

La asignatura *Fundamentos de Computadores* en los planes de estudio de la Facultat y Escola U. d'Informàtica de la Universitat Politècnica de València

José Carlos Campelo, Javier Molero, Francisco Rodríguez
{jcampelo,prodrig}@aii.upv.es, jmolero@disca.upv.es
Departament d'Enginyeria de Sistemes, Computadors i Automàtica
Universitat Politècnica de València

Resumen

Este artículo presenta una descripción detallada de la asignatura Fundamentos de Computadores impartida tanto en la Facultat d'Informàtica como en la Escola Universitària d'Informàtica de la Universitat Politècnica de València. Entre otros aspectos, se destacan sus contenidos teóricos y prácticos, la metodología de enseñanza y bibliografía empleadas en su docencia. Por último se incluyen algunas reflexiones extraídas de la experiencia docente en la impartición de la asignatura.

1. Introducción y motivación

La especial situación de la asignatura Fundamentos de Computadores dentro de las titulaciones en Informática que imparte nuestra universidad hace que se deba prestar una especial atención a su diseño y organización docente. Para una gran parte del alumnado se trata de la primera asignatura específica sobre computadores que estudia. Un buen enfoque en cuanto a contenidos y diseño de las experiencias prácticas repercutirá muy positivamente sobre la actitud del alumno hacia asignaturas relacionadas directamente con ésta, tales como las referidas a estructura y arquitectura de computadores.

Esta asignatura está contemplada en las titulaciones ITIS (Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas), ITIG (Ingeniero Técnico en Informática de Gestión) e II (Ingeniero en Informática), siendo impartida por el área de Arquitectura y Tecnología de Computadores de nuestro departamento. En la Tabla 1 se especifican los datos técnicos referidos a la asignatura.

<i>Nombre</i>	Fundamentos de Computadores (FCO)
<i>Centros</i>	Facultat y Escola U. d'Informàtica
<i>Carácter</i>	Obligatoria
<i>Duración</i>	Un semestre (1er curso, 1er semestre)
<i>Alumnos (96/97)</i>	880
<i>Créditos</i>	4.5 teoría y 4.5 prácticas (4 horas/semana de teoría más problemas y 2 horas/semana de media de laboratorio)

Tabla 1. Datos técnicos sobre la asignatura

2. Objetivos de la asignatura

Los objetivos perseguidos por esta asignatura consisten en plantear al alumno los aspectos básicos referidos a los computadores. Para ello se introduce una perspectiva histórica inicial y se llega hasta la programación en lenguaje ensamblador de una máquina real; en el camino se estudia la representación de la información en los computadores y los circuitos digitales con que se construyen. En concreto, podemos formalizar estos objetivos en:

1. Conocer las unidades básicas de un computador y la función de cada una de ellas
2. Entender las distintas fases de la ejecución de una instrucción máquina
3. Contemplar la evolución histórica de los computadores
4. Comprender las diferentes formas de representar la información en un computador
5. Analizar circuitos digitales simples de carácter combinacional y secuencial
6. Interpretar la estructura funcional de una máquina elemental
7. Programar en lenguaje ensamblador

3. Contenidos impartidos

De acuerdo con los objetivos iniciales planteados en el apartado anterior, la materia impartida está estructurada en tres bloques temáticos bien diferenciados, atendiendo en todo momento a una filosofía ascendente (*bottom-up*) en cuanto al nivel de abstracción. La Figura 1 muestra gráficamente la conexión entre estos bloques.

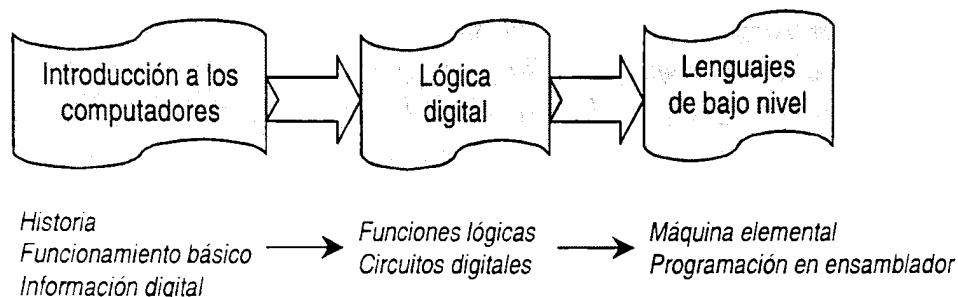


Figura 1. Secuenciación de los bloques temáticos.

El primer bloque presenta al alumno los conceptos fundamentales sobre los que va a girar la asignatura, contemplando desde una visión histórica hasta la representación de la información por los computadores, pasando por su funcionamiento básico; el segundo se dedica única y exclusivamente a la lógica digital, dividiendo su contenido entre circuitos combinacionales y secuenciales. Por último, el tercer bloque se dedica al estudio de los lenguajes de bajo nivel (lenguaje máquina y ensamblador), donde se analiza el comportamiento de una máquina básica y se amplía al caso particular de una máquina real. La Tabla 2 indica los temas integrantes de cada uno de estos tres bloques temáticos junto a su duración temporal.

<i>Bloque I. Introducción a los computadores</i>	
Tema 1. Perspectiva histórica	1 semana
Tema 2. Funcionamiento básico de los computadores	1 semana
Tema 3. Representación digital de la información	2 semanas
<i>Bloque II. Lógica digital</i>	
Tema 4. Conceptos básicos	1 semana
Tema 5. Circuitos combinacionales	1.5 semanas
Tema 6. Circuitos secuenciales	1.5 semanas
<i>Bloque III. Lenguajes de bajo nivel</i>	
Tema 7. Estructura de una máquina elemental	1 semana
Tema 8. Lenguaje ensamblador	2 semanas
Tema 9. Programación en lenguaje ensamblador	2 semanas

Tabla 2. Contenidos teóricos y temporización

En las Tablas 3, 4 y 5 se detallan los puntos principales de cada tema para cada bloque temático. Aunque no aparece reflejado en las tablas, cada uno de los temas incluye un porcentaje de tiempo dedicado a resolver cuestiones y problemas (recuérdese que de los 4.5 créditos de laboratorio hay un total de 1.5 créditos para este menester).

Tema 1. Perspectiva histórica

1. Antecedentes históricos
 2. Las máquinas calculadoras
 3. El nacimiento de los computadores
 4. Las generaciones de computadores
-

Tema 2. Funcionamiento básico de los computadores

1. Estructura básica del computador
 2. Unidades funcionales
 3. La máquina y el programa
-

Tema 3. Representación digital de la información

1. Sistemas de numeración
 2. Operaciones binarias básicas
 3. Representación de números enteros
 4. Representación de números reales
 5. Representación de caracteres
-

Tabla 3. Contenidos por temas del Bloque I

Tema 4. Conceptos básicos

1. Funciones y puertas lógicas
 2. El álgebra de Boole
 3. Formas canónicas de las funciones lógicas
 4. Simplificación de funciones lógicas
-

Tema 5. Circuitos combinacionales

1. Introducción a los sistemas combinacionales
 2. Decodificadores y codificadores
 3. Multiplexores y demultiplexores
 4. La unidad aritmético-lógica
-

Tema 6. Circuitos secuenciales

1. Introducción a los sistemas secuenciales
 2. El biestable S-R
 3. El biestable D
 4. El biestable J-K
 5. El biestable T
 6. Registros y contadores
-

Tabla 4. Contenidos por temas del Bloque II

Tema 7. Estructura de una máquina elemental

1. Ruta de datos elemental
 2. Ruta de datos completa
 3. Unidad central de proceso
 4. Fases en la ejecución de las instrucciones
-

Tema 8. Lenguaje ensamblador

1. Introducción
 2. Arquitectura del procesador MIPS R2000
 3. Instrucciones básicas
 4. Modos de direccionamiento
 5. Formato de instrucciones
 6. Juego de instrucciones
-

Tema 9. Programación en lenguaje ensamblador

1. Uso de los registros y memoria
 2. Programación mediante subrutinas
 3. Llamadas al sistema
-

Tabla 5. Contenidos por temas del Bloque III

La parte de la asignatura correspondiente a las experiencias del alumno en el laboratorio se estructura sobre la base de la temporización de los contenidos teóricos. Las prácticas impartidas se dividen en dos partes: las relacionadas con la lógica digital (1 hasta 8), y las dedicadas al estudio del lenguaje ensamblador (9 hasta 12). La Tabla 6 indica el título de cada sesión de prácticas. La duración de cada una se escoge de manera que en total se impartan los 3 créditos de laboratorio asignados. Hay que destacar también que la fecha de comienzo de las sesiones prácticas, debido a la falta de materia para poder realizarlas, viene situándose tres semanas más tarde del comienzo del curso.

<i>Bloque II. Lógica digital</i>	
Práctica 1.	Manejo básico del entrenador
Práctica 2.	Puertas y circuitos elementales
Práctica 3.	Propiedades de las puertas lógicas
Práctica 4.	Formas canónicas y simplificación
Práctica 5.	Funciones incompletas y simplificación
Práctica 6.	Decodificadores y demultiplexores
Práctica 7.	Biestables y contadores
Práctica 8.	Registros de desplazamiento
<i>Bloque III. Lenguajes de bajo nivel</i>	
Práctica 9.	Introducción al simulador
Práctica 10.	Programación básica
Práctica 11.	Llamadas a subrutinas
Práctica 12.	Programación estructurada

Tabla 6. Distribución de las prácticas

4. Conexión con otras asignaturas

Debido a su carácter fundamental, esta asignatura tiene una conexión muy directa con dos asignaturas impartidas en los dos semestres siguientes y que acaban de analizar las unidades funcionales que conforman el computador. Por otro lado hay otras dos asignaturas más específicas que tratan sobre los PC y diseño de sistemas digitales. Estas asignaturas son:

- *Estructura de Computadores I* (EC1). Asignatura semestral troncal (1er curso, 2º semestre). Estudia la unidad de control y la unidad aritmético lógica.
- *Estructura de Computadores II* (EC2). Asignatura semestral troncal (2º curso, 1er semestre). Estudia la unidad de memoria y la unidad de entrada/salida.
- *Introducción a los Computadores Personales*. Asignatura semestral optativa (1er curso, 2º semestre). Estudia los conceptos sobre computadores particularizados al caso del PC.
- *Diseño Lógico*. Asignatura semestral (2º curso, 1er semestre) obligatoria en ITIS y optativa en ITIG. Estudia el diseño de sistemas digitales tanto de alta como baja integración, haciendo hincapié en la lógica programable y el diseño asistido por computador.

La asignatura Fundamentos de Computadores está incluida en un Proyecto de Innovación Docente (PID) de esta universidad que comparte con las asignaturas EC1 y EC2. Está previsto que las unidades temáticas empleadas en este PID conformen el núcleo de un libro docente que se empleará en el curso que viene, igual que ha ocurrido con las otras dos asignaturas del PID.

5. Métodos de enseñanza empleados

Los contenidos teóricos de la asignatura se imparten en el aula utilizando el método de la clase magistral. La duración de cada sesión es de dos horas, por lo que generalmente se hace un descanso intermedio de diez minutos. En este tipo de sesiones se hace hincapié en los conceptos clave, sobre todo en su relación con las experiencias en el laboratorio y con los contenidos de otras asignaturas de la carrera.

Aunque en principio la mayor dificultad experimentada por los alumnos es la gran avalancha de conceptos nuevos, debemos admitir que cada vez con mayor frecuencia el alumno ya conoce algunos de estos conceptos porque ha tenido contacto con la Informática, bien porque han cursado alguna materia optativa en sus estudios primarios o secundarios, o bien porque proviene de alguna especialidad de Formación Profesional que la trata.

El objetivo de las sesiones prácticas es la experimentación con la mayor cantidad posible de conocimientos explicados en las clases teóricas. Aunque los alumnos ya disponen del boletín de prácticas y han tenido tiempo de estudiarlo, durante la primera media hora el profesor encargado de la sesión explica el objetivo que pretende conseguir la práctica y la manera de realizarla.

6. Herramientas informáticas

Este aspecto ha sido profusamente debatido por los profesores que imparten la asignatura. Aunque todas las opiniones no han sido ni mucho menos conciliadoras, en última instancia se ha optado por emplear un entrenador lógico para las prácticas relativas al bloque de lógica digital, y por un simulador de un procesador real simplificado para las referidas al lenguaje ensamblador.

El entrenador lógico permite la implementación de circuitos combinacionales y secuenciales de una complejidad baja y media utilizando cables para interconectar puertas lógicas, biestables, registros y contadores. También dispone de una serie de zócalos donde se pueden insertar circuitos integrados comerciales de baja de escala de integración.

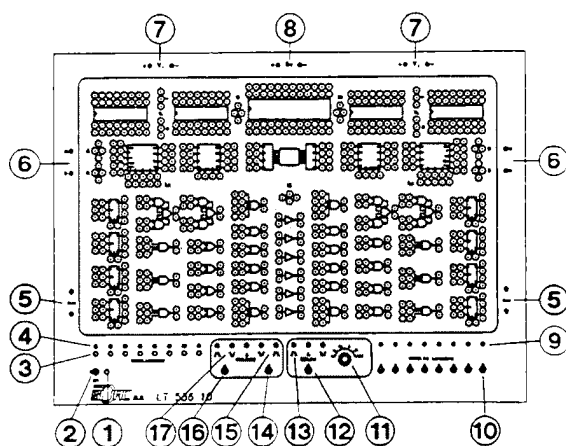


Figura 2. Vista superior del entrenador lógico SiDAC LT 536 10[®]

La elección de un entrenador lógico (véase la Figura 2), que en principio puede parecer una herramienta muy rudimentaria, se debe a dos motivos. El primero radica en la gran facilidad en aprender su manejo por parte de los alumnos; el segundo estriba en que para muchos de éstos es la primera vez que experimentan con la conexión física de componentes electrónicos comerciales. El aprendizaje de un programa de diseño y simulación de circuitos lógicos comercial se deja para asignaturas específicas como Diseño Lógico (2º curso, 1er semestre) y posteriores.

Para el bloque dedicado al lenguaje ensamblador se ha optado por una herramienta orientada a la docencia: un simulador gráfico de una máquina MIPS R2000 (véase la Figura 3) desarrollado en un proyecto final de carrera dirigido por los autores de este artículo. El alumno diseña los programas en ensamblador (sin ninguna restricción), puede ejecutarlos y, además, puede observar gráficamente cómo se utilizan las unidades funcionales del computador a medida que se ejecutan las etapas de una instrucción. Esta última utilidad proporciona una visión de la ejecución de las instrucciones muy intuitiva.

En el simulador se han incluido otras muchas características que le confieren un gran poder educativo: diversos modos de ejecución de los programas: sin pausa, instrucción a instrucción, etapa a etapa de instrucción; declaración de puntos de ruptura en determinadas direcciones de memoria, ac-

ceso a toda la información de la máquina (registros generales y del coprocesador matemático, estado de la memoria y la unidad aritmético-lógica), posibilidad de guardar el código máquina generado por el lenguaje ensamblador, etcétera.

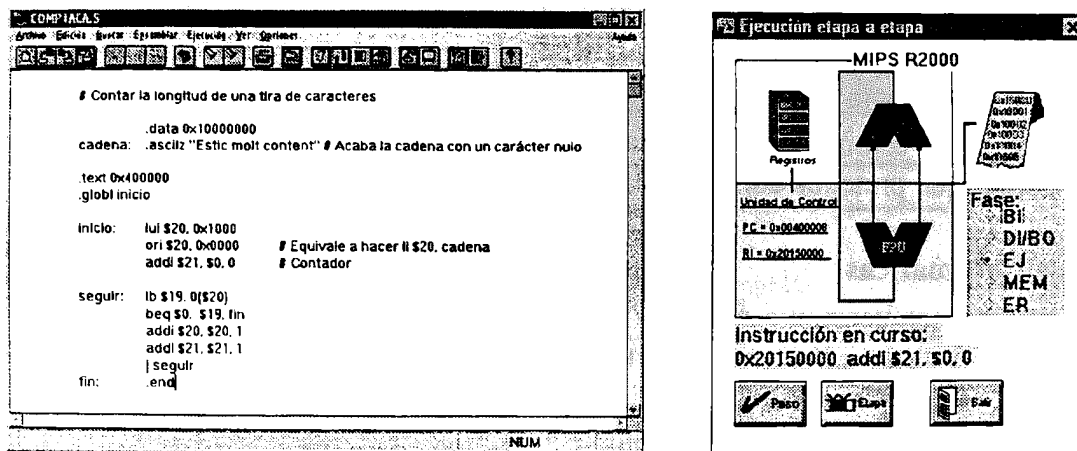


Figura 3. Detalles de la pantalla principal del simulador y de la ejecución gráfica etapa a etapa de una instrucción máquina

7. Material didáctico

El material didáctico empleado en clase varía según el tema que se esté explicando. En principio se suele utilizar la pizarra, aunque cuando la ocasión lo aconseja (dibujos, esquemas, fotografías) se hace uso de transparencias.

También creemos aconsejable que el alumno vea físicamente los componentes más importantes de un computador personal, por lo que en algunas ocasiones se lleva a clase de teoría algunas piezas de máquinas en desuso: placas base para observar el procesador, la memoria principal, la memoria caché y el bus de conexión con los periféricos, discos duros, tarjetas gráficas, cintas magnéticas, etcétera.

En el bloque dedicado al lenguaje ensamblador se puede llevar a clase un computador portátil y realizar alguna ejecución para poner en evidencia algunos aspectos como la detección de errores sintácticos o la generación de código máquina a partir de código en ensamblador.

8. Tipos de trabajos prácticos planteados

La falta de tiempo de los alumnos es una constante en los nuevos planes de estudio. Aún así, creemos que la propuesta de trabajos prácticos voluntarios puede despertar en el alumno una motivación adicional para el estudio. Además, el carácter voluntario del trabajo hace que cada alumno se decante por aquel tema que más le atraiga de la asignatura. En esta línea se proponen trabajos sobre los siguientes aspectos:

- Documentación histórica sobre la evolución tecnológica de los computadores
- Tratamiento de la información digital en un lenguaje de alto nivel
- Diseño de pequeños circuitos digitales
- Diseño de máquinas elementales alternativas
- Diseño de programas en ensamblador

9. Método de evaluación

La condición necesaria para que un alumno pueda examinarse es que haya asistido a todas las sesiones de prácticas. La asignatura se evalúa únicamente a partir de un examen final tipo test con 20 preguntas. Cada pregunta tiene cinco respuestas, la última de las cuales es genérica y representa el hecho de que ninguna de las cuatro que le preceden responde a la pregunta formulada. Cada pregunta

bien contestada suma medio punto, mientras que mal contestada resta un cuarto de su valor (0.125 puntos). Las preguntas sin contestar no puntuán.

Para diseñar el examen cada profesor escribe una parte proporcional de preguntas. Cuando se han hecho todas las preguntas, son revisadas individualmente por todos los profesores, dando como resultado la discusión posterior acerca de la idoneidad de cada pregunta y las modificaciones a realizar. Una vez establecidas todas las preguntas, se confecciona el examen en su totalidad. Con el fin de evitar posibles acciones ilícitas por parte de los alumnos, el examen se organiza en dos tipos (A y B), donde la única diferencia es que el orden de las respuestas está cambiado. El orden de las preguntas no se altera para que la ordenación cronológica de las preguntas se adapte a la secuenciación de los contenidos teóricos. Cuando el examen acaba se dejan en el tablón de anuncios de la asignatura una hoja con las respuestas a cada tipo de examen para que los alumnos puedan cotejarlas con sus respuestas y predecir la nota.

Por otro lado y con el objetivo de ahorrar trabajo, se confeccionan los exámenes de las dos convocatorias al mismo tiempo, con lo que cuando llega la fecha de la segunda convocatoria ya se dispone del examen.

Aunque las desventajas de los exámenes tipo test son muchas y por todos conocidas, sobre todo en lo que al alumno se refiere, cuando su número es tan elevado difícilmente se puede optar por otra alternativa. La gran ventaja es que la corrección se puede automatizar, con el gran ahorro de tiempo en su corrección por parte de los profesores. En último lugar cabe resaltar que la revisión de los exámenes resulta mucho más llevadera puesto que la discusión con el alumno sobre su examen se hace con criterios objetivos (elección o no de tal o cual respuesta).

10. La experiencia diaria

La opinión generalizada de los alumnos es favorable respecto a la asignatura: la encuentran amena, interesante y, sobre todo, práctica. Esto hace que el porcentaje de presentados suele ser alto (por encima del 75%) y el de aprobados ronde el 50% de los presentados.

Las gráficas mostradas en la Figura 4 representan el porcentaje de alumnos presentados (80%) y aprobados en el examen de la primera convocatoria de la asignatura (febrero de 1997). Como se puede apreciar, el número de aprobados sobre el de presentados es del 45%. La nota final de la asignatura es la obtenida en el examen final, con el requisito de haber asistido a todas las sesiones de prácticas.

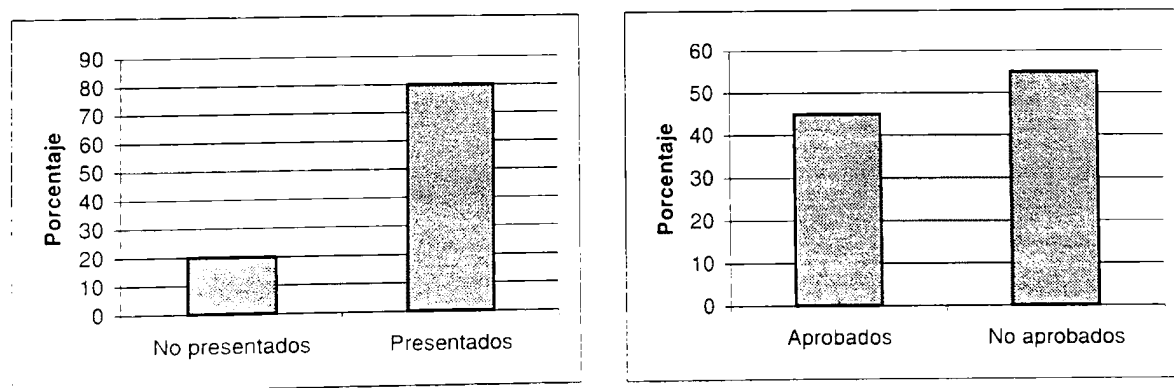


Figura 4. Datos estadísticos referidos a la convocatoria de febrero de 1997

Los aspectos negativos que afectan a esta asignatura se derivan fundamentalmente de la puesta en práctica de los nuevos planes de estudio. Sin querer entrar en detalles, y dejando de lado los aspectos positivos que éstos tienen en cuanto a la gran libertad que tiene el alumno para confeccionar su propio currículum y otros aspectos, debemos tener en cuenta algunas consecuencias poco beneficiosas:

- El excesivo número de asignaturas optativas, incluso en el primer curso, dificulta la elaboración de un horario concentrado bien en sesiones de mañana o de tarde. El resultado ge-

neral es que el alumno pasa gran parte del día en la Escuela o Facultad, lo que restringe las posibles horas dedicadas al estudio en casa, salas de estudio o biblioteca.

- Dado que la mayoría de asignaturas cuentan con horas de laboratorio, es frecuente que se produzcan solapamientos de horario, con lo que al alumno se le plantea el dilema entre asistir a una sesión u otra. Por otro lado, la coordinación de horas de laboratorio entre muchas asignaturas por parte de los profesores es una tarea muy difícil, por no decir casi imposible.
- Cuando un alumno suspende alguna asignatura la coordinación con el resto de asignaturas se hace más problemática. Ya no sólo debe ajustar su horario con asignaturas de un curso sino con asignaturas de cursos diferentes.

Como consecuencias derivadas directamente de los puntos anteriores destacamos dos:

- Son muy pocos los alumnos que utilizan las horas de consultas y tutorías de los profesores. Sólo a pocos días del final este número aumenta de forma desproporcionada.
- En muy honradas excepciones los alumnos consultan la bibliografía recomendada, basando su estudio únicamente en los apuntes y notas tomadas en clase.

11. Bibliografía de la asignatura

En la bibliografía recomendada para el estudio de la asignatura se destacan los libros ya clásicos sobre estructura y organización de computadores, así como los referidos a lógica digital. Además de las recomendaciones pertinentes y el comentario de cada uno de los libros en clase de teoría, siempre se anima al alumno a que acuda a la biblioteca y consulte otros libros por su cuenta. También se mencionan algunas de las revistas especializadas en temas de informática de gran difusión.

La lista de libros recomendados en la asignatura se indica a continuación:

- [1] *Organización y Diseño de Computadores. La interfaz hardware/software*. D.A. Patterson, J.L. Hennessy. Editorial McGraw-Hill. 1995
- [2] *Diseño Digital: Principios y Prácticas*. J.F. Wakerly. Editorial Prentice-Hall. 1992
- [3] *Fundamentos de los Computadores*. P. de Miguel Anasagasti. Editorial Paraninfo (cuarta edición). 1994
- [4] *La máquina analítica. Pasado, presente y futuro de los computadores*. J. Bernstein. Editorial Labor (tercera edición). 1988
- [5] *A History of Computing Technology*. M.R. Williams. Editorial Prentice-Hall. 1985
- [6] *Computer Organization*. V.C. Hamacher, Z.G. Vranesic, S.G. Zaky. Editorial McGraw-Hill (cuarta edición). 1996
- [7] *Organización de computadoras. Un enfoque estructurado*. A.S. Tanenbaum. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana. 1992
- [8] *MIPS RISC Architecture*. G. Kane, J. Heinrich. Editorial Prentice-Hall. 1992
- [9] *Experiencias en Estructura de Computadores*. Grup Tera. Servicio de Publicaciones de la UPV. Referencia 005. 1996
- [10] *Principios de Computadores*. J.C. Campelo, J. Molero, F. Rodríguez. Servicio de Publicaciones de la UPV. Referencia 031. 1996
- [11] *Del ábaco a la informática*. A. Taurisson. Colección *Conocer la Ciencia*. Vol. 12. Editorial RBA. 1994