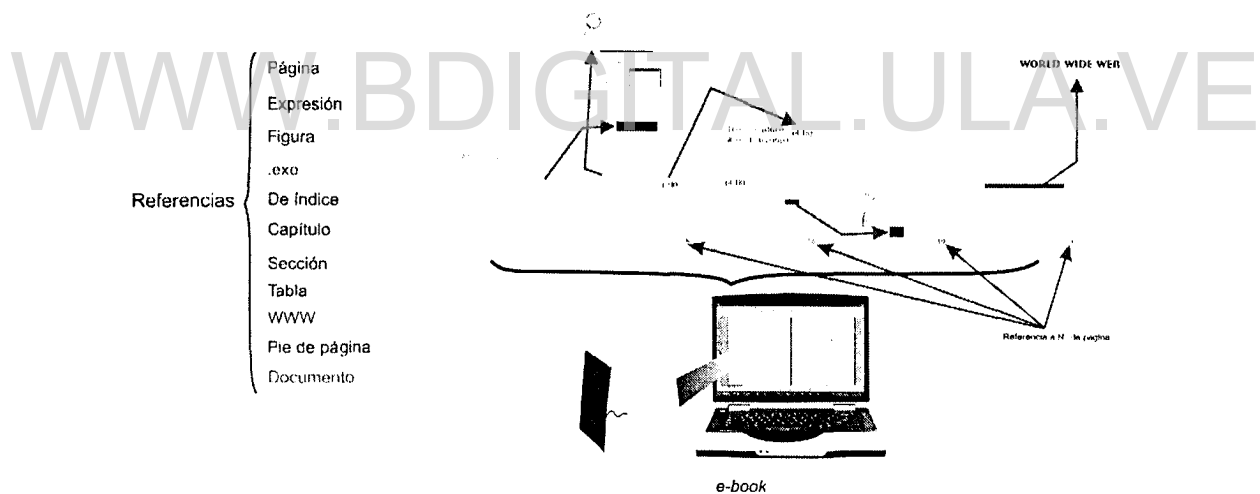


Figura 12. Modelo de relaciones del sistema de hipervínculos

El *e-book*, como se ha mencionado previamente, fue realizado en formato .PDF, el cual, para ofrecer todas las ventajas de libro electrónico de *Adobe Reader 6.0*<sup>®</sup> como sistema de lectura, debe ser sometido a un proceso adicional de conversión, al

cual no se recurrió por no disponer de la herramienta necesaria para ello. Tales ventajas se refieren a las herramientas de lectura: comentarios, resaltado, marcas, diccionario, entre otras. Sin embargo, el formato actual tiene características de seguridad, de manejo de hipervínculos y marcas de página propias del autor y búsqueda automática de texto.

### Publicación y Distribución

La idea que se sostiene respecto a la publicación de esta versión es Internet: sin embargo, aún no se ha definido la manera en que será efectuada. Respecto a la distribución del *e-book* el propósito es ofrecer su descarga desde un sitio en Internet y la solicitud del CD-ROM desde el mismo sitio, para su recepción física a domicilio. De esta manera, el usuario dispondrá de manera inmediata de los contenidos del libro; sólo deberá poseer la herramienta de lectura *Adobe Reader 6.0*® instalada en su computador, para aprovechar todas las ventajas ofrecidas en el *e-book*. Este programa es de distribución gratuita y puede ser descargado desde el sitio Web de *Adobe*® y está disponible incluso para plataformas distintas a *Windows*®.

### **3.3 Conocimientos Previos para el Aprovechamiento de los Recursos generados en el Proyecto**

En contraste con los conocimientos previos que debe tener un estudiante para el estudio del Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo presentados

en la sección 2.2 (Figura 2), para el mejor aprovechamiento de los recursos ofrecidos en este proyecto, se define el perfil que deberá tener el lector por medio de la Figura 13.

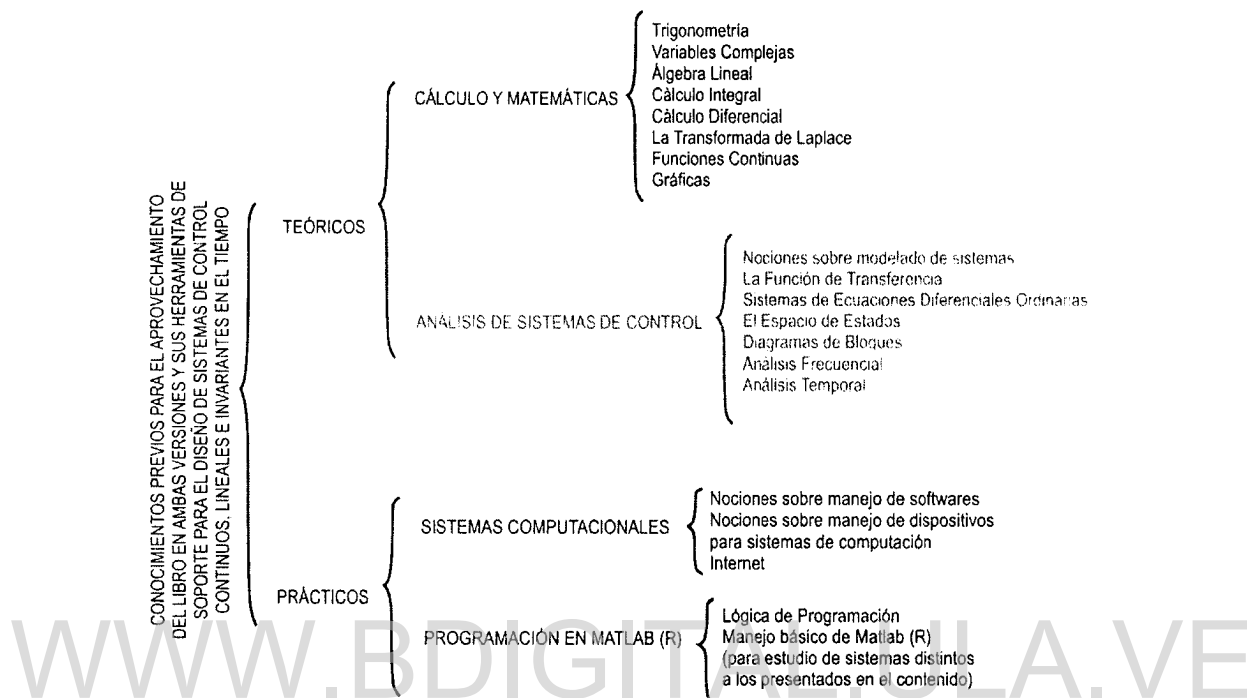
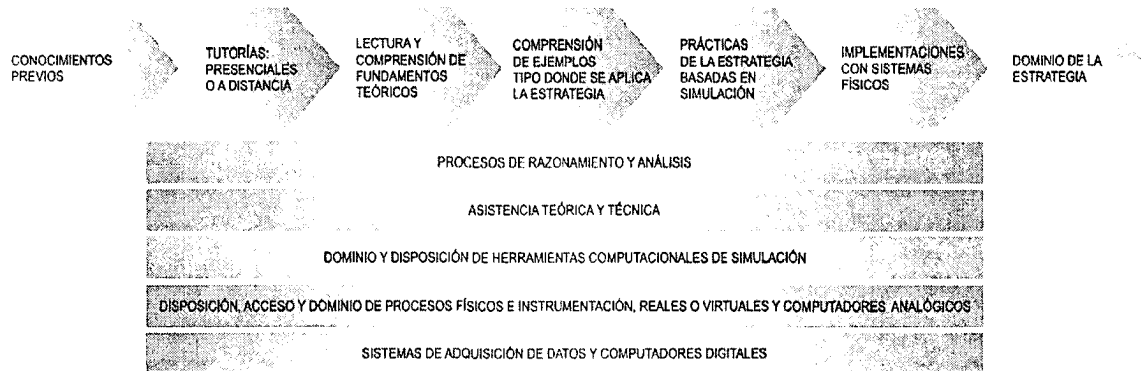


Figura 13. Conocimientos Previos para el Aprovechamiento de los Recursos

### 3.4 Actuación del producto resultante del proyecto dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje de las estrategias de diseño

En esta última sección se pretende ubicar las etapas del proceso de enseñanza-aprendizaje donde se espera que tenga impacto el uso de los recursos ofrecidos por este proyecto. La Figura 14 representa cada una de estas etapas que, a criterio propio, serán las que perciban la influencia de los conocimientos que se pretenden transmitir. A continuación se ofrece una justificación de ello:



*Figura 14. Etapas de influencia*

- Conocimientos Previos: realimentación del conocimiento adquirido sobre otras estrategias y fundamentos teóricos previos.

- Lectura y Comprensión de Fundamentos Teóricos: los recursos ofrecidos en el libro (ambas versiones) están constituidos principalmente por contenidos teóricos que abarcan los temas básicos para el estudio del área.

- Comprensión de Ejemplos Tipo donde se Aplica la Estrategia: para cada una de las estrategias de diseño, se presenta un ejemplo tipo representado por un modelo teórico. En cada sección se expone todo el procedimiento efectuado para abordar la estrategia de diseño, respaldando la redacción textual con manipulación de expresiones, resultados numéricos y simulaciones. Las simulaciones son mostradas, tanto por medio de figuras insertadas dentro del contexto, como por medio de la ejecución de la aplicación de

simulación respectiva, empleando las especificaciones y parámetros de diseño utilizados en el respectivo ejemplo desarrollado en el libro.

- Prácticas de la Estrategia Basadas en Simulación: la disposición de las aplicaciones de simulación que soportan a los contenidos del libro, permite efectuar prácticas concretas de cada estrategia sobre cada sistema específico para el cual fue diseñada la aplicación.
- Dominio de la Estrategia: para lograr el dominio completo de una estrategia, son necesarios ciertos aspectos de los que ya se ha hecho mención. Sin embargo, se considera que si los recursos ofrecidos tendrán impacto sobre algunas etapas del proceso de enseñanza-aprendizaje, entonces también lo tendrá sobre el dominio de la estrategia.
- Dominio y Disposición de Herramientas Computacionales de Simulación: los recursos ofrecidos: códigos fuente de Matlab ® y aplicaciones de simulación con características *stand-alone*, intentan contribuir al dominio de las herramientas de simulación y a solventar el problema de disposición de ellas, respectivamente. Sin embargo, debe acotarse que, el facilitar un código fuente no resuelve la necesidad de aprender a programar, sólo ofrece una referencia a cómo hacerlo para resultados muy específicos. Por otra parte, las aplicaciones ofrecidas, resuelven el problema de carencia de herramientas computacionales de simulación de manera limitada, pues están dedicados expresamente al diseño de sistemas de control específicos a los ejemplos planteados en cada sección del libro.

Particularizando respecto a las dos versiones del libro generadas, en principio, ambas podrían generar el mismo impacto. Sin embargo, debido a las herramientas de lectura y accesos automáticos a referencias que ofrece el *e-book*, se podría esperar que éste ofreciera un mayor impacto en el proceso para aquellos quienes poseen el dominio necesario sobre los recursos computacionales básicos; además debido la disponibilidad inmediata y en línea que éste ofrecería y el bajo costo económico que normalmente presenta un libro en versión electrónica, respecto a la impresa, que contribuirían a resolver el problema de no-disponibilidad de materiales de apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje.

Respecto al *e-learning*, puede considerarse que, el mejor impacto lo sucederá el *e-book*, dadas todas sus características y asociación a los requerimientos de los recursos que se emplean en el *e-learning*.

## CAPÍTULO 4

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo ofrece las conclusiones emitidas respecto al proyecto realizado y las recomendaciones surgidas como consecuencia de los resultados obtenidos, planes futuros y posibilidades visualizadas para posteriores investigaciones.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

#### 4.1 Conclusiones

El diseño de sistemas de control constituye un área estratégica de alto significado para la Ingeniería, visto desde todos sus ámbitos, incluso para aquellas ramas distintas a ella, que reclaman el control de alguna o algunas de las variables de los procesos que estudian. Particularmente enfocar el desarrollo de un libro hacia la temática de Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo, permite ofrecer a personas que inician su formación en las líneas de estudio de los Sistemas de Control, una herramienta muy valiosa para crear bases sólidas en cuanto a fundamentos teóricos y prácticos sobre la aplicación de una estrategia de diseño de esta índole. Emplear el término herramienta, permite concebir el resultado del proyecto, no sólo como un libro de texto, en cualquiera de sus versiones, sino como un recurso de apoyo a los procesos de enseñanza-aprendizaje

pues, además de contenidos escritos, ofrece un conjunto de aplicaciones de simulación que permiten la validación de los resultados descritos en el mismo para cada estrategia de diseño que allí se aborda y, realizar pruebas por variaciones en los parámetros que definen el diseño de sistemas de control para casos muy concretos, permitiéndole a quien lo estudia, verificar los efectos que tales cambios producen sobre el diseño, dado que la generalización en cuanto a técnicas para abordar los problemas de diseño, no es válida, sobre todo para el diseño basado en las respuestas frecuenciales del sistema.

Señaladas las características que soportan los contenidos del libro de una manera electrónica por medio de aplicaciones de simulación y, si además se consideran las ventajas que el *e-book* puede ofrecer respecto al libro en versión impresa, entonces se puede considerar que el constante avance de la tecnología ofrece cada vez mayores posibilidades de desarrollo, brindando nuevas perspectivas para la educación. Con ello y, recordando el proceso evolutivo por el que ha atravesado la necesidad de utilizar un lenguaje que permita transmitir el conocimiento y el pensamiento, se puede hablar de que la manera de organizarlos y transferirlos a medios que puedan estar al alcance de un entorno social interesado en éste, encuentra cada vez una mayor libertad, atendiendo a la cantidad de posibilidades en las que puede efectuarse, por combinación entre ellas y aprovechamiento de las tecnologías de vanguardia.

Se puede concluir la presentación de este proyecto, afirmando el cumplimiento de las siguientes hipótesis:

- Es posible organizar un conjunto de conocimientos adquiridos, apoyados y complementados por compilación bibliográfica, sobre el Diseño de Sistemas de Control Lineales, Continuos e Invariantes en el Tiempo para desarrollar el contenido de un libro orientado al apoyo del aprendizaje de estudiantes y profesionales del área de la Ingeniería.
- Es posible generar dos maneras distintas de presentación de un libro, con propiedades particulares, cuyo contenido en común, se considera de importancia al área a la cual aplica.
- El aprovechamiento adecuado y necesario de las bondades tecnológicas para crear la versión electrónica de un libro con características multimedia, permite presentar los contenidos técnicos e ingenieriles de relevancia en la materia como un sistema hipermedia que contribuya a una lectura más fluida y al uso de herramientas que soporten la comprensión de las estrategias de diseño y los conceptos que las fundamentan.
- Los lectores de ambas versiones del libro, tendrán la posibilidad de evaluar y analizar la influencia y necesidad de establecer criterios para la selección de los parámetros de diseño al momento de abordar un problema específico, asistidos por aplicaciones de simulación incorporadas a las dos versiones que contienen los fundamentos teórico-prácticos, independientemente de la disposición de herramientas de cálculo computacional.

Por último, no puede dejar de mencionarse que, la capacidad intelectual local, por medio de una alta motivación hacia la investigación y aprovechamiento de los conocimientos académicos adquiridos, es capaz de ofrecer a su entorno profesional y académico, recursos

que contribuyan a la formación en el área, no dejando de lado las ventajas que, para ello, ofrece la tecnología. Así, la tendencia hacia la posibilidad de formación eficaz de profesionales en áreas técnicas como esta, según programas a distancia, se acerca cada vez más a una realidad consumada.

#### **4.2 Recomendaciones**

Al concluir el proyecto presentado, aún quedan algunas cosas por realizar. Entre ellas, la más importante, el continuar sometiendo a revisión los contenidos desarrollados para las versiones de presentación del libro, por parte de personas que se consideren con una preparación suficiente para hacerlo, con miras hacia la publicación de los resultados del proyecto para una verdadera aplicación a estudiantes del área e iniciar el aprovechamiento de estos recursos de apoyo, generados en el proyecto.

Luego de considerar que los contenidos desarrollados han sido aprobados por el equipo de personas seleccionadas u ofrecidas para ello, lo cual es cuestión de cierto tiempo, se deberán hacer las correcciones pertinentes, en base a las observaciones y comentarios de los colaboradores que asistan el proceso de revisión. Además, deberá estandarizarse el formato de presentación del libro, respecto al libro de Análisis de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo que se desarrolló en paralelo al de Diseño, como complemento de éste para dar forma a un proyecto general: El desarrollo de un libro, constituido por dos tomos particulares, sobre Análisis y Diseño de Sistemas de Control Continuos, Lineales e Invariantes en el Tiempo.

Además de la concepción del libro y, aún más, del proyecto general, como un desarrollo de contenidos, debe ubicarse la posibilidad de publicación y distribución del mismo en las casas y empresas dedicadas a ello, con el fin de situarlo al alcance de todos aquellos estudiantes que requieran un material de apoyo como éste y lograr que el objetivo sobre la conformación del libro y sus soportes, como un recurso para el proceso de enseñanza-aprendizaje, sea realmente satisfecho.

Por último, se exhorta a la creación de más desarrollos de esta índole que constituyan aportes a las estrategias de diseño planteadas en el contenido de las versiones del libro que se ofrecen por medio de este proyecto, de manera que el estudiante de habla hispana disponga de recursos actualizados para soportar su proceso de aprendizaje en el área. Podría efectuarse también una evaluación de la metodología empleada en este proyecto para abordar estos nuevos desarrollos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### FUENTES IMPRESAS

- ARIAS, FIDIAS (2004). El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica (4ª edición). Caracas: Editorial Episteme.
- Åström, K. y Hägglund, T. (1995). PID Controllers (2ª edición). Instrument Society of America. E.U.A.
- CARIDAD, MERCEDES (1991). Los Sistemas de Hipertexto e Hipermedios. Madrid: Fundación Germán Sánchez Ruipérez.
- D'AZZO, J. y HOUPIS, C. (1975). Linear Control Systems Análisis and Design- Conventional and Modern. McGraw-Hill Electrical and Electronic Engineering series. E.U.A.
- DORF, RICHARD C. (1986). Sistemas Modernos de Control –Teoría y Práctica (2ª edición). Addison Wesley Iberoamericana. Wilmington, Delaware, E.U.A.
- GENE, F. y POWELL, J.D. (1994). Feedback Control of Dynamic Systems. Addison-Wesley Series in Electrical and Computer Engineering. E.U.A.
- GILLE, J-C; PELEGRIN, M.J. y DECAULNE, P. (1959). Feedback Control Systems. Análisis, Síntesis and Design. McGraw-Hill Book Company, inc. E.U.A.
- KUO, BENJAMÍN (1970). Sistemas Automáticos de Control (2ª edición). Compañía Editorial Continental, S.A. España.
- LEWIS, FRANK (1992). Applied Optimal Control and Estimation. Prentice Hall. New Jersey, E.U.A.

- NISE, NORMAN (1992). Control Systems Engineering. The Benjamín/Cummings Publishing Company, inc. California, E.U.A.
- OGATA, KATSUHIKO (1993). Ingeniería de Control Moderna (2ª edición). Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México.
- SABINO, CARLOS (1994). Cómo Hacer una Tesis y Elaborar todo tipo de Escritos (3ª edición). Caracas: Editorial PANAPO.
- UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL LIBERTADOR –UPEL (2003). Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales (3ª edición). Caracas: FEDUPEL.

#### FUENTES ELECTRÓNICAS

- ACEVEDO, JOSÉ. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. ¿Qué puede aportar la Historia de la Tecnología a la Educación CTS? [Página web en línea] Consultada en Octubre, 2004 en: [www.campus-oei.org/salactsi/acevedo3.htm](http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo3.htm)
- ATHABASCA UNIVERSITY (2004). “*Theory and Practice of Online Learning*”. [Libro en línea] Consultado en Octubre, 2004 en: [cde.athabascau.ca/online\\_book](http://cde.athabascau.ca/online_book)
- BARNES&NOBLE.COM (2004). [Página web en línea]. Disponible en: <http://www.barnesandnoble.com>
- BRASLAVSKY, JULIO. Automatización y Control, UNQ F. Varela. “Control Automático 1” [Documento en línea] Consultado en Abril, 2004 en: [http://csd.newcastle.edu.au/control/SpanishPages/clase\\_slides\\_download/C01.pdf](http://csd.newcastle.edu.au/control/SpanishPages/clase_slides_download/C01.pdf)
- CAGLIANI, MARTÍN. “Historia del Libro”. [Página web en línea] Consultada en Octubre, 2004 en: <http://webs.sinectis.com.ar/mcagliani/libro.htm>
- DE ALVEAR, MARCELO (2000). “Historia del Libro Digital”. [Página web en línea] Consultada en Octubre, 2004 en: [www.cpel.uba.ar/articulos/informatica/LibrosDigitales/dossier/eBook\\_historia.htm](http://www.cpel.uba.ar/articulos/informatica/LibrosDigitales/dossier/eBook_historia.htm)
- DEWAR, JAMES (2000). Association for Computing Machinery. “*The*

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

*Information Age and the Printing Press: Looking Backward to See Ahead*". [Página web en línea] Consultada en Octubre, 2004 en:  
[http://www.acm.org/ubiquity/views/j\\_dewar\\_1.html](http://www.acm.org/ubiquity/views/j_dewar_1.html)

- EBOOKMALL (2004). [Página web en línea]. Disponible en:  
[www.ebookmall.com](http://www.ebookmall.com)
- EPÍGRAFE LTDA. (2004) [Página web en línea]. Disponible en:  
[www.epigrafe.com](http://www.epigrafe.com)
- GOODWIN, G.; GRAEBE, S. Y SALGADO, M. "*Control System Design*". [Página web en línea] Consultada en Enero, 2004 en:  
<http://csd.newcastle.edu.au/control/>
- JOHN WILEY & SONS CANADA, LTD. (2004). [Página web en línea]. Disponible en: <http://www.wiley.ca>
- KEEP, C.; MCLAUGHLIN, TIM y PARMAR R. "*Re-thinking the Book*". [Página web en línea] Consultada en Octubre, 2004 en:  
[www.iath.virginia.edu/clab/hf10240.html](http://www.iath.virginia.edu/clab/hf10240.html)
- LIBROS EN RED (2004) [Página web en línea]. Disponible en:  
[www.librosenred.com](http://www.librosenred.com)
- MUÑOZ, PATRICIA. "Aprendizaje con Nuevas Tecnologías. Paradigma Emergente". [Página web en línea] Consultada en Octubre, 2004 en:  
<http://investigacion.ilce.edu.mx/dice/articulos/articulo5.htm>
- PEARSON EDUCATION SCHWEIZ AG (2004). [Página web en línea]. Disponible en: <http://www.pearson.ch>
- Proyecto *e-book*. [Página web en línea]. Disponible en:  
<http://proyecto-e-book.zonadesign.com.ar>
- Quintana, Hilda. Universidad Interamericana de Puerto Rico. "El diario de lecturas: estrategia efectiva para desarrollar las competencias de redacción y la comprensión lectora". [Página web en línea] Consultada en Octubre, 2004 en:  
<http://cursos.universia.net>
- Real Academia Española (2004). "*Diccionario de la Lengua Española*" (22<sup>a</sup>

Licencia Creative Commons.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
 (CC BY-NC-SA 3.0 VE)

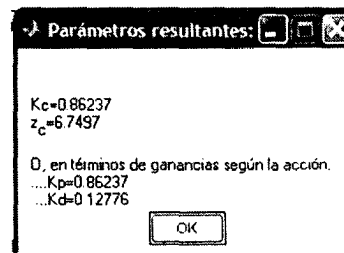
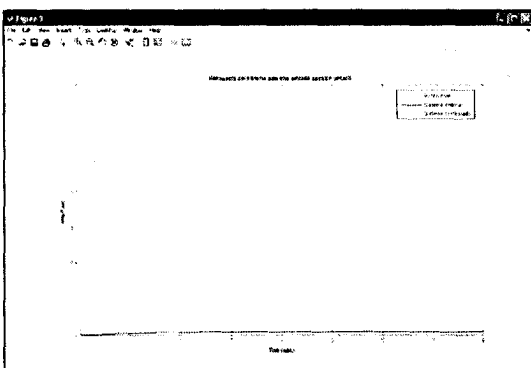
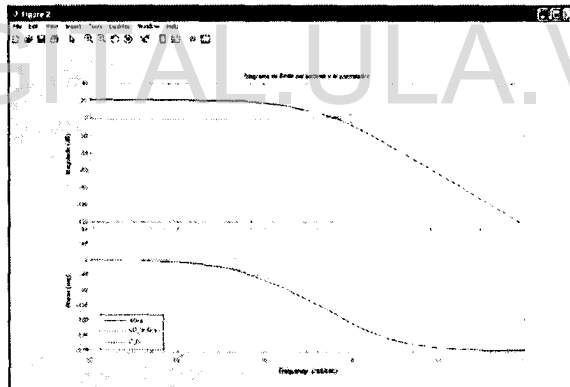
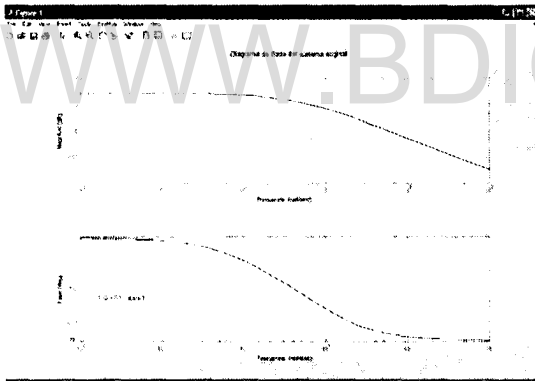
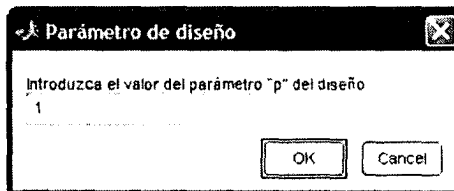
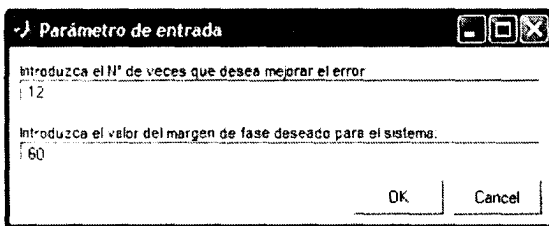
Edición). [Página web en línea]. Disponible en: [www.rae.es](http://www.rae.es)

- Rodríguez, Miguel (2000). Universidad Nacional de Educación a Distancia. “El proceso de Aprendizaje y las Teorías Educativas”. [Página web en línea] Consultada en Octubre, 2004 en: [sensei.ieec.uned.es/~miguel/tesis/node14.html](http://sensei.ieec.uned.es/~miguel/tesis/node14.html)
- Sánchez, J.; Dormido, S. y Morilla, F. Departamento de Informática y Automática, UNED. “Laboratorios virtuales y remotos para la práctica a distancia de la Automática”. [Página web en línea] Consultada en Octubre, 2004 en: [http://cvc.cervantes.es/obref/formacion\\_virtual/campus\\_virtual/sanchez.htm](http://cvc.cervantes.es/obref/formacion_virtual/campus_virtual/sanchez.htm)
- Segura, Sonia (2004). “Modelo Comunicativo de la Educación a Distancia Apoyada en las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la Corporación Universitaria Autónoma de Occidente – CUAO, Cali – Colombia”. *EduTec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa* [Revista en línea] Núm. 17. Consultada en Octubre, 2004 en: [edutec.rediris.es/Revelec2/revelec17/segura\\_16a.pdf](http://edutec.rediris.es/Revelec2/revelec17/segura_16a.pdf)
- The MASIE Center (2004). “701 e-learning Tips” [Libro en línea] Consultado en Octubre, 2004 en: [www.masie.com/701tips/](http://www.masie.com/701tips/)

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

## APÉNDICES

APÉNDICE 1. Imágenes de los cuadros de diálogo y ventanas de figura generadas por la ejecución de la aplicación ej4\_6.exe.



APÉNDICE 2. Un CD-ROM con el *e-book* desarrollado y las aplicaciones *stand-alone* asociadas al mismo.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:  
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)