Diseño de Sistemas de Tiempo-real

Aspectos básicos

Computadores II / 2005-2006

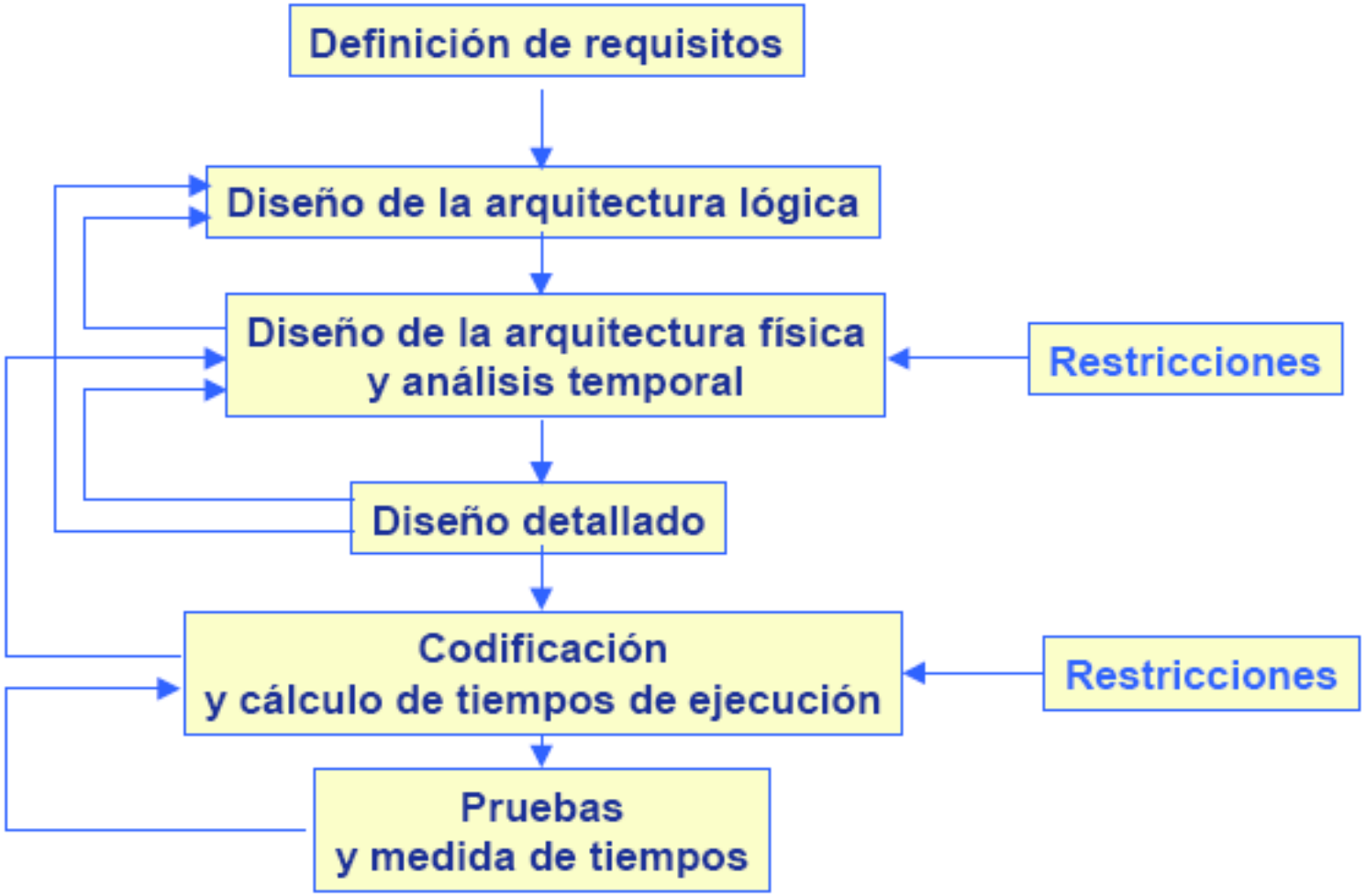
Contenido

- Repasaremos algunos conceptos de ingeniería de software y su aplicación a sistemas de tiempo real
- Introduciremos brevemente el concepto de método y en particular HRT-HOOD
- Analizaremos los lenguajes de programación y sistemas operativos más adecuados para realizar sistemas de tiempo real

Motivación

- Los métodos y herramientas que se usan para construir otros tipos de sistemas no sirven para el software de tiempo real
  - no son suficientemente fiables
  - sólo contemplan el tiempo de respuesta medio, no el peor
  - no se garantizan los requisitos temporales
- Las plataformas de desarrollo y ejecución suelen ser diferentes
  - es difícil hacer pruebas en la plataforma de ejecución
  - es difícil medir los tiempos con precisión

Proceso de desarrollo iterativo



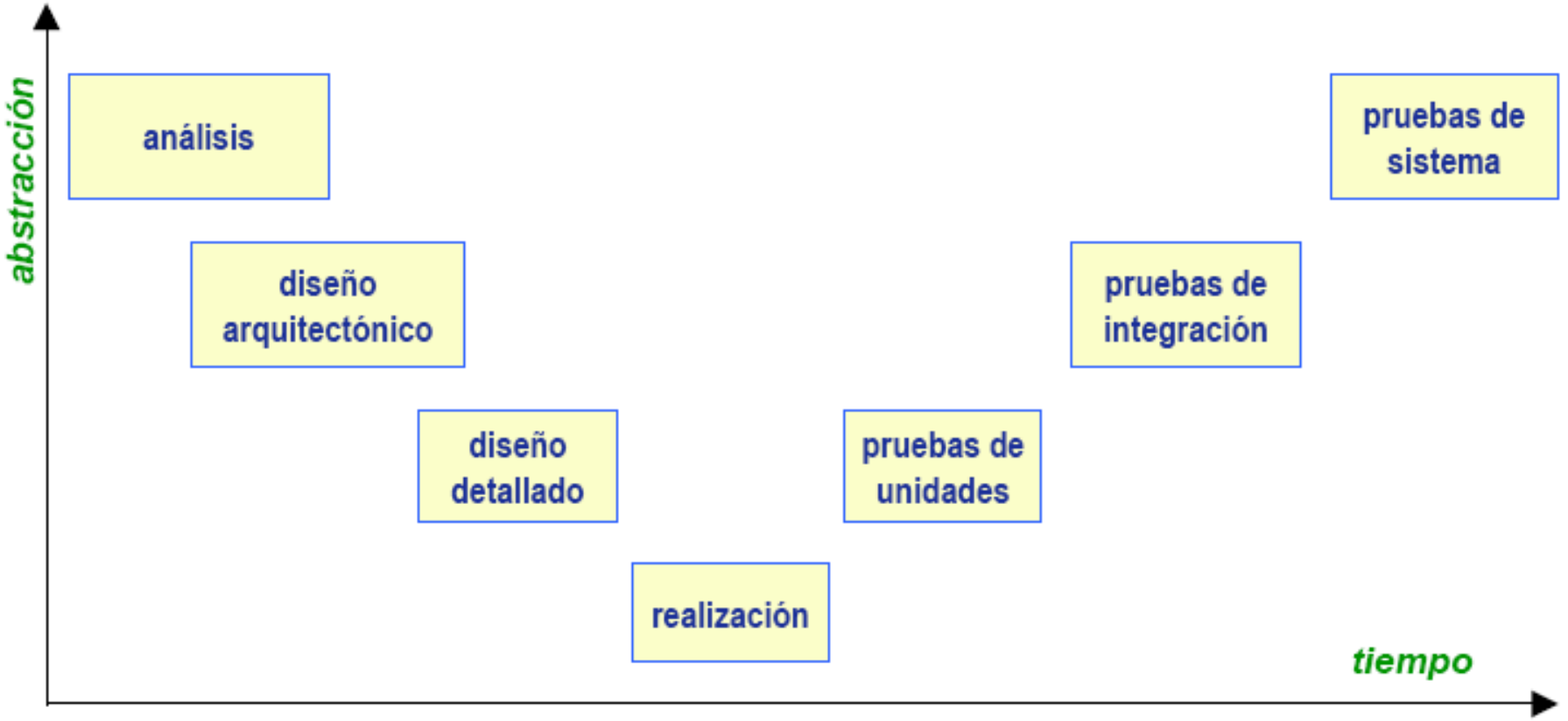
Características

- Elementos en cada nivel de abstracción
  - **Compromisos**: propiedades que ya no se cambiarán
  - **Obligaciones**: se dejan para niveles inferiores
- En el diseño se van transformando las obligaciones en compromisos
  - Este proceso está sujeto a restricciones impuestas por el **entorno de ejecución**
- Dos niveles de diseño arquitectónico
  - **Modelo lógico** - compromisos independientes del entorno
  - **Modelo físico** - compromisos dependientes del entorno

Niveles de abstracción

- Los métodos de diseño de software comprenden una serie de transformaciones desde los requisitos iniciales hasta el código ejecutable
- Normalmente se consideran distintos niveles de abstracción en la descripción de un sistema:
  - Especificación de requisitos
  - Diseño arquitectónico
  - Diseño detallado
  - Programación
  - Pruebas
- Cuanto más precisa sea la notación empleada en cada nivel mejor será la calidad del sistema final

Ciclo de desarrollo secuencial



Características

- Se descompone en una secuencia de **etapas**
  - Hay que completar cada etapa antes de empezar la siguiente
- Las **pruebas** se llevan a cabo después de la realización
  - Muchos errores se encuentran sólo al final
  - Volver atrás es muy costoso
  - A veces se hace sin documentar y de forma poco rigurosa
- Es mejor utilizar un proceso iterativo
  - Veremos uno centrado en la etapa de diseño
  - Se trata de validar todos los aspectos que se pueda en la etapa de diseño del sistema
  - Prestaremos especial atención a la **validación** del comportamiento temporal

Métodos de ingeniería

- En ingeniería de software se aplican muchos métodos de desarrollo que dictan las fases de un proyecto
- Hay métodos de desarrollo específicos para sistemas de tiempo real:
  - ROOM
  - OCTOPUS
  - COMET
  - ROPES
  - HRT-HOOD
- Comentaremos algunas ideas de éste último

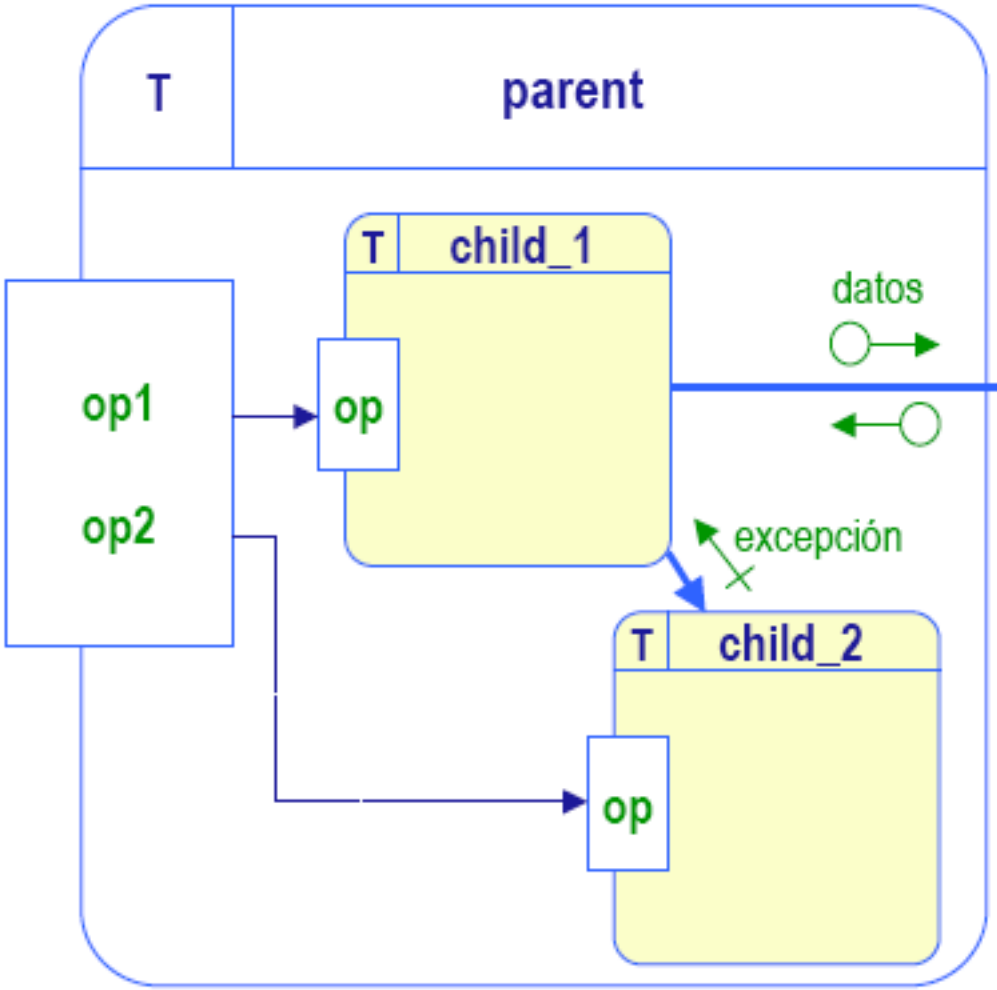
HRT-HOOD

- HRT-HOOD
  - Hard Real-Time Hierarchical Object-Oriented Design
  - desarrollado por Burns & Wellings en 1994
- Es un método de diseño estructurado, basado en objetos,para sistemas de tiempo real estricto
  - derivado de HOOD (Hierarchical Object-Oriented Design)
  - estándar en la Agencia Europea del Espacio (ESA)
- Principios
  - Abstracción
  - descomposición jerárquica
  - ocultamiento de información
  - análisis temporal

Elementos de HRT-HOOD

- Un sistema se diseña como una jerarquía de **objetos abstractos**
  - un objeto se caracteriza por sus operaciones y su comportamiento(abstracción y ocultamiento de información)
  - cada objeto se puede **descomponer** en otros de más bajo nivel
  - modelo de objetos simple, **sin herencia**
    - apropiado para sistemas de tiempo real
- Se puede **analizar** el comportamiento temporal si el entorno de ejecución es conocido y predecible
  - los objetos tienen atributos temporales
  - las relaciones entre objetos están restringidas para asegurar que el diseño se puede analizar

Objetos y relaciones



El objeto **parent** ***contiene***
los objetos **child_1** y **child_2**

parent ***usa*** **uncle**
child_1 ***usa*** **child_2** y **uncle**

child_1.op ***implementa*** **parent.op1**
child_2.op ***implementa*** **parent.op2**

Tipos de objetos

- **Pasivos**
  - no controlan cuándo se ejecutan sus operaciones
  - no invocan operaciones de otros objetos espontáneamente
- **Protegidos**
  - pueden controlar cuándo se ejecutan sus operaciones
  - no invocan operaciones de otros objetos espontáneamente
- **Activos**
  - pueden controlar cuándo se ejecutan sus operaciones
  - pueden invocar operaciones de otros objetos espontáneamente
  - **Cíclicos**
    - sus operaciones se ejecutan a intervalos regulares
  - **Esporádicos**
    - sus operaciones se ejecutan cuando ocurre un suceso externo o interno

UML

- UML
  - Unified Modeling Language
  - desarrollado por Booch, Rumbaugh y Jacobson
- Notación estructurada basada en objetos
  - clases y objetos
  - casos de uso
  - Comportamiento
  - Paquetes
  - estructura del software
  - estructura física
- UML es un lenguaje, no un método
- Se está extendiendo para aplicarlo a STR

Diseño y lenguajes

- El diseño debe tener en cuenta lo que se puede hacer en los niveles de abstracción inferiores
- Los lenguajes de programación proporcionan la notación básica para la realización de los diseños
- La elección de un lenguaje es importante desde el punto de vista de la eficiencia y la fiabilidad del sistema
  - también tiene que ver con la productividad de la programación
  - un programa se escribe una vez, pero se lee y se modifica muchas durante las etapas de mantenimiento
  - la vida útil de los sistemas empotrados puede ser muy larga

Lenguajes de programación

- Un lenguaje de programación de sistemas de tiempo real debe facilitar la realización de sistemas
  - concurrentes,
  - fiables,
  - con un comportamiento temporal analizable
- Hay varias clases de lenguajes de interés para STR:
  - Lenguajes ensambladores
    - flexibles y eficientes, pero costosos y poco fiables
  - Lenguajes secuenciales (Fortran, Pascal, C, C++)
    - necesitan un SO para concurrencia y tiempo real
  - Lenguajes concurrentes (Modula, Ada, Java, ...)
    - concurrencia y tiempo real incluidos en el lenguaje

C

- Es un lenguaje muy utilizado para programación de sistemas
- Es un lenguaje
  - estructurado, con bloques
  - sin tipado fuerte
  - muy flexible (pero a veces poco seguro)
- No tiene integrada la concurrencia ni el tiempo real
  - se consigue invocando servicios del sistema operativo de forma explícita
- No facilita la descomposición en módulos ni la programación con objetos
  - se puede hacer con C++
    - extensión de C para programar con objetos
    - no se solía usar en STR por problemas de fiabilidad

Ada

- Es un lenguaje diseñado específicamente para sistemas de tiempo real empotrados
  - Concurrencia
  - tiempo real
  - acceso al hardware e interrupciones
- Es un lenguaje descendiente de Pascal
  - estructura en bloques
  - fuertemente tipado
- Está pensado para construir sistemas grandes y cambiantes
  - paquetes (módulos) y esquemas genéricos
  - extensión de tipos con herencia
  - biblioteca jerárquica
  - interfaces normalizadas con otros lenguajes (C, Fortran)

Ada 95

- Es la versión actual normalizada de Ada
- La norma define
  - un núcleo común para todas las implementaciones(core language)
  - unos anexos especializados para
    - programación de sistemas
    - sistemas de tiempo real
    - sistemas distribuidos
    - sistemas de información
    - cálculo numérico
    - fiabilidad y seguridad
  - Los anexos definen
    - paquetes de biblioteca
    - mecanismos de implementación
    - No añaden sintaxis ni vocabulario al lenguaje

Perfiles para sistemas críticos

- El documento **Guide for the use of the Ada programming language in high-integrity systems** define subconjuntos seguros de Ada para aplicaciones críticas
- **SPARK** es un subconjunto / extensión de Ada que permite el uso de técnicas de análisis estático
- El perfil de **Ravenscar** define un subconjunto seguro de la parte concurrente de Ada, y los correspondientes servicios de sistema operativo

Java

- Es un lenguaje pensado para construir sistemas portables
  - basado en objetos dinámicos
  - con concurrencia integrada en el lenguaje
  - bibliotecas de clases (APIs)
    - muy útiles
    - Para muchas cosas diferentes
  - pensado para que el código objeto sea portátil
    - interpretado por una máquina virtual (JVM)
    - “write once, run everywhere”
- La definición original no es adecuada para tiempo real
  - la planificación de actividades concurrentes no está bien definida
  - los mecanismos de sincronización son inadecuados
  - la gestión dinámica de memoria introduce indeterminismo
  - la medida del tiempo no es suficientemente precisa
  - otros problemas con excepciones y concurrencia

Java para tiempo real

- Hay varias propuestas de modificaciones para usar Java en sistemas de tiempo real
  - NIST **Requirements for Real-Time Extensions to Java** (1999)
    - no modificar la sintaxis, coexistencia con aplicaciones convencionales
  - Java Real-time Experts Group (Sun & otros)
    - **Real-Time Specification for Java** (2000-2001)
    - basada en un máquina virtual extendida para STR
    - hay una implementación de referencia
  - Real-Time Java Working Group (J-Consortium)
    - **Real-Time Core Specification** (2000)
    - basada en una máquina virtual separada para STR
- Los compiladores y las máquinas virtuales para Java de tiempo real están en sus comienzos

Sistemas operativos

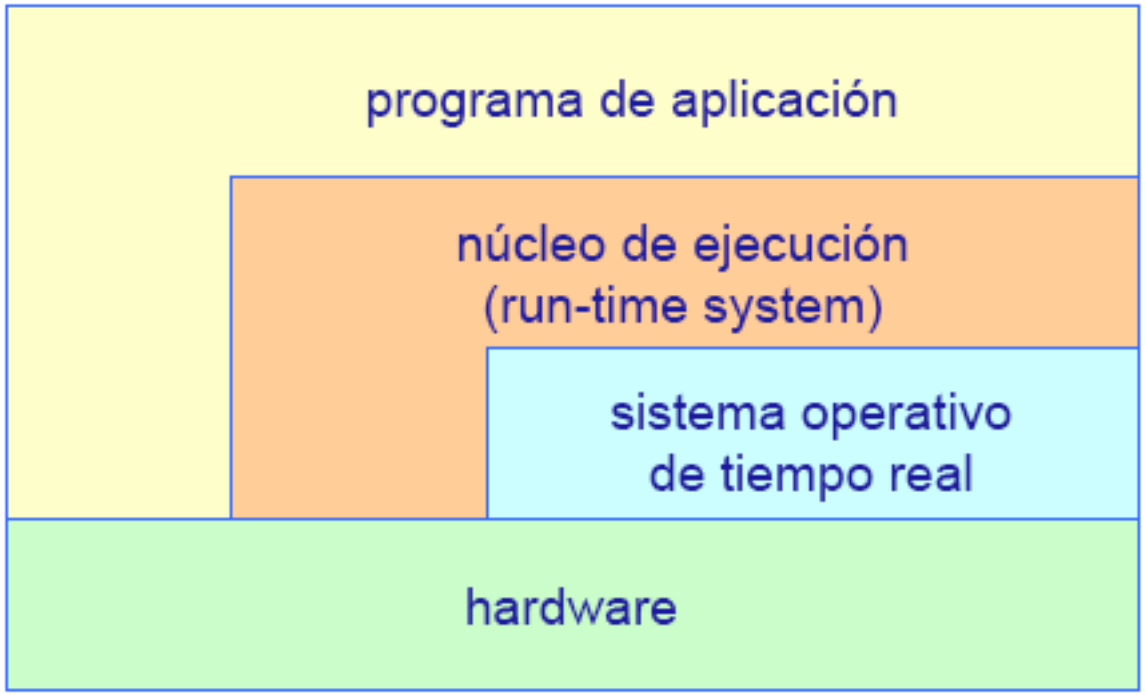
- Los sistemas operativos convencionales no son adecuados para realizar sistemas de tiempo real
  - no tienen un **comportamiento determinista**
  - no permiten **garantizar los tiempos de respuesta**
  - algunos de ellos son **poco fiables**
- Un sistema operativo de tiempo real (SOTR/RTOS) debe soportar
  - **concurrencia**: procesos ligeros (threads) con memoria común
  - **temporización**: medida de tiempos y ejecución periódica
  - **planificación determinista**
    - ej.: prioridades fijas con desalojo
  - **dispositivos de E/S**: acceso a recursos de hardware e interrupciones

Arquitectura de software y SO

Aplicación convencional

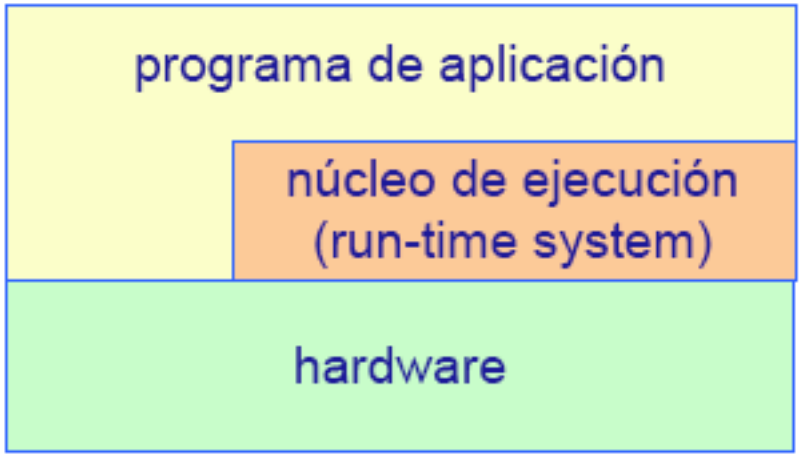
Sistema empotrado

Arquitectura de software



- Arquitectura con sistema operativo

Arquitectura de software



Arquitectura con
máquina desnuda

Arquitectura con
máquina virtual

POSIX

- Es un conjunto de normas IEEE/ISO que definen **interfases de sistemas operativos**
- Permiten desarrollar software portátil y reutilizable(**Portable Operating System Interface**)
- Las normas definen **servicios** que se pueden incluir o no en un sistema operativo particular
- Además se definen **perfiles de aplicación** con conjuntos de servicios estándar
- Las interfases se encuentran especificadas en C, Ada, y otros lenguajes

Normas POSIX

- POSIX 1, 1a Interfaz básica similar a UNIX™
- POSIX 1b,1d,1j Extensiones de tiempo real
- POSIX 1c Procesos ligeros (threads)
- POSIX 1e Seguridad
- POSIX 1f NFS
- POSIX 1g Servicios de red (sockets, XTI)
- POSIX 1h Tolerancia de fallos
- POSIX 5,5a,5b Interfaces para Ada
- POSIX 13 Perfiles para sistemas de tiempo real
- POSIX 21 Comunicaciones de tiempo real

Perfiles de aplicación

- Definen subconjuntos de servicios para distintos tipos de aplicaciones
- POSIX 13 : Perfiles para sistemas de tiempo real
  - PSE50 : sistema de tiempo real mínimo
    - sin gestión de memoria, ficheros ni terminal
    - sólo threads (no procesos pesados)
  - PSE51 : controlador de tiempo real
    - tiene sistema de ficheros y terminal
  - PSE52 : sistema de tiempo real dedicado
    - tiene gestión de memoria y procesos pesados
  - PSE53 : sistema de tiempo real generalizado
    - sistema completo con todo tipo de servicios

Ejemplos de SOTR

- VxWorks
- LynxOS
- QNX
- OSE
- OSEK
- RTAI
- RT-Linux
- **Marte** — Universidad de Cantabria
  - perfil POSIX PSE50
  - para sistemas empotrados en PCx86
- **Open Ravenscar Kernel** (ORK)
  - DIT/UPM– núcleo de SOTR para Ada / Ravenscar

Resumen

- Los métodos y herramientas convencionales no son adecuados para desarrollar sistemas de tiempo real
- HRT-HOOD es un método de diseño bien adaptado a este tipo de sistemas
- En el curso podemos usar algunos lenguajes de programación para ilustrar los conceptos más importantes de los STR
  - C / POSIX
  - Ada 95
  - RT Java