



Presentación

Programación de Sistemas y Dispositivos

José Manuel Mendías Cuadros

*Dpto. Arquitectura de Computadores y Automática
Universidad Complutense de Madrid*



Profesorado



■ José Manuel Mendías Cuadros

- Despacho: 3.35 (Facultad de Informática)
- Teléfono: 91 394 76 13
- e-mail: mendias@ucm.es
- Web: www.dacya.ucm.es/mendias
www.fdi.ucm.es/profesor/mendias (alternativa)

■ Tutorías (con solicitud de **cita previa** por email):

- Lunes y jueves de 10h a 11h; martes de 11:30h a 12:30h



Objetivo y metodología

■ Objetivo:

- Mostrar las bases del **desarrollo integral de aplicaciones empotradas** en arquitecturas heterogéneas basadas en un único microcontrolador.
- **Haciendo énfasis:**
 - Programación de bajo nivel (C/ASM).
 - Control directo de dispositivos.
 - Tiempo real y métricas de calidad.

■ Metodología:

- Aprender **practicando**
 - Toda la teoría será aplicada en los laboratorios.
 - La experiencia facilitará la extrapolación de los conceptos a otros entornos.
- Trabajaremos con una **máquina desnuda concreta**
 - Sin SO, sin cargador, sin drivers, sin bibliotecas, sin código de terceros...
- **Aproximación ascendente** (botton-up)
 - Partiendo del hardware iremos construyendo sucesivas capas de software.



Sistemas empotrados

definición

- Un sistema digital **diseñado para cubrir una necesidad específica**:
 - Un consumidor puede interactuar diariamente con más de una centena de sistemas empotrados distintos.

Característica	Computador de propósito general	Sistema empotrado
arquitectura HW	normalizada	heterogénea
arquitectura SW	normalizada (en base a un SO estandarizado)	heterogénea
funcionalidad	variable (el usuario elige el momento y tipo de las aplicaciones a ejecutar)	fija
dispositivos de E/S con los que interactúa	normalizado (teclado, monitor, red, disco,...)	cualquiera
ligaduras físicas	débiles	fuertes
tiempo real	no (hacen todo lo más rápido posible)	si (garantizan tiempos máximos de respuesta)
memoria disponible	virtualmente ilimitada	poca

Sistemas empotrados

¿dónde están?



Automoción

Sistema de ignición
Control del motor
Sistema de frenado (ABS)
Sistemas de alarma
Consola de instrumentación

Oficinas

Impresoras
Fax
Fotocopiadoras
Monitores
Scaners

Electrónica de consumo

TDT
DVD / VCR / Hi-Fi
Electrodomésticos
Juguetes
Teléfonos DAT
Cámaras
Controles remotos
Velocímetros
Relojes

Industria

Robots
Control de líneas de producción
Control de plantas de proceso
Puntos de venta
Sistemas de inventario
Riego automático

Redes

Routers
Hubs
Gateways

Medicina

Bombas de diálisis
Dispositivos protésicos
Monitores (cardíacos, glucosa...)
Marcapasos

Transporte

Sistemas de guiado
Control de vuelo
GPS
Sistema de balizamiento
Control de tráfico
Radares

Sistemas empotrados

criterios de calidad (i)



■ Relacionados con prestaciones y coste:

- **Rendimiento**: cantidad de información procesada por unidad de tiempo.
- **Tiempo de respuesta**: diferencia de tiempo entre un evento y la ejecución de la acción asociada.
- **Consumo**: cantidad de energía que necesita el dispositivo para operar.
- **Tamaño y peso**: espacio físico requerido por el dispositivo.
- **Non-recurring engineering cost**: el coste único de diseño y prueba del producto.
- **Coste por unidad**: coste de manufacturar un dispositivo adicional.

■ Relacionados con la seguridad:

- **Fiabilidad**: tiempo medio entre fallos.
- **Tolerancia a fallos**: posibilidad de recuperación del dispositivo por si mismo tras un fallo.
- **Criticidad**: riesgo de daño a humanos o al entorno.

Sistemas empotrados

criterios de calidad (i)

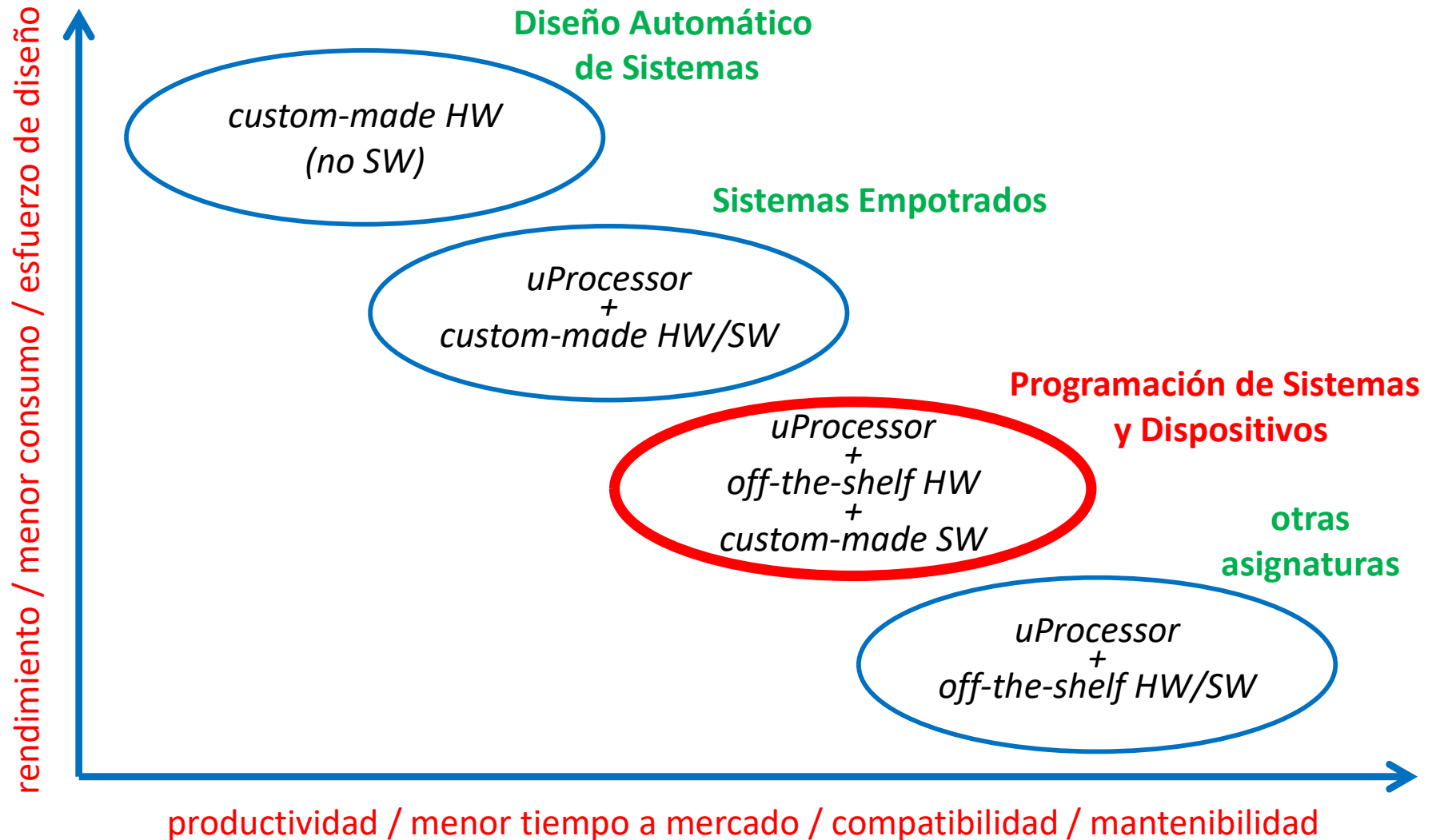


- **Relacionados con el marketing:**
 - **Tiempo hasta prototipo:** tiempo requerido para diseñar, construir, y probar un prototipo.
 - **Tiempo hasta mercado:** tiempo requerido para que el usuario disponga del producto.
 - **Factores humanos:** grado de apreciación de los clientes hacia el producto.
- **Relacionados con la vida útil:**
 - **Compatibilidad:** conformidad del dispositivo con los estándares.
 - **Mantenibilidad:** flexibilidad con la que un dispositivo puede ser modificado.
 - **Testabilidad:** facilidad con la que se puede comprobar si el dispositivo funciona adecuadamente.



Sistemas empotrados

alternativas de diseño

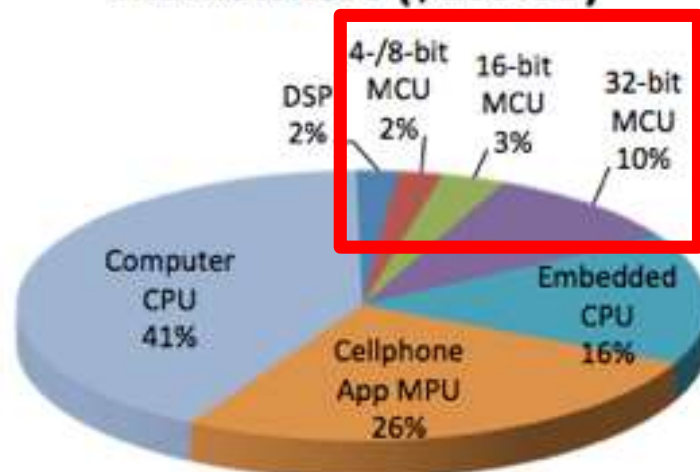


Sistemas empotrados

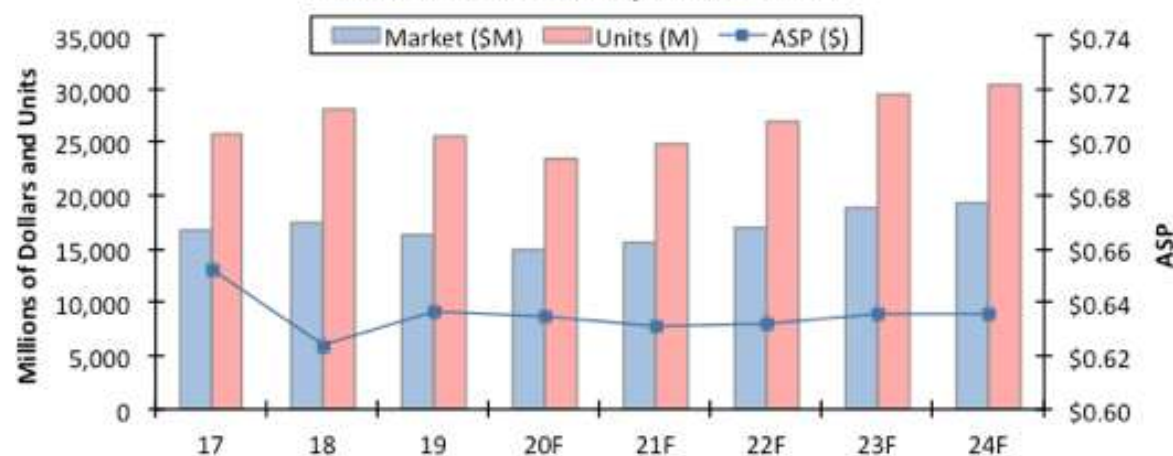
volumen de ventas



2021F MOS Microcomponent Marketshare (\$109.8B)



MCU Market History and Forecast



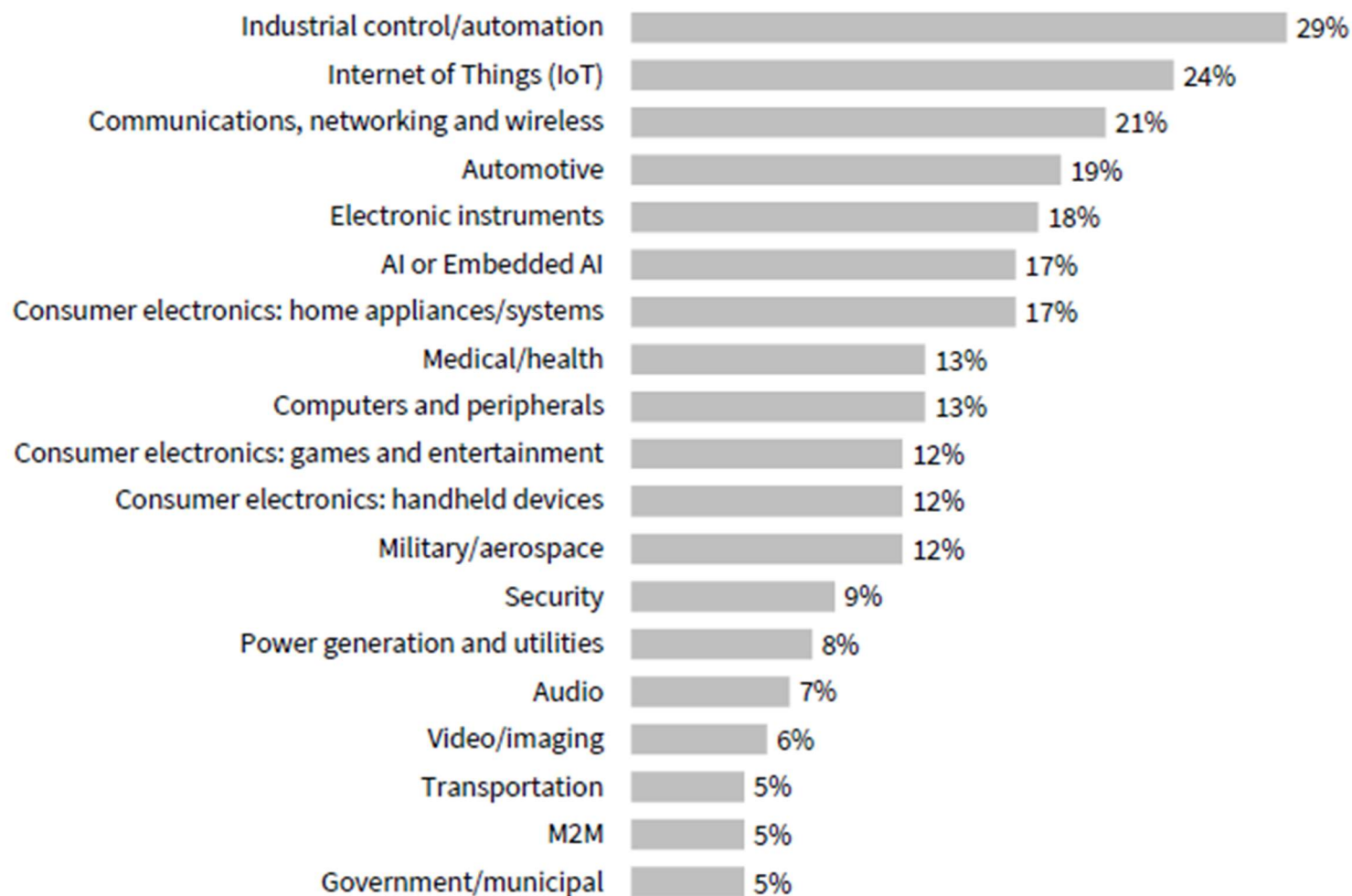
fuelle: IC Insights

ASP = average selling price



Sistemas empotrados

applications

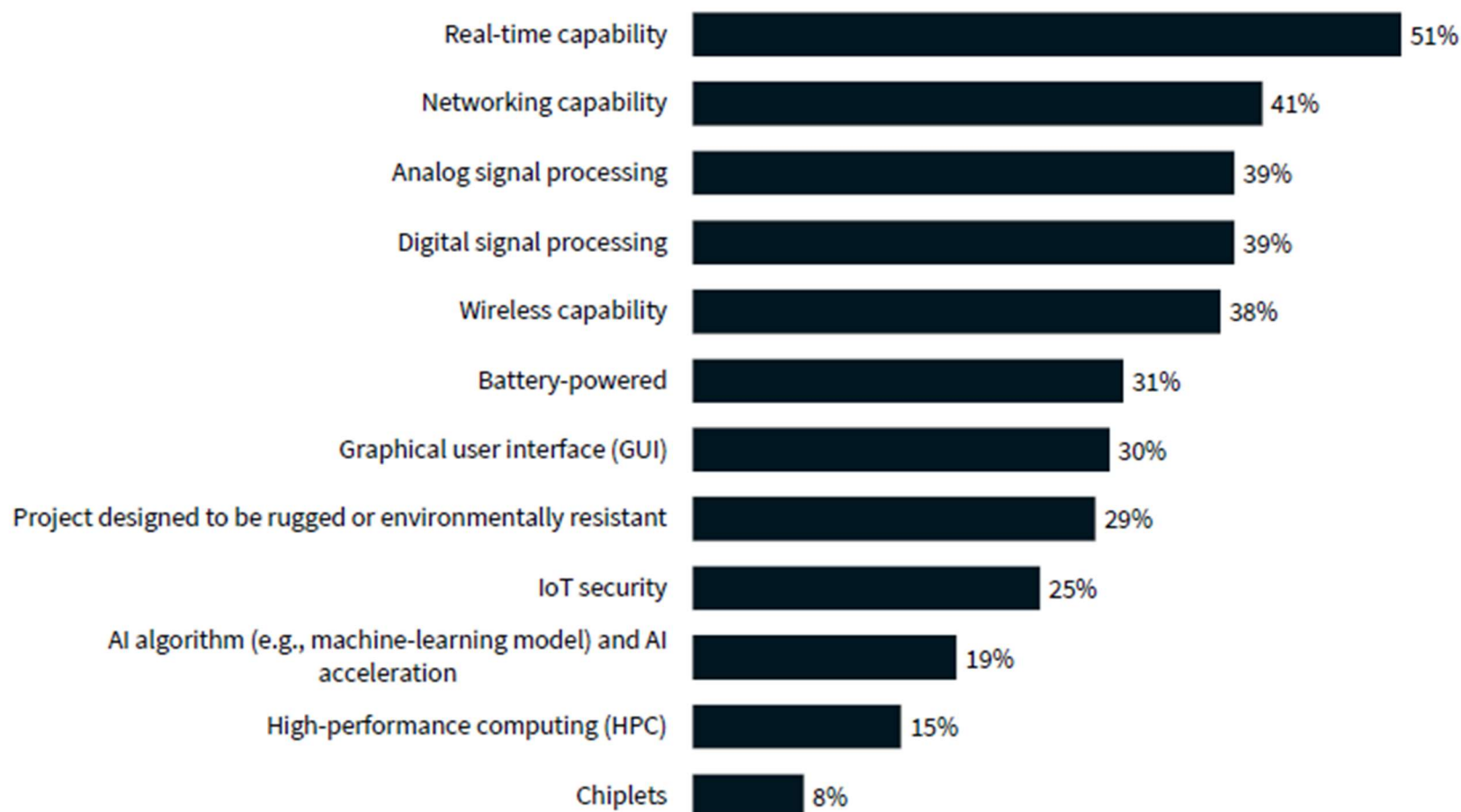


fuelle: 2023 Embedded Markets Study. AspenCore, 2023



Sistemas empotrados

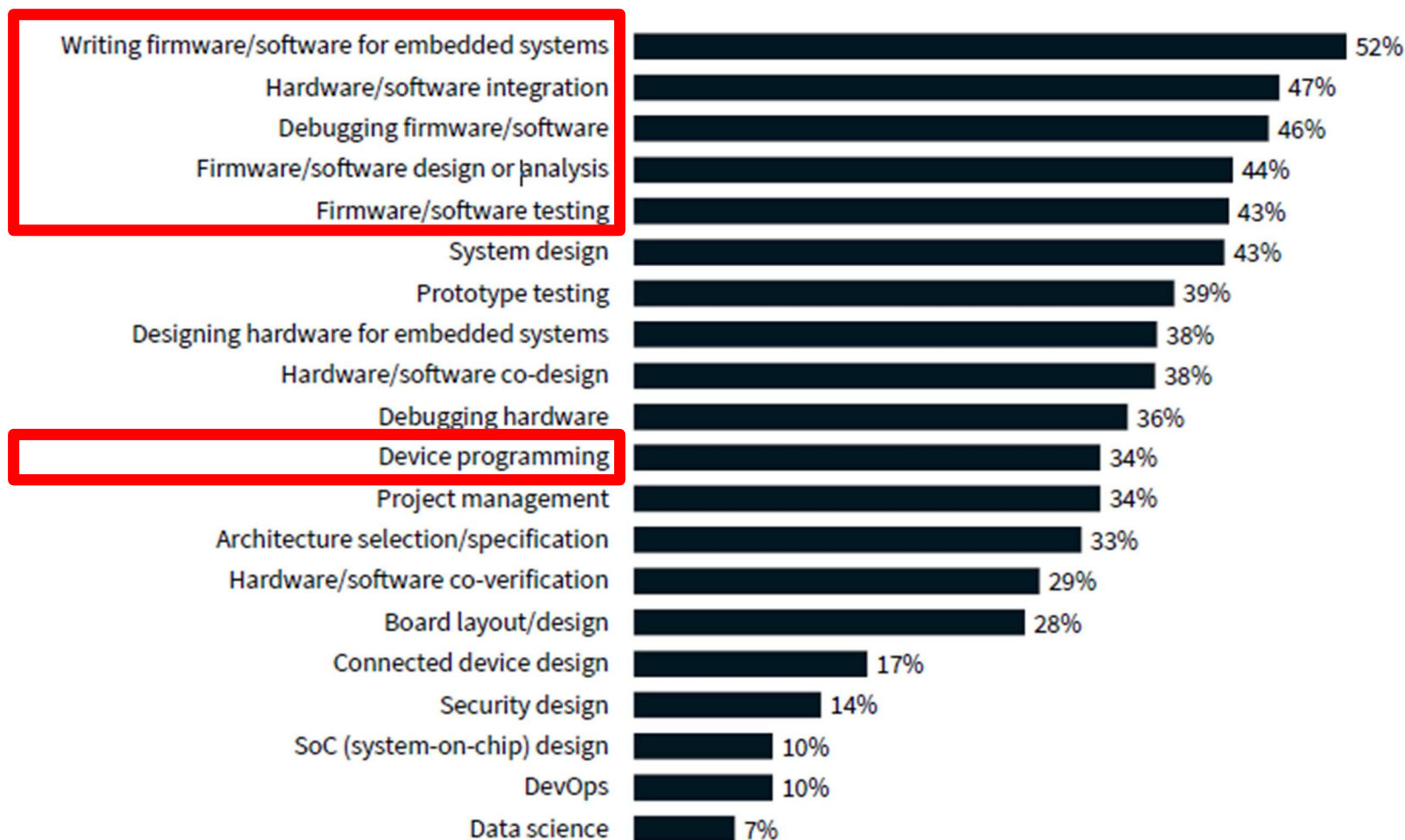
capabilities



fuelle: 2023 Embedded Markets Study. AspenCore, 2023

Sistemas empotrados

job funtions

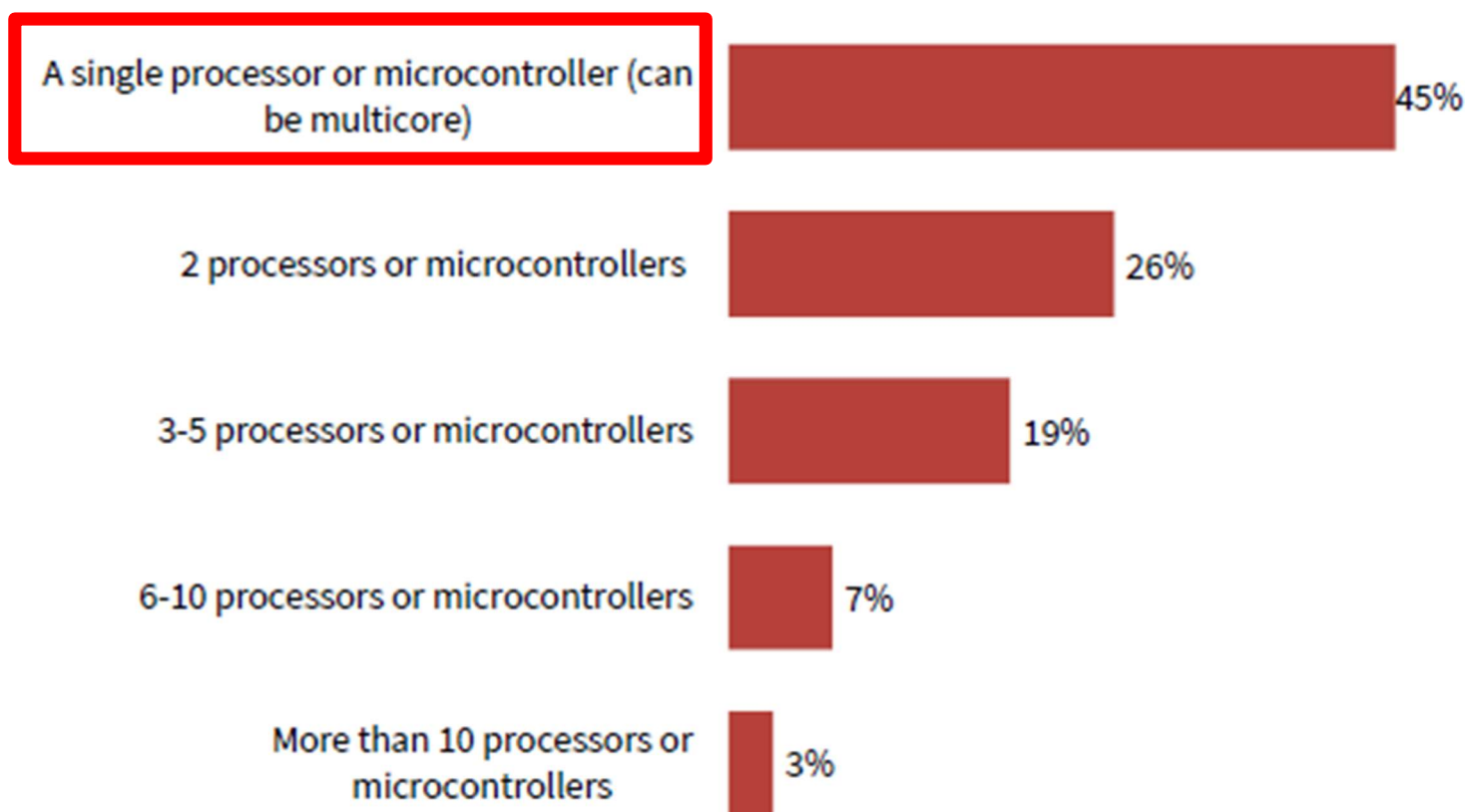


fuelle: 2023 Embedded Markets Study. AspenCore, 2023



Sistemas empotrados

number of processors

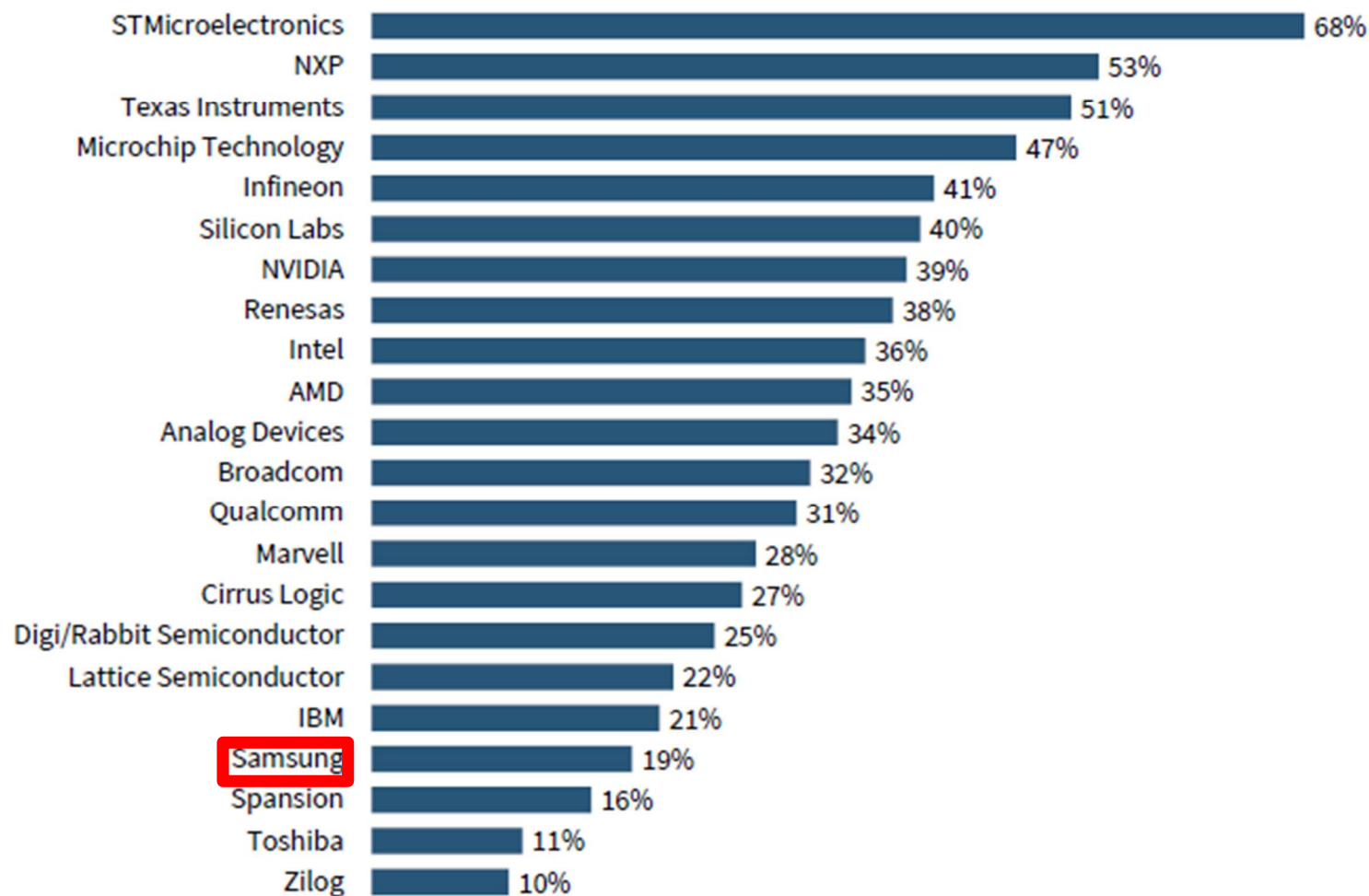


fuelle: 2023 Embedded Markets Study. AspenCore, 2023



Sistemas empotrados

processor vendor

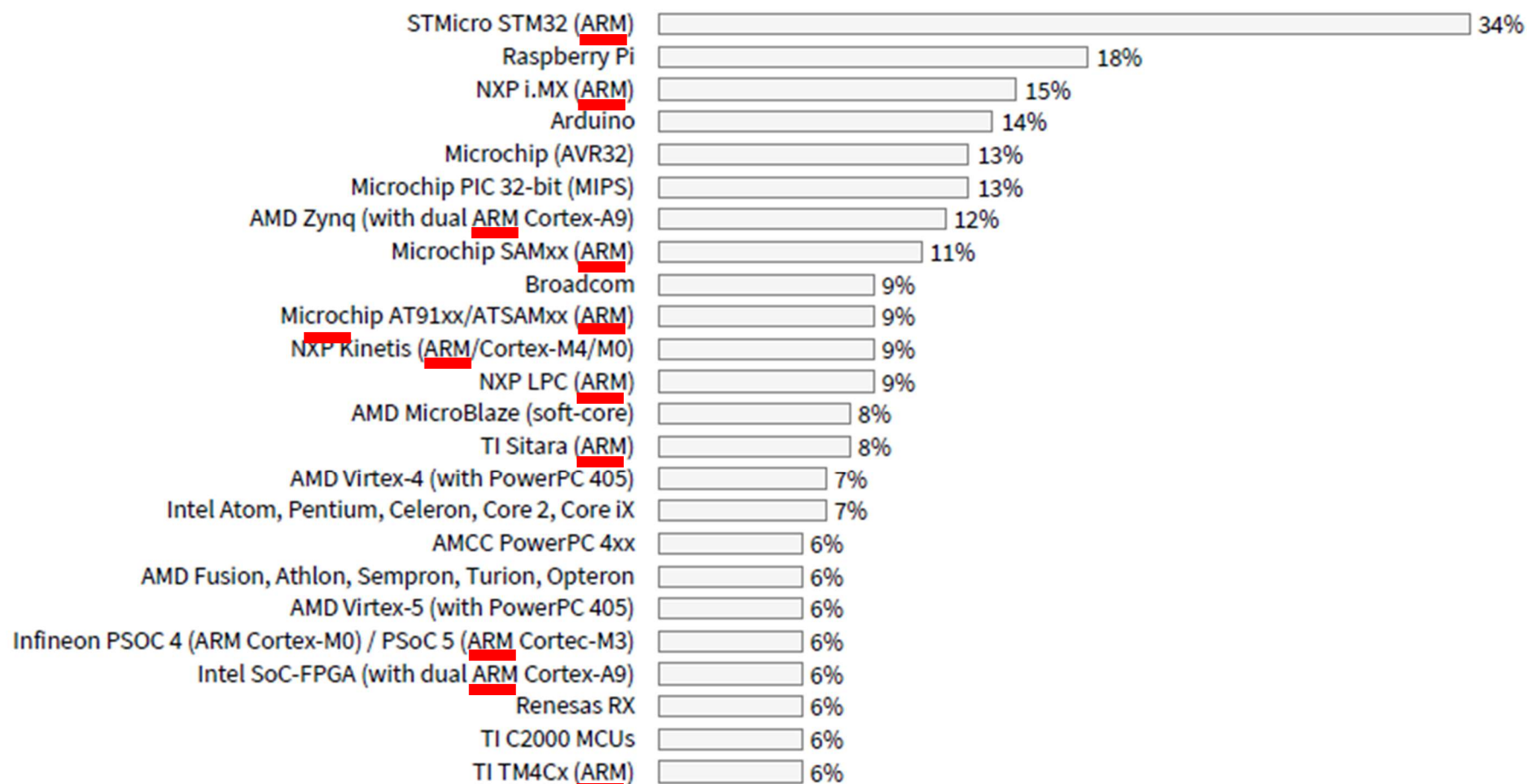


fuelle: 2023 Embedded Markets Study. AspenCore, 2023



Sistemas empotrados

processor family (32 bits)

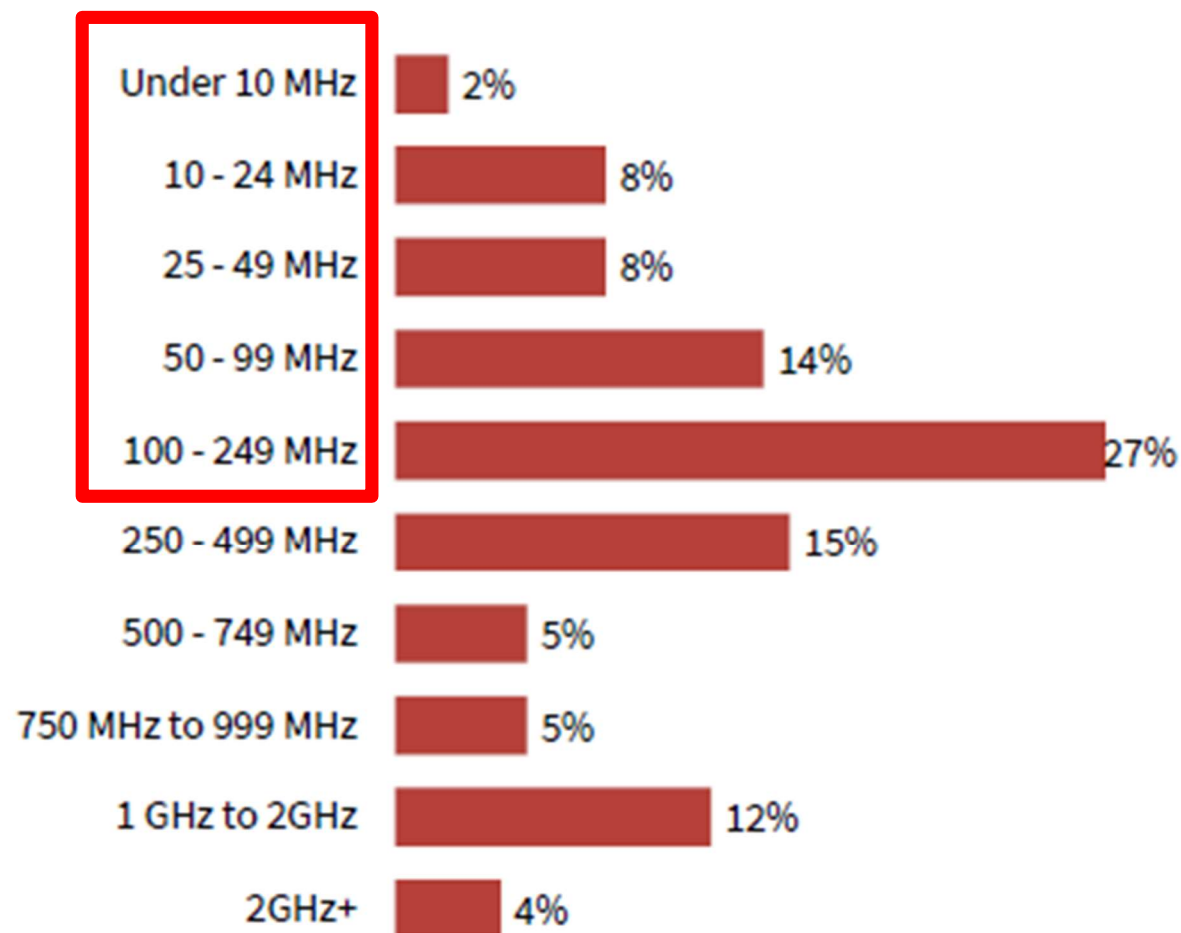


fuelle: 2023 Embedded Markets Study. AspenCore, 2023



Sistemas empotrados

processor clock rate

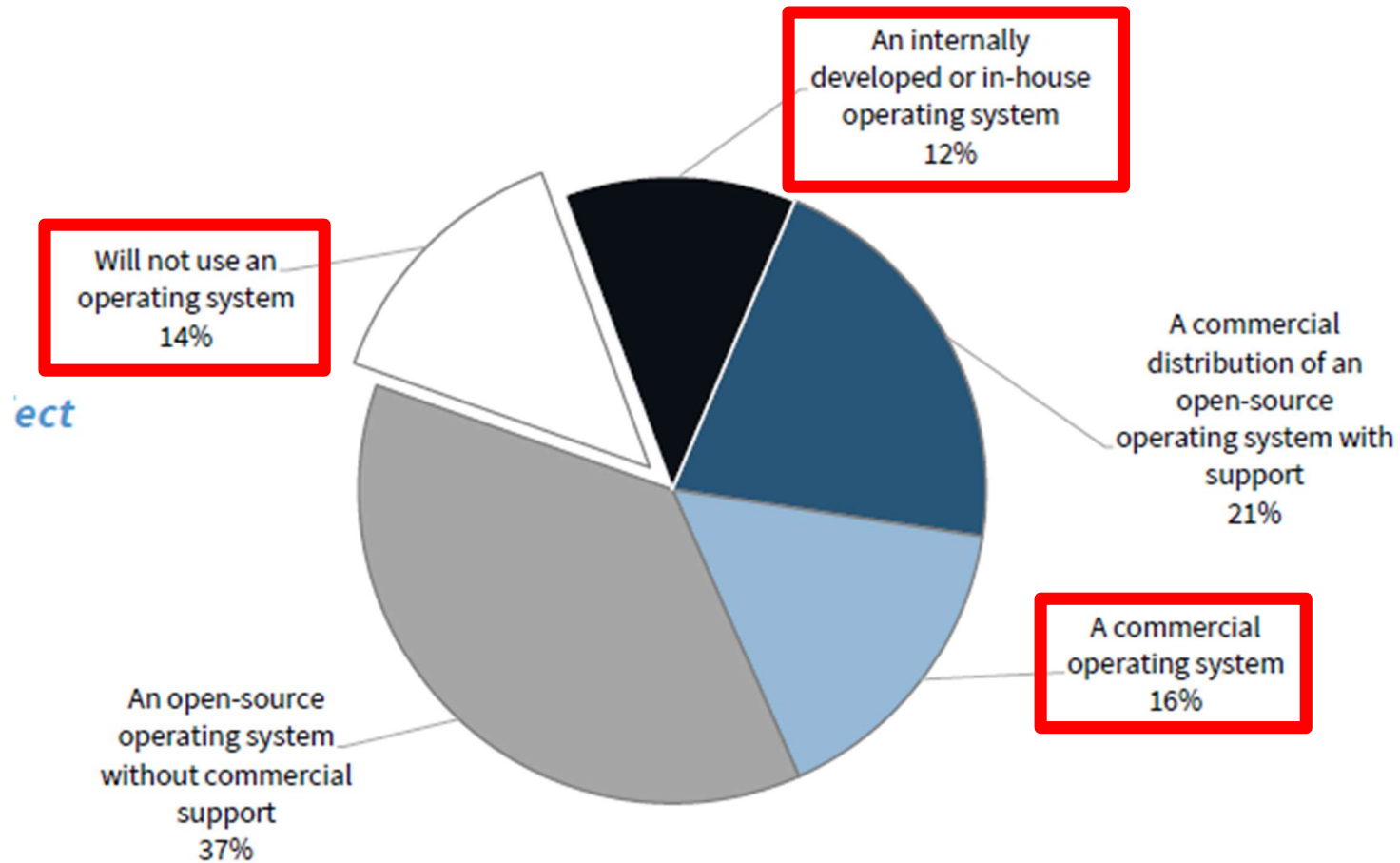


fuentes: 2023 Embedded Markets Study. AspenCore, 2023



Sistemas empotrados

use of OS/RTOS

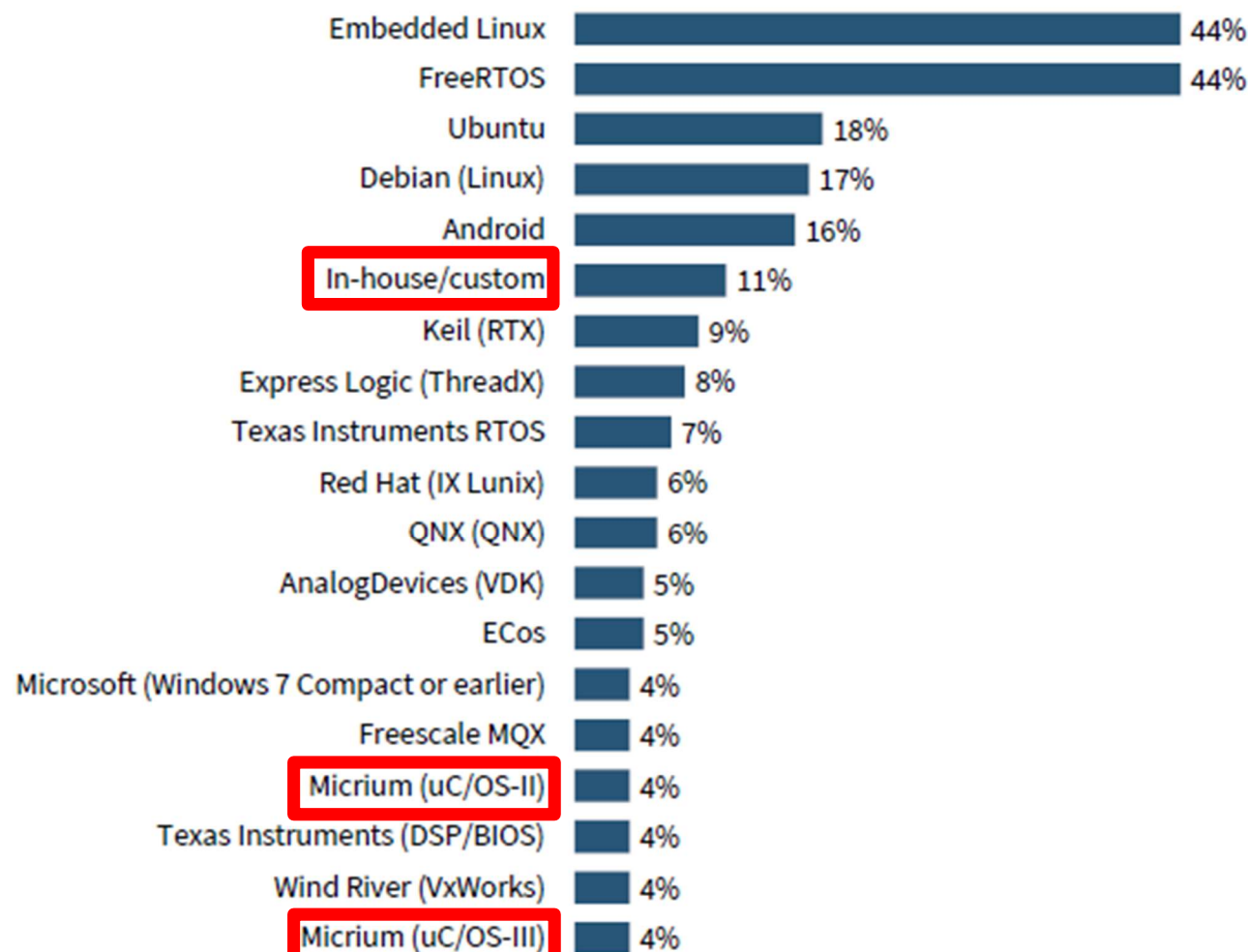


fuelle: 2023 Embedded Markets Study. AspenCore, 2023



Sistemas empotrados

OS/RTOS vendor

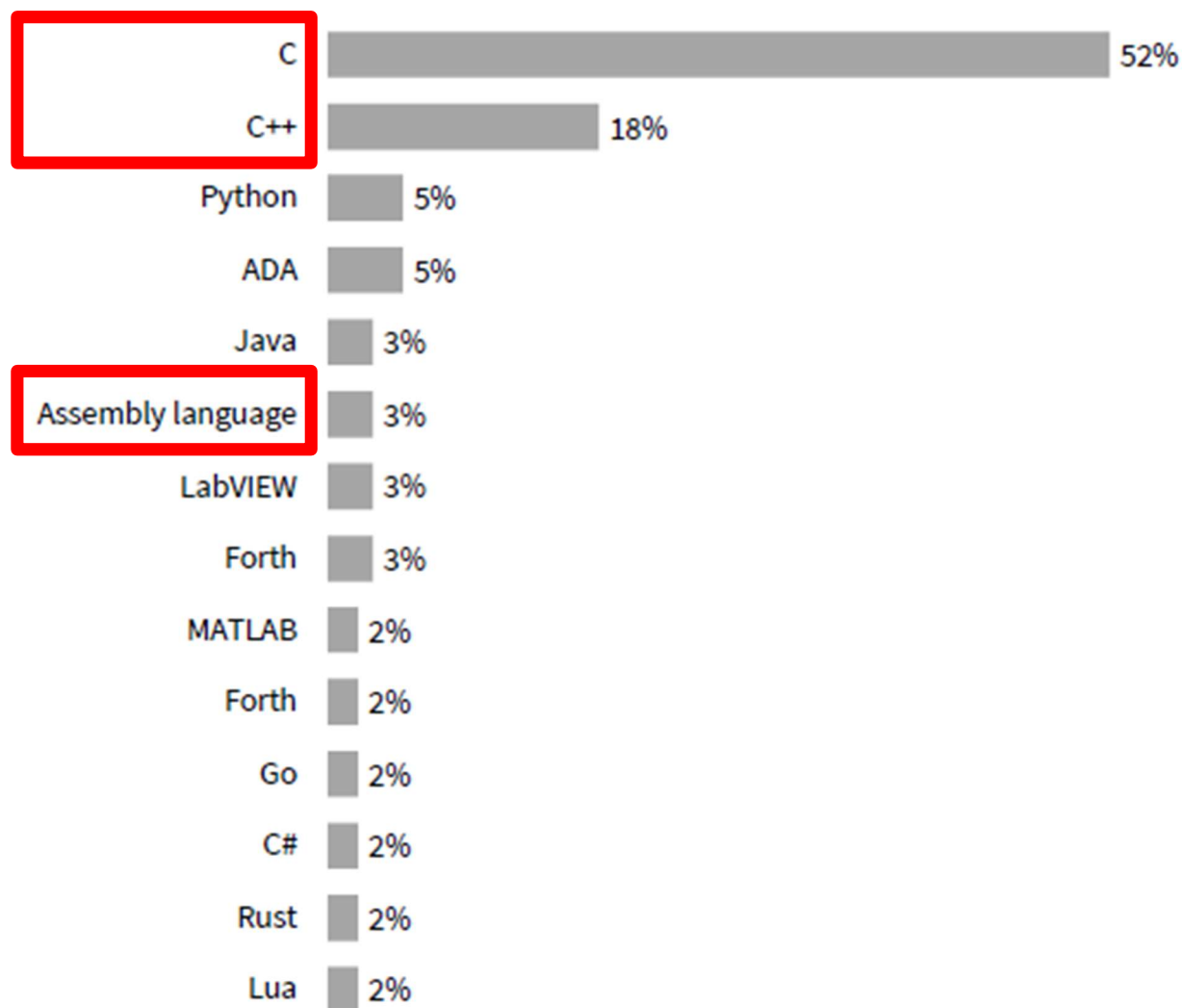


fuelle: 2023 Embedded Markets Study. AspenCore, 2023



Sistemas empotrados

programming language

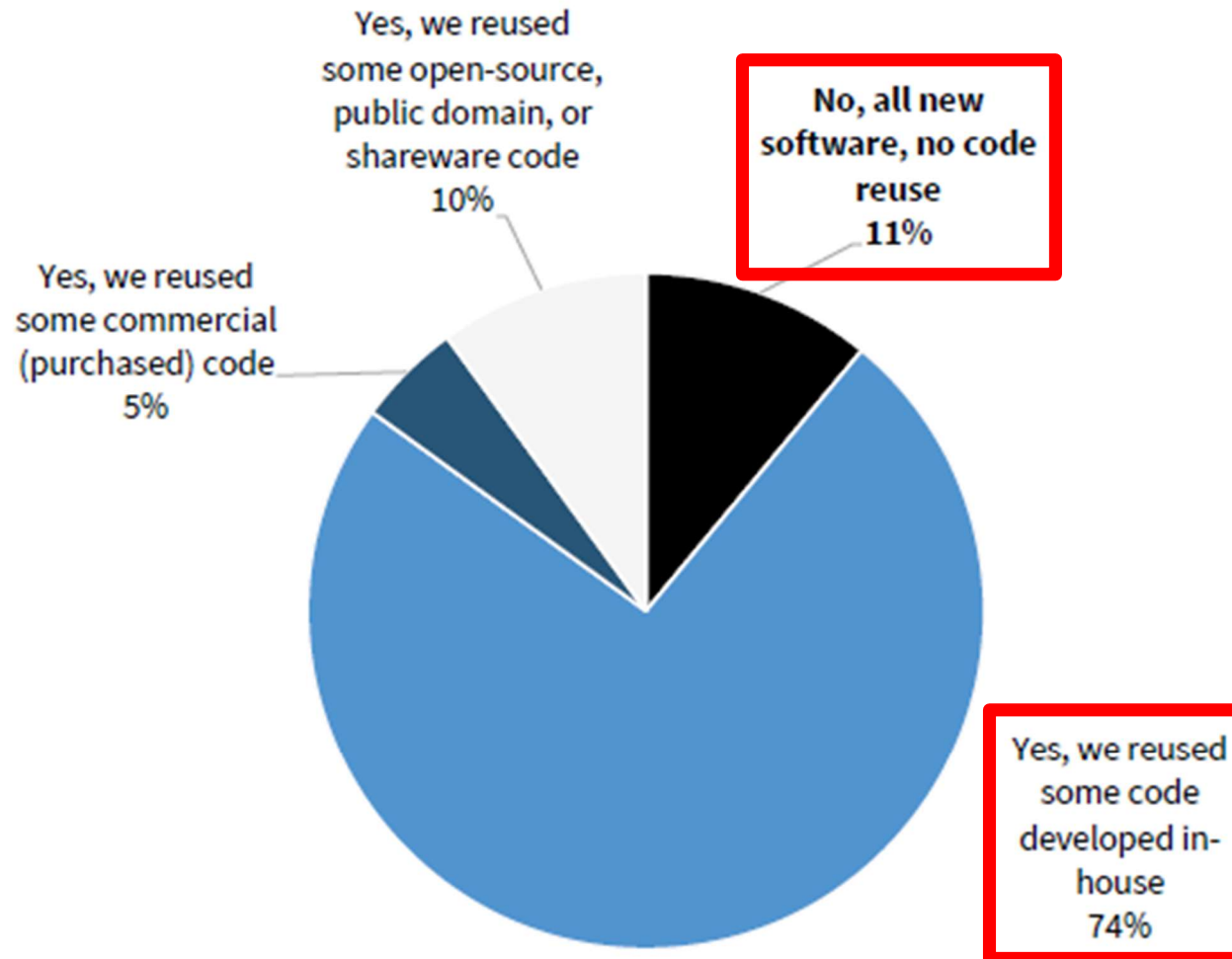


fuelle: 2023 Embedded Markets Study. AspenCore, 2023



Sistemas empotrados

code reuse



fuelle: 2023 Embedded Markets Study. AspenCore, 2023

Sistemas empotrados

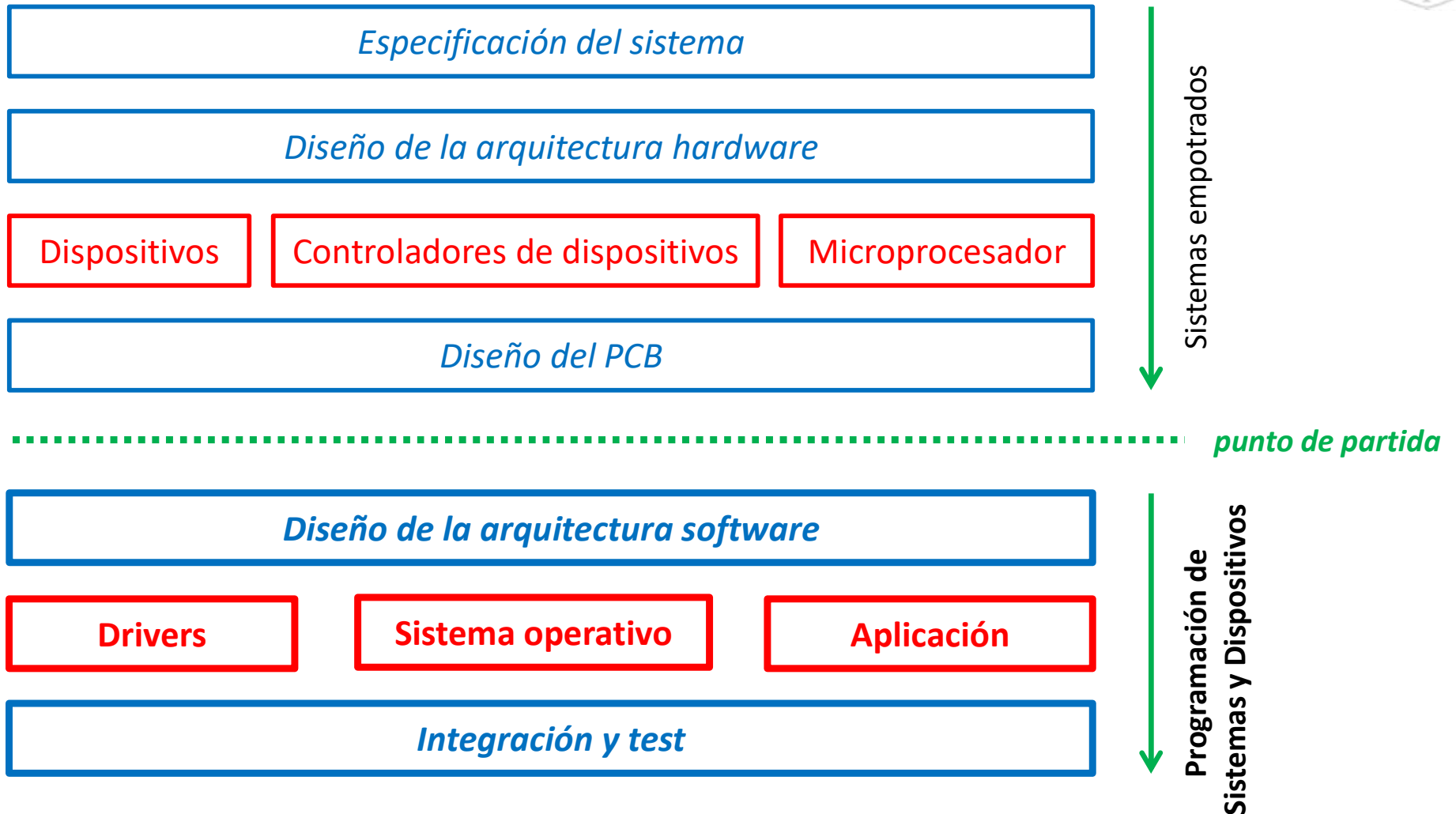
sources of information



fuelle: 2023 Embedded Markets Study. AspenCore, 2023

Contenidos

punto de partida



Contenidos



	Tema	horas
1	El microcontrolador S3C44BOX	4 h
2	La placa de prototipado Embest S3CEV40	4 h
3	El entorno de desarrollo Eclipse IDE for C/C++ Developers.	2 h
4	Programación a bajo nivel en C	4 h
5	Firmware y bootstrapping	1 h
6	Modelos de programación de software empujado	6 h
7	Micro-kernels de tiempo real	4 h
8	Introducción al multiprocesamiento empujado	1 h

Prácticas:

- Desarrollo de firmware (drivers y bootloader).
- Portado y configuración de un micro-kernel de tiempo real.
- Desarrollo de aplicaciones empujadas multihebra.



Dinámica de clases

- Todas las **actividades** de la asignatura son **presenciales**:
 - No se realizará streaming ni se grabarán las clases.
 - Medio principal de comunicación: **email y web** de la asignatura.
- **Herramientas on-line** que utilizaremos:
 - **Web**: Transparencias y documentación.
 - **Campus virtual**: Herramientas, video-demos y entregas.
 - **Google Meet**: Videoconferencia.
 - **Asistencia rápida** de Windows: Asistencia remota.
- Alternativamente, según las circunstancias, podríamos llegar a usar:
 - **Chrome Remote Desktop**: Asistencia remota.
 - **Microsoft Teams**: Entorno unificado de trabajo en equipo.
 - Requiere **activar Microsoft 365** desde la gestión de cuenta UCM.

Dinámica de clases

escenario inicial (ii)



- Distribución de clases:
 - **Lunes:** Laboratorios presenciales – Laboratorio 7 y 8.
 - **Jueves:** Teoría presencial – Aula 1210.
- Elementos evaluables:
 - **Asistencia obligatoria** (mínimo 70%) repetidores exentos.
 - **Prácticas: 30% de la nota.**
 - Entrega + defensa en horario de clases de laboratorio.
 - Retraso en la entrega se penaliza. Límite: 9 de diciembre (incl.)
 - La nota aplica a ambas convocatorias.
 - **Proyecto: 30% de la nota.**
 - Entrega + video defensa solo en primera convocatoria. Límite: 19 de enero (incl.)
 - La nota aplica a ambas convocatorias.
 - **Examen teórico: 40% de la nota.**

Dinámica de clases

laboratorios



- Cada estudiante dispondrá de un laboratorio completo en casa:
 - Deberá traerlo a clase los días de laboratorio.
- La Facultad **prestará el maletín ARM** durante todo el 1er. cuatrimestre:
 - Se recogerá desde el día **16 de septiembre** en la sala de técnicos 2.
 - Se podrá devolver hasta el día **20 de enero** inclusive.
- Cada estudiante deberá **instalarse el entorno de desarrollo**, 2 opciones:
 - **Nativamente sobre Windows 7/10/11**, siguiendo las instrucciones web.
 - Principal problema en W10/11: instalación de drivers no firmados.
 - **Instalando VMWare Player** (gratuito) y utilizando la máquina virtual disponible en CV.
 - Incluye una VM de Windows 7 con el entorno preinstalado.
- De ser necesario, el entorno de desarrollo también está instalado en:
 - Los laboratorios de la Facultad.
 - Los puestos de la biblioteca.
 - Los portátiles en préstamo de la Facultad.

Prácticas

valoraciones



	Laboratorios	Ptos
1	Acceso elemental a dispositivos (i): dispositivos externos mapeados en memoria.	0
2	Acceso elemental a dispositivos (ii): dispositivos externos conectados a puertos de E/S.	0
3	Drivers de dispositivos elementales: salida por leds y displays 7-segmentos.	0.25
4	E/S programada: control de una UART y comunicación con un terminal serie.	1.25
5	Gestión básica de interrupciones: programación de un reloj de tiempo real.	0.75
6	Medida del tiempo: control de temporizadores y entrada por pulsadores y keypads.	1.75
7	Salida por un LCD.	1
8	Bus IIC: lectura/escritura de una EEPROM (no se realiza)	-
9	E/S por DMA y Bus IIS: reproducción/grabación de sonido con un Audio Codec.	2
10	Conversión analógico-digital: entrada por un touchpad.	1.25
11	Autoarranque desde ROM	0.25
12	Multitarea cooperativa	0.5
13	Multitarea bajo un kernel de planificación no expropiativo	0.5
14	Multitarea bajo RTOS uC/OS-II	0.5

Los puntos por prácticas se ponderan por 0.3 en la calificación final

Distribución de clases



Septiembre 2024							Octubre 2024							
						1								
2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	4	5	6	
9	10	11	12	13	14	15	7	4	8	9	10	11	12	13
16	17	18	19	20	21	22	14	5	15	16	17	18	19	20
23	24	25	26	27	28	29	21	7	12	23	24	25	26	27
30							28	6	19	30	31			
Noviembre 2024							Diciembre 2024							
				1	2	3							3	
4	5	6	7	8	9	10	2	12	3	4	5	6	7	8
11	9	12	13	14	15	16	9	14	10	11	12	13	14	15
18	19	20	21	22	23	24	16	17	18	19	20	21	22	
25	10	26	27	28	29	30	23	24	25	26	27	28	29	

TEORIA

LABORATORIO

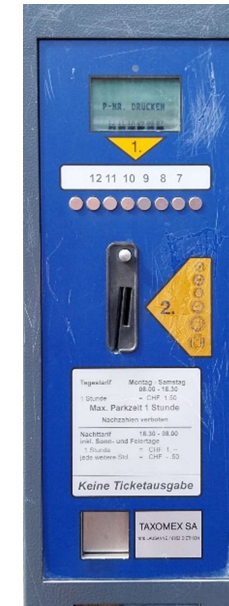
Proyecto

curso 2024-25



■ Parquímetro (Taxomex):

- Visualizar iconos y textos en un LCD.
- Interactuar a través de pulsadores, teclado y/o touchscreen.
- Comportamiento parametrizable.
- Tener un mínimo footprint (unos 50 KB).



■ Proyectos cursos anteriores:

- 2012-13: Teléfono inalámbrico.
- 2013-14: Reproductor de audio digital (iPod).
- 2014-15: Audioguía con voz sintética.
- 2015-16: Ciclocomputador (velocímetro de bicicleta).
- 2016-17: Báscula digital.
- 2017-18: Dictáfono digital.
- 2018-19: Gestor de fila única.
- 2019-20: Launchpad (secuenciador multipista).
- 2020-21: Reloj despertador parlante.
- 2021-22: Video consola (Game&Watch).
- 2022-23: Marco digital.
- 2023-24: Pulsera de actividad.



Bibliografía



■ Arquitectura ARM:

- ARM system developer's guide: designing and optimizing system software
Andrew Sloss, Dominic Symes, Chris Wright
Elsevier / Morgan Kaufman, 2004

■ Programación de dispositivos:

- S3C44BOX RISC microprocessor: product overview
Samsung Electronic
- Embedded microcomputer systems: real time interfacing
Jonathan W. Valvano
Cengage Learning, 3ª edición, 2012
- Embedded Systems Building Blocks, Complete and Ready-to-Use Modules in C
Jean J. Labrosse
R&D Books, 2ª edición, 2000

Bibliografía



■ Programación en C de sistemas empotrados:

- [An Embedded Software Primer](#)
David E. Simon
Addison-Wesley, 1999
- [Embedded C.](#)
Michael J. Pont
Addison-Wesley, 2002
- [Patterns for time-triggered embedded systems](#)
Michael J. Pont
Addison-Wesley, 2001

■ Sistemas de tiempo real:

- [MicroC/OS-II. The Real-Time Kernel](#)
Jean J. Labrosse
CMP Books, 2ª edición, 2002
- [Hard Real Time Computing Systems](#)
Giorgio C. Buttazzo
Springer, 3ª edición, 2011

Acerca de *Creative Commons*



■ Licencia CC (*Creative Commons*)

- Ofrece algunos derechos a terceras personas bajo ciertas condiciones. Este documento tiene establecidas las siguientes:



Reconocimiento (*Attribution*):

En cualquier explotación de la obra autorizada por la licencia hará falta reconocer la autoría.



No comercial (*Non commercial*):

La explotación de la obra queda limitada a usos no comerciales.



Compartir igual (*Share alike*):

La explotación autorizada incluye la creación de obras derivadas siempre que mantengan la misma licencia al ser divulgadas.

Más información: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>