

LAS ASIGNATURAS DE LA UNIDAD DOCENTE DE ESTRUCTURAS DE COMPUTADORES EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Lenin Lemus, Julio Sahuquillo, Houcine Hassan

Departamento de Ingeniería de Sistemas, Computadores y Automática
Escuela U. de Informática –Universidad Politécnica de Valencia–
E_mail: {lemus, jsahuqui, husein} @disca.upv.es

Resumen

En esta ponencia, se describen los temarios de las asignaturas, que engloban las enseñanzas de arquitectura y estructura de computadores en las titulaciones de Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas (ITIS) y de Ingeniero Técnico en Informática de Gestión (ITIG), en el marco del proyecto de innovación docente (PID) 135 de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

1 Introducción

El proyecto de innovación docente (PID) 135, de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), fue creado en el curso 1994/1995, su objetivo principal es mejorar la calidad de la enseñanza de las materias relacionadas con la Estructura y Arquitectura del Computador. Este proyecto, a diferencia de otros PID de la UPV, trata la estructuración global de las enseñanzas de Estructura y Arquitectura de Computadores en las titulaciones de Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas (ITIS) y de Ingeniero Técnico en Informática de Gestión (ITIG) de la UPV.

Las asignaturas involucradas en este proyecto son:

- Fundamentos de Computadores (FCO).
- Estructuras de Computadores I (ECI).
- Estructuras de Computadores II (ECII).
- Arquitectura de Computadores I (ACI).
- Arquitectura de Computadores II (ACII).
- Diseño de Procesadores (DPO).
- Evaluación de Sistemas Informáticos (ESI).

Las asignaturas ECI, ECII y FCO se imparten en la Escuela Universitaria de informática (EUI) de la UPV, ACI y ACII se imparten en la Facultad de Informática (FI) de la UPV y finalmente DPO y ESI son optativas de la Facultad de Informática de la UPV.

Con el fin de lograr el objetivo principal del PID 135, mejorar la calidad de la enseñanza de las materias relacionadas con la Estructura y Arquitectura del Computador, las enseñanzas teóricas y prácticas se han planteado entorno a una base común, concretamente, se utiliza un único computador ejemplo para todas las asignaturas, evitando de este modo las pérdidas de tiempo que se producen al describir varias máquinas.

El computador que se propone como ejemplo, está basado en el procesador RISC MIPS R2000 [1]. Este procesador refleja con claridad las tendencias actuales del mercado y permite impartir una formación actualizada. Además, su estudio puede realizarse, sobre la base de distintos niveles de complejidad, por lo que resulta adecuado, tanto en asignaturas de introducción a los computadores como para estudios avanzados de arquitectura de computadores.

Con el fin de que el procesador ejemplo sea utilizado en las diversas asignaturas, el computador se considera constituido por los tres componentes clásicos de un computador: procesador, memoria y entrada/salida, ver Figura 1.

En la asignatura de FCO, se pueden distinguir tres bloques; en el primer bloque, se enseñan los fundamentos de los circuitos lógicos combinacionales y secuenciales, que permiten al estudiante comprender el funcionamiento de las unidades funcionales básicas del procesador, como son: el banco de registros, la memoria, el contador de programa, la unidad aritmético lógica.

En el segundo bloque se estudia la representación interna de los datos numéricos (enteros y reales) y alfanuméricos (código ASCII). Esta representación es utilizada posteriormente en la asignatura de ECI para construir los circuitos aritméticos.

En el tercer y último bloque, se enseñan los fundamentos básicos de la programación en

lenguaje ensamblador, además, se estudia el juego de instrucciones del procesador RISC de 32 bits R2000 expuesto por Patterson y Hennessy [1], su sintaxis y como se realiza su codificación.

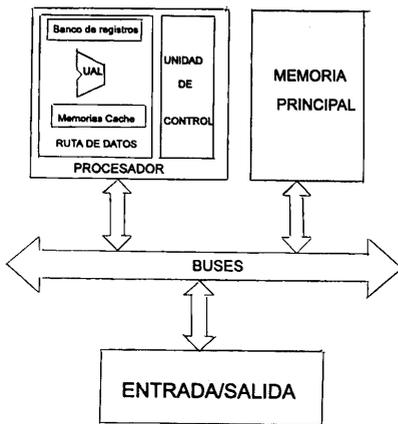


Figura 1: Componentes clásicos de un computador.

En la asignatura de ECI, se diseña mediante software de CAD la estructura interna del procesador estudiado en FCO. El diseño de la unidad de control del procesador se aborda desde distintos puntos de vista: implementación monociclo, implementación multiciclo, unidad de control cableada y control microprogramado y se esbozan los principios de la unidad de control segmentada. Además se estudian los circuitos aritméticos que operan tanto con números enteros como con reales.

En ECII se estudian las unidades restantes del computador; la memoria y la entrada salida. En lo relativo a la memoria: se estudia su estructura interna, se describe la memoria de acceso aleatorio (RAM), tanto dinámica como estática, se enseña como interconectar una placa de memoria a un procesador detallando el sistema de decodificación. Finalmente se aborda la jerarquía de memoria.

En cuanto a la entrada/salida se estudia el mapeado y direccionamiento de los periféricos, los mecanismos de sincronización; tanto por interrupciones como por prueba de estado, así como la transferencia de los datos; ya sea por programa como por DMA.

En las Asignaturas de Arquitecturas de Computadores se plantean con detalle la segmentación de instrucciones, las dependencias entre datos y la estructura y funcionamiento de la

versión del procesador que utiliza instrucciones vectoriales.

Finalmente, las dos asignaturas optativas sirven para enseñar al estudiante las tendencias actuales de los procesadores.

Dado que las titulaciones de ITIS e ITIG se imparten en la EUI, en esta ponencia, únicamente se presentarán los temarios de las asignaturas FCO, ECI y ECII.

La estructura de la ponencia es la siguiente:

- En la primer sección se muestra la dependencia de las asignaturas entre sí y con el resto de asignaturas de la titulación.
- En la segunda sección, se presenta los temarios de teoría y prácticas detallados.

2 Relación entre las asignaturas

A continuación se expone el marco docente en el que se desarrollan las asignaturas de FCO, ECI y ECII, en las titulaciones de ITIS e ITIG impartidas en la EUI.

La figura 2 muestra la relación existente entre las tres asignaturas y el resto de asignaturas impartidas en la especialidad. Como puede verse la asignatura de FCO, desde el punto de vista de programación guarda relación con las asignaturas de programación como son: algoritmos y estructuras de datos e introducción a la programación. La asignatura de matemática discreta introduce al alumno en los conceptos de representación de la información que se detallan en FCO y el diseño lógico y tecnología de computadores se sirven de los conceptos de sistemas digitales que el alumno adquiere en FCO.

La asignatura de ECI se basa fundamentalmente en la asignatura de FCO y para aquellos conceptos relacionados con sistemas digitales de mayor profundidad, estos son transmitidos por las dos asignaturas de diseño lógico y tecnología de computadores.

La base que necesita el alumno para afrontar con éxito la asignatura de ECII, la encuentra en las asignaturas de FCO y ECI. En la asignatura de ECII, se estudia la memoria y la entrada salida como ya fue descrito anteriormente en esta ponencia. Los conceptos manejados sobre sistemas digitales en ECII tienen un grado de complejidad mayor que en FCO y ECI, pero al impartirse en el cuatrimestre 3A los alumnos disponen de los conocimientos suficientes que les fueron transmitidos las asignaturas de diseño lógico y

tecnología de computadores, como se aprecia en la figura 2.

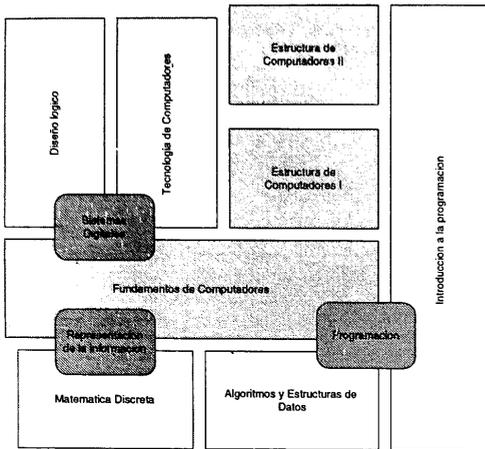


Figura 2: Marco Docente de las asignaturas del PID 135.

3 Presentación de la asignatura Fundamentos de Computadores

FCO se imparte en la EUI de la UPV con las características expuestas en la tabla 1.

Créditos		Totales
Teóricos	Lección Magistral: 4.5	4.5
Prácticos	Problemas: 1.5 Laboratorio: 3	4.5
Descriptor	Unidades Funcionales (Introducción): Memoria, Procesador, Periferia. Lenguaje Máquina y ensamblador. Esquema de funcionamiento. Electrónica Sistemas digitales. Periféricos.	
Áreas de conocimiento	Arquitectura y Tecnología de Computadores (ATC) Electrónica Ingeniería de Sistemas y Automática Tecnología Electrónica	

Tabla 1: Características de la asignatura FCO.

Se imparte durante el primer cuatrimestre del primer curso y se trata de una materia troncal para los alumnos que cursen la titulación de ingeniero técnico en informática de sistemas (ITIS) y es obligatoria para aquellos que opten por el título de ingeniero técnico en informática de gestión (ITIG). Al impartirse en el primer cuatrimestre del primer curso de carrera, es la primera toma de contacto de los alumnos con el sistema universitario, por tanto la asignatura se encuentra bastante masificada, lo

cual es un inconveniente tanto para los alumnos como para el profesorado.

Exceptuando el tema de introducción, en la asignatura se pueden distinguir tres bloques temáticos, tal y como se ha comentado previamente. La tabla 2, presenta el temario clasificado por bloques temáticos.

Bloque Temático	Tema
I. Introducción	1. Introducción a los computadores
II. Sistemas Digitales	2. Conceptos Básicos
	3. Circuitos Combinacionales
	4. Biestables
	5. Contadores y Registros
	6. Representación de la información
III. Representación de la información	
IV. Lenguajes de bajo nivel	7. La máquina virtual
	8. Lenguaje máquina
	9. Lenguaje ensamblador

Tabla 2: Temario de FCO clasificado por bloques temáticos.

4 Presentación de la asignatura Estructura de Computadores I

La asignatura ECI se imparte en la EUI de la UPV con las características mostradas en la tabla 3.

Créditos			Total
Teóricos	Lección Magistral: 1.5	Seminario: 1.5	3
Prácticos	Problemas: 1.5	Laboratorio: 1.5	3
Descriptor	Unidades Funcionales (Estructura Interna del procesador) Unidad Central de Proceso (UCP) La unidad de control, diseño Microprogramación		
Áreas de conocimiento	Arquitectura y Tecnología de Computadores (ATC) Electrónica Ingeniería de Sistemas y Automática Tecnología Electrónica		

Tabla 3: Características de la asignatura ECI.

Se imparte durante el segundo cuatrimestre del primer curso y se trata de una materia troncal para los alumnos que cursen la titulación de ingeniero técnico en informática de sistemas (ITIS) y es obligatoria para aquellos que opten por el título de ingeniero técnico en informática de gestión (ITIG). Los alumnos que cursan esta asignatura son alumnos de primer año, con una escasa integración en el sistema universitario, que han cursado previamente FCO, aunque pueden no haberla aprobado. Se recomienda que FCO haya sido cursada, ya que los contenidos de ECI se

apoyan en gran medida en los conocimientos impartidos en la asignatura citada.

Exceptuando el tema de introducción, en la asignatura de ECI se pueden distinguir dos bloques temáticos, tal y como se ha comentado previamente clasificado por bloques temáticos. La tabla 4, presenta el temario

Bloque Temático	Tema
I. Introducción	1. Introducción a la estructura del computador
II. La Unidad de Control	2. La ruta de datos
	3. Unidad de control monociclo
	4. Unidad de control multiciclo
	5. Unidad de control microprogramada
	6. Unidad de control segmentada
III. La Unidad Aritmético-Lógica	7. Unidad de enteros I: sumadores y restadores
	8. Unidad de enteros II: multiplicación y división
	9. Unidad de coma flotante

Tabla 4: Temario de ECI clasificado por bloques temáticos.

5 Presentación de la asignatura Estructura de Computadores II

La asignatura ECII se imparte en la EUI de la UPV con las características mostradas en la tabla 5.

Créditos			Total
Téoricos	Lección Magistral: 1.5	Seminario: 1.5	3
Prácticos	Problemas: 1.5	Laboratorio: 1.5	3
Descriptor	La unidad lógico aritmética Algoritmos de diseño Organización de la memoria del computador Organización de las operaciones de E/S		
Áreas de conocimiento	Arquitectura y Tecnología de Computadores		

Tabla 5: Características de la asignatura ECII.

Esta asignatura se imparte en el tercer cuatrimestre de la carrera (primer cuatrimestre del segundo curso), y es obligatoria para las dos titulaciones (ITIS e ITIG) que imparte la EUI.

Junto con ECI completa la visión de la organización interna del computador según sus unidades funcionales. Por tanto, se recomienda a los alumnos haber cursado ECI como requisito previo, esto no quiere decir que la hayan aprobado puesto que no existen incompatibilidades.

Lo que sí puede destacarse es que en el tercer cuatrimestre de la carrera, los alumnos han alcanzado un grado de integración mayor en la universidad y una mejor predisposición al estudio, a pesar de dejarse sentir todavía una elevada masificación.

En la asignatura de ECII se pueden distinguir dos bloques temáticos, tal y como se ha comentado previamente. La tabla 6, presenta el temario clasificado por bloques temáticos.

Bloque Temático	Tema
I. La memoria del computador	1. El sistema de memoria
	2. Diseño de placas de memoria
	3. Jerarquía de memoria
II. El sistema de entrada salida	4. la unidad de entrada salida
	5. Sincronización
	6. Transferencia de datos

Tabla 6: Temario de ECII clasificado por bloques temáticos.

6 Prácticas realizadas y herramientas empleadas.

Las prácticas que se realizan en las tres asignaturas son de muy diversa índole, y comprenden desde la comprobación experimental con un *chip* de una puerta básica como la NAND hasta la simulación digital del funcionamiento de un procesador. La tabla 7 expone las prácticas que se realizan actualmente para las distintas asignaturas. Fruto de la experiencia de los autores en las asignaturas de estructuras es la publicación [2] donde se presenta a los alumnos a modo de guía los pasos a seguir para la realización de las prácticas.

6.1 Prácticas de FCO

Las prácticas que se realizan en FCO, se agrupan en dos grande bloques: lógica digital y lenguaje ensamblador.

Los objetivos perseguidos con las prácticas de laboratorio son:

- Comprobación experimental de los circuitos combinacionales básicos.
- Montaje de circuitos combinacionales y secuenciales sencillos.
- Comprobar como se realiza la codificación en lenguaje máquina.
- Realizar programas en ensamblador sencillos comprobando mediante la simulación paso a paso como se ejecuta el programa.

Los dos primeros objetivos quedan enmarcados dentro del epígrafe “lógica digital” y se realizan con el entrenador lógico SiDAC LT 536 10 cuyo esquema se muestra en la figura 3. Aunque en la actualidad existen algunas universidades del estado que no realizan ninguna práctica utilizando *chips* reales, de manera que los alumnos puedan verlos, “tocarlos” y sustituirlos por otros, es aconsejable, ya que la asignatura invita a ello.

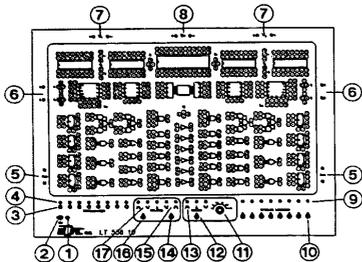


Figura 3: Esquema del entrenador lógico SiDAC LT 536 10.

FUNDAMENTOS DE COMPUTADORES
LOGICA DIGITAL
Puertas y circuitos básicos Propiedades de las puertas lógicas Formas canónicas y simplificación Funciones incompletas y simplificación Decodificadores y demultiplexores Biestables y contadores Registros de desplazamiento
Lenguaje Ensamblador
Introducción y programación básica Llamadas a procedimientos
ESTRUCTURAS DE COMPUTADORES I
UNIDAD DE CONTROL
Introducción al CASCAD Unidad de control monociclo Unidad de control multiciclo
UNIDAD ARITMÉTICO-LÓGICA
Sumador/restador de 16 bits Árbol de Wallace
ESTRUCTURAS DE COMPUTADORES II
UNIDAD DE MEMORIA
Unidad de memoria Selección de memoria
UNIDAD ENTRADA/SALIDA
Sincronización por prueba de estado Configuración del PC-AT Interrupciones en el PC-AT

Tabla 7: Prácticas que se realizan para las distintas asignaturas

Los dos últimos objetivos quedan enmarcados dentro del epígrafe “lenguaje ensamblador” de la tabla 7 y se realizan en el simulador de procesadores R2000 y R3000, PC-SPIM bajo DOS, desarrollado en nuestro departamento, muy amigable y portable, ya que debido a sus requerimientos puede ser ejecutado en la práctica totalidad de los computadores personales. Para realizar este segundo bloque de prácticas los entrenadores lógicos son reemplazados por PCs.

6.2 Prácticas de ECI

Las prácticas realizadas en ECI se agrupan en dos grandes bloques: unidad de control y unidad aritmético-lógica.

Los objetivos perseguidos por las practicas de ECI son:

- Observar y comprender qué señales de control se activan y en que secuencia se para la ejecución de las distintas instrucciones.
- Participar en todas y cada una de las etapas de diseño e implementación de un procesador.
- Implementar y comprender el funcionamiento de circuitos sumadores/restadores.
- Implementar y comprender el funcionamiento de los árboles de Wallace.

Las prácticas se desarrollan bajo la herramienta de simulación digital CASCAD [3], por lo que se requiere una práctica inicial de introducción a la herramienta donde se implementa un sencillo banco de registros.

Como la máquina estudiada en teoría es de 32 bits y la herramienta de implementación y simulación lógica docente de 16 bits, los autores han diseñado un procesador educativo detallado en la bibliografía [2] adaptando en la medida de lo posible la máquina práctica al modelo teórico.

6.3 Prácticas de ECII

En ECII, las prácticas se agrupan en dos grandes bloques : unidad de memoria y unidad entrada salida.

Con las prácticas de laboratorio de ECI se persiguen los objetivos siguientes:

- Comprender la estructura interna de la memoria, implementandose una unidad de memoria de 16x1 bit.
- Comprender la organización básica de una placa de memoria cuando se interconecta con una UCP de 16 bits, así como los mecanismos de selección de filas y columnas.

- Desarrollar programas en ensamblador interactivos a través de la entrada salida.
- Comprender el mapeado de los dispositivos de entrada salida en la memoria.
- Comprender como se lleva a cabo la sincronización y la transferencia de los datos entre la UCP y los periféricos.

Las herramientas que se utilizan en el desarrollo de las prácticas son: la herramienta de simulación digital CASCAD [3], para el diseño e interconexión de memoria y el simulador SPIM [1] del procesador R2000 para la programación y direccionamiento de la entrada salida.

En una fase final, para los temas relacionados con la sincronización por prueba de estado y por interrupciones se resuelven las practicas sobre un ordenador tipo PC. Se resuelven diversas actividades sobre el mismo PC para comprender la transferencia de datos.

7 Conclusiones

En esta ponencia se han presentado los objetivos del proyecto PID 135 y los temarios de las asignaturas de EC1, EC2 y FCO. Para terminar, los autores consideran interesante, el hacer notar los pros y contras de tener una fuerte correlación entre las asignaturas ECI, EC2 y FCO.

Como ventajas se tienen:

- Las tres asignaturas ECI, EC2 y FCO conforman una unidad docente del disca. Una de las principales ventajas de la estructura actual de la organización de la unidad docente es que la mayoría de los profesores suelen impartir dos asignaturas de las tres mencionadas, lo que significa que facilita la coordinación entre los contenidos de las asignaturas y posibles reorganizaciones de los mismos. Se ofrece al alumno una línea coherente, con los mismos laboratorios y profesores, de manera que al tener los mismos profesores en la mayoría de las ocasiones los alumnos ven con claridad que siguen una misma línea temática.
- El utilizar un único procesador ejemplo, ayuda a que se tenga continuidad en las enseñanzas de arquitecturas.
- El utilizar una misma herramienta de simulación digital (el CASCAD) para hacer prácticas de EC1 y EC2 sirve para evitar la perdida de tiempo que implica el aprender un nuevo paquete de software.

Como desventajas:

- La masificación de FCO y EC1. Al impartirse las dos asignaturas en el primer año de carrera el numero de alumnos matriculado, tanto de nuevo ingreso como repetidores, es excesivamente elevado.
- Pensamos que el hecho de que EC1 se imparta en el segundo cuatrimestre del primer año hace que los alumnos tengan un mayor fracaso escolar, debido a que en la convocatoria de junio, la mayoría de los alumnos se examinan de una gran cantidad de asignaturas, ya que en los meses de junio y julio se juntan los exámenes de la segunda convocatoria de las asignaturas de primer cuatrimestre y los exámenes de la primera convocatoria de las asignaturas del cuatrimestre actual.
- El conocer un solo procesador, aunque sea actual, crea el mal hábito de que el alumno generalice y en ocasiones piense que es la única arquitectura posible. Esta desventaja, se ve paliada en gran medida con la propuesta de asignaturas optativas y las asignaturas de arquitectura impartidas en el segundo ciclo.

Referencias

- [1] Patterson, D.A., Hennessy, J.L. *Organización y diseño de computadores. La interfaz hardware/software*. Editorial Mc-Graw-Hill. Segunda edición en español, 1995.
- [2] Grup Tera. *Experiencias en Estructura de Computadores*. Servicio de publicaciones de la U.P.V. Ref.005.
- [3] *Computer Assisted Simulation for Circuit Analysis & Design (CASCAD). Reference Manual*. Edusoft.
- [4] Gil Salinas J. A., Peñalver Herrero L., Pont Sanjuan A., Robles Martinez A. *Estructura de Computadores (Vol. 1)*. Servicio de publicaciones de la U.P.V. ISBN: 84-7721-413-8
- [5] Pont Sanjuan A., Martinez Diez M., Gil Salinas J. A., Molero Prieto J., Robles Martinez A., Rodas Jorda A. *Estructura de Computadores (Vol. 1)*. Servicio de publicaciones de la U.P.V. ISBN:84-7721-414-X
- [6] Pont Sanjuan A., *Proyecto docente e investigador*. U.P.V. 1997.