Tema 2

Introducción a los Sistemas de Tiempo Real

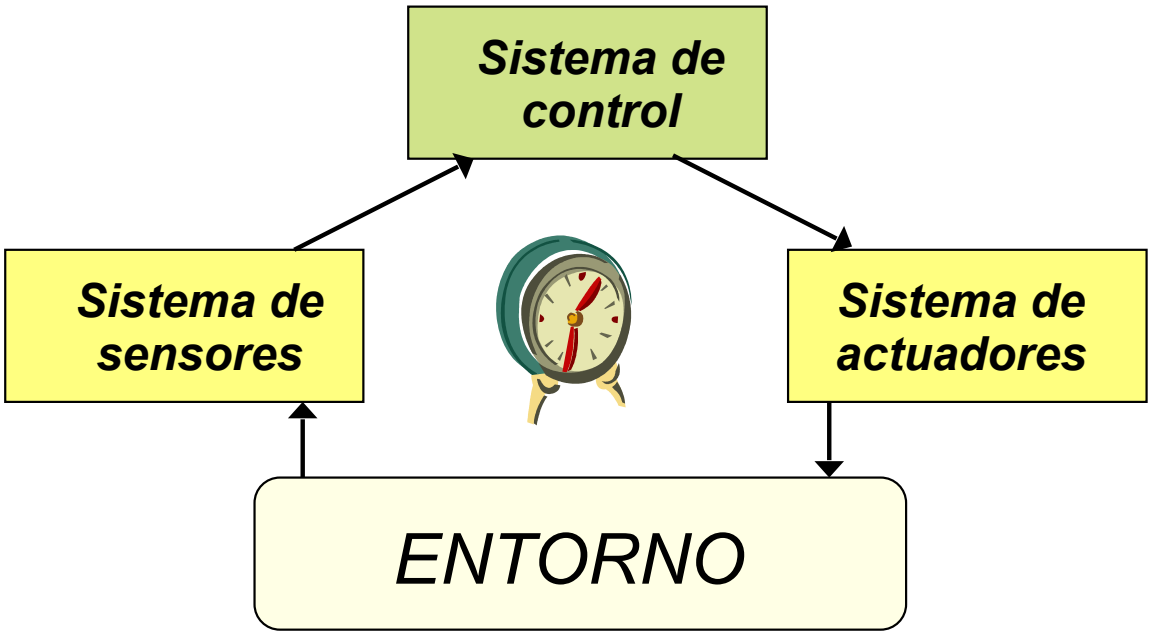
Objetivos

1. Comprender qué es un Sistema de Tiempo Real (STR) y saber diferenciarlos de otros sistemas informáticos
2. Conocer las principales características de un STR y cómo clasificarlos
3. Conocer las distintas arquitecturas software para la programación de STR

Índice

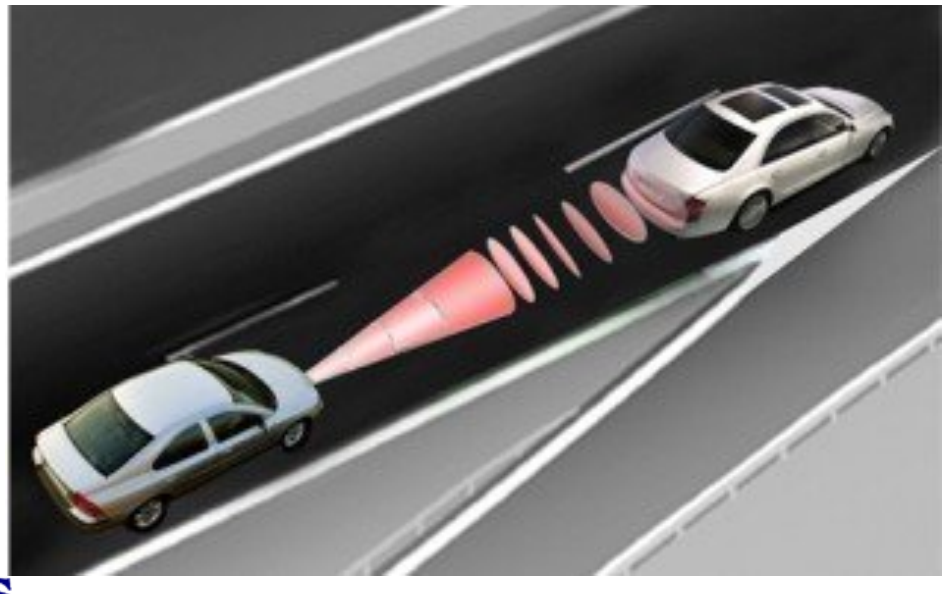
Definición de un STR

- Un **Sistema de Tiempo Real** es un sistema informático que:
  - **interacciona** repetidamente con su entorno físico
  - responde a los estímulos que recibe de dicho entorno en un **plazo de tiempo** determinado



Significado de Tiempo Real

- Programa correcto lógica y **temporalmente**
- STR **distinto de** sistema rápido
- ***Deadline***

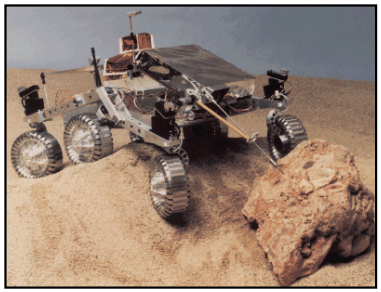


¿De cuánto tiempo disponemos para evitar la colisión? …

- ¿a qué velocidad van los vehículos?
- ¿a qué distancia están?
- ¿cuál es el estado de los frenos y de los neumáticos?
- ¿cuál es el estado de la carretera?
- etc.

Algunos ejemplos

- Transporte: ayudas a la conducción, control de tráfico aéreo, navegación autónoma …
- Aplicaciones médicas: monitorización de pacientes, regulación presión sanguínea …
- Industria militar: guiado de misiles …
- Industria aeroespacial: satélites, cohetes …
- Programación de electrodomésticos, sistemas domóticos …
- Sistemas de control y fabricación de automóviles



Conceptos relacionados

Sistemas empotrados

- Por lo general, es un STR que forma parte de otro sistema físico en el que realiza operaciones de control (***embedded system***)
- Recursos limitados (procesador, memoria, pantalla, etc.)
- Dispositivos de entrada y salida especiales
- Suele ser no visible desde el exterior y es generalmente inaccesible al usuario
- La aplicación se ejecuta desde ROM

Algunos requerimientos temporales de un controlador de vuelo

- Hacer cada ciclo de 1/180 segundos:
  - Validar datos de sensores y seleccionar fuente de datos; si error, reconfigurar el sistema
  - Realizar los cálculos de control a 30Hz, una vez cada 6 ciclos, de los circuitos externos de inclinación, balanceo y guiñada
  - Realizar los cálculos de control a 90Hz una vez cada 2 ciclos, de los circuitos internos de inclinación y balanceo usando como entrada las salidas del paso anterior
  - Realizar los cálculos de los circuitos internos de guiñada, usando las salidas del paso anterior
  - Dar como salida los comandos
  - Ejecutar los comandos y esperar al principio del siguiente ciclo

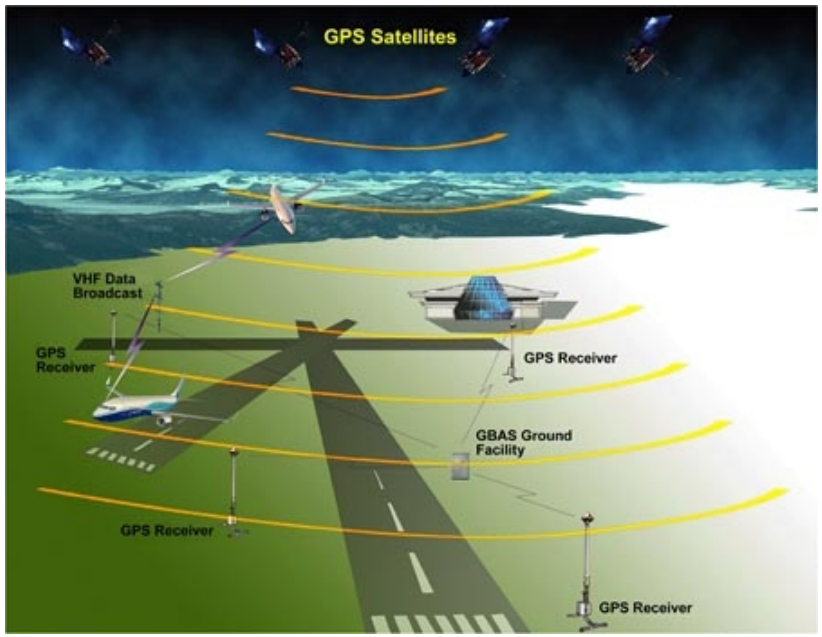
Índice

Principales características de un STR

- Concurrencia
- Dependencia del tiempo
- Fiabilidad y seguridad

Concurrencia

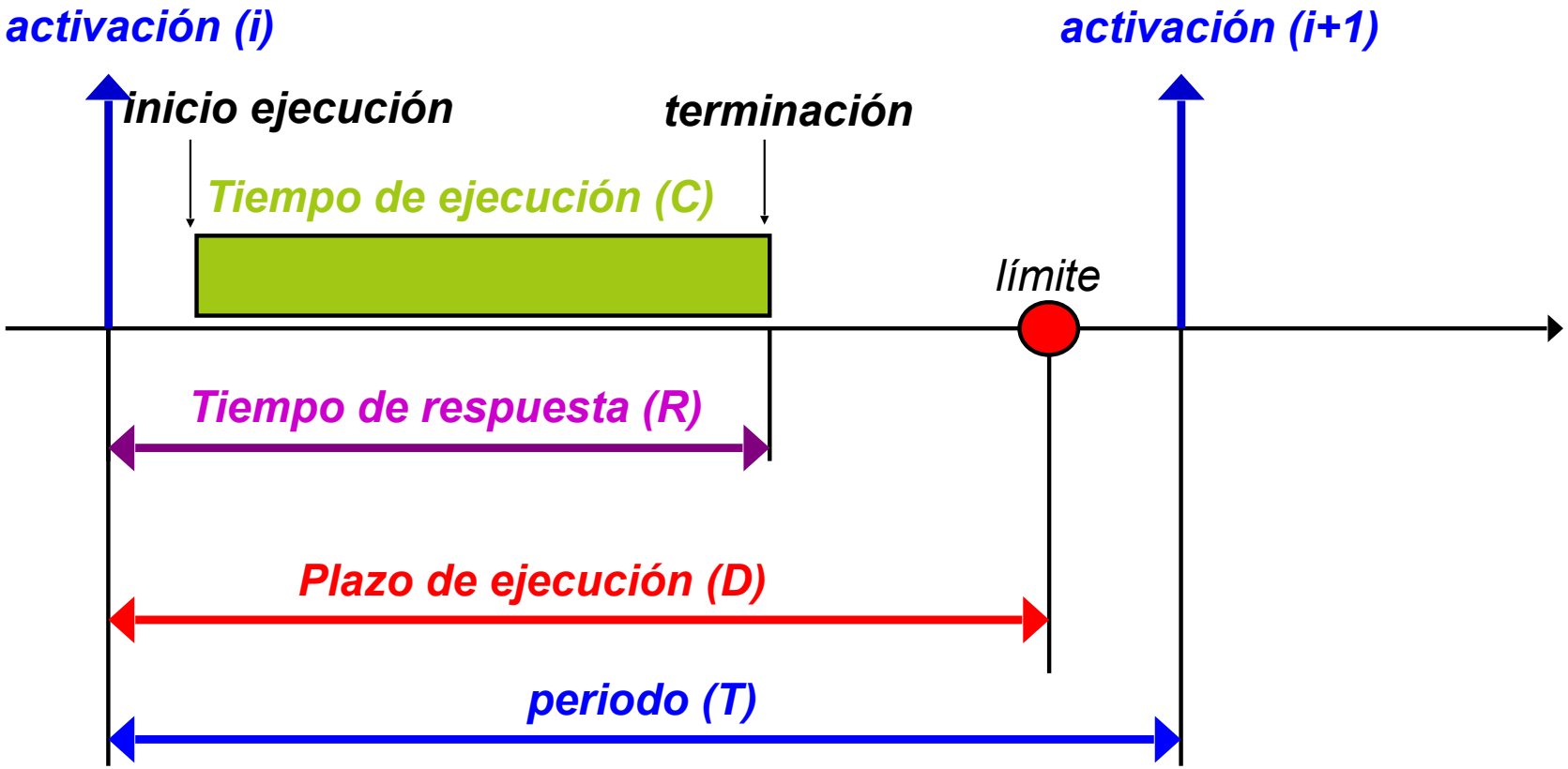
- Modelar el paralelismo en el mundo real
- Los STR son inherentemente concurrentes



Dependencia del tiempo

- Garantizar que todas las tareas terminan antes de su plazo (*deadline*)
- El comportamiento general de un programa concurrente es no determinista
- Todas las secuenciaciones posibles de las tareas pueden no cumplir las restricciones temporales del sistema
- Un STR necesita restringir el no determinismo de un sistema concurrente => **PREDECIBLE** => ***SCHEDULING***
- El ***scheduling*** proporciona:
  - un **PLANIFICADOR**
  - un **TEST DE PLANIFICABILIDAD**

Tiempos en la ejecución de una tarea



Fiabilidad y Seguridad

- **Fiabilidad** = Probabilidad de proporcionar el servicio requerido
  - Corrección
    - Lógica
    - Temporal
- **Seguridad** = Probabilidad de recuperación frente a un fallo

Caso de estudio: fallo del misil Patriot

- Cálculo predictivo de la posición del misil Scud a interceptar
- Reloj interno = contador de décimas de segundos desde el encendido

- Cálculo erróneo de la trayectoria
  - Barrido del radar cada aproximadamente ½ segundo
  - Convertir los valores del reloj a segundos => Multiplicar por 0.1
  - El número real 0.1 es periódico en binanio
  - En un procesador de 24 bits se almacena con un error de 0,000000095
  - Después de 100 horas de funcionamiento, se acumula un error de 0.34 segundos
  - Un misil Scud viaja a más de 1600 m/s
  - En 0.34 segundos, el misil Scud viaja aproximadamente 600 metros
  - Por tanto, después de 100h, el misil Patriot no fue capaz de interceptar al misil enemigo

Caso de estudio: accidente del Ariane 5

- A los 36,7 segundos el software de guiado inercial produce overflow al convertir un número representado en 64 bits (float) a 16 bits (int)
- Caída del sistema de backup, a los 0.05 segundos caída del sistema principal
- El sistema de control principal recibe datos de diagnóstico que interpreta como datos de vuelo (ha cambiado la posición del cohete)
- Fuerte reacción para corregir la trayectoria. Desintegración por la fuerza aerodinámica. Autodestrucción
- Causas: El sistema de guiado inercial es el mismo que el del Ariane 4 y la velocidad horizontal de Ariane 5 es cinco veces superior a la de su antecesor, lo que provoca este overflow.
- Las especificaciones y pruebas realizadas no lo tuvieron en cuenta.

Otras características de un STR

- Interacción con dispositivos físicos
- Gran tamaño y complejidad
- Cálculos con números reales
- Datos volátiles I/O
- Pruebas (*Testing*)

Índice

Tipos de STR

- Según su **Criticidad**
  - Tiempo real estricto/**críticos** (*hard real time*)
  - Tiempo real flexible/**acríticos** (soft real time)
  - Tiempo real **firme** (firm real time)

- Según el instante de **activación** de las tareas
  - Sistemas **dirigidos por tiempo** (*time-triggered systems*)
  - Sistemas **dirigidos por eventos** (*event-triggered systems*)

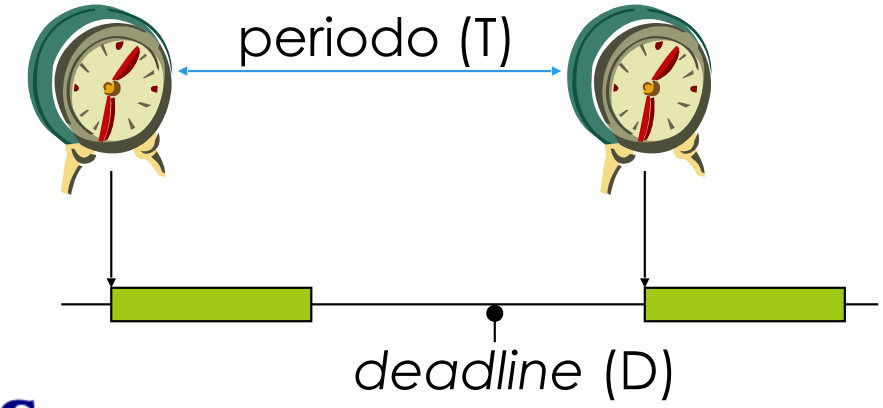
Según su criticidad

- Tiempo real estricto/**críticos** (*hard real time*)
  - Todas las acciones deben ocurrir dentro del plazo especificado
  - Una sola respuesta tardía puede tener consecuencias fatales
- Tiempo real flexible/**acríticos** (soft real time)
  - Se pueden peder plazos ocasionalmente
  - El valor o utilidad de la respuesta decrece con el tiempo
- Tiempo real **firme** (firm real time)
  - Se pueden perder plazos ocasionalmente
  - Una respuesta tardía no tiene valor

Según el instante de activación de las tareas

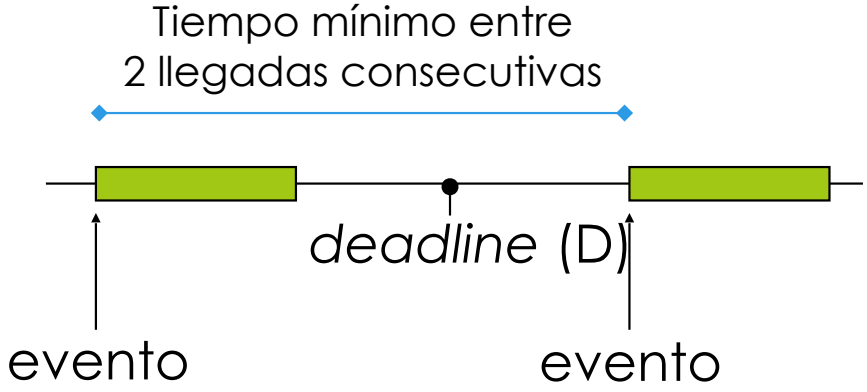
Sistemas **dirigidos por tiempo**
(*time-triggered* systems)

- Inicio en instantes predeterminados
- Mecanismo básico: reloj



Sistemas **dirigidos por eventos**
(*event-triggered* systems)

- Inicio cuando se produce un suceso de cambio de estado
- Mecanismo básico: interrupciones

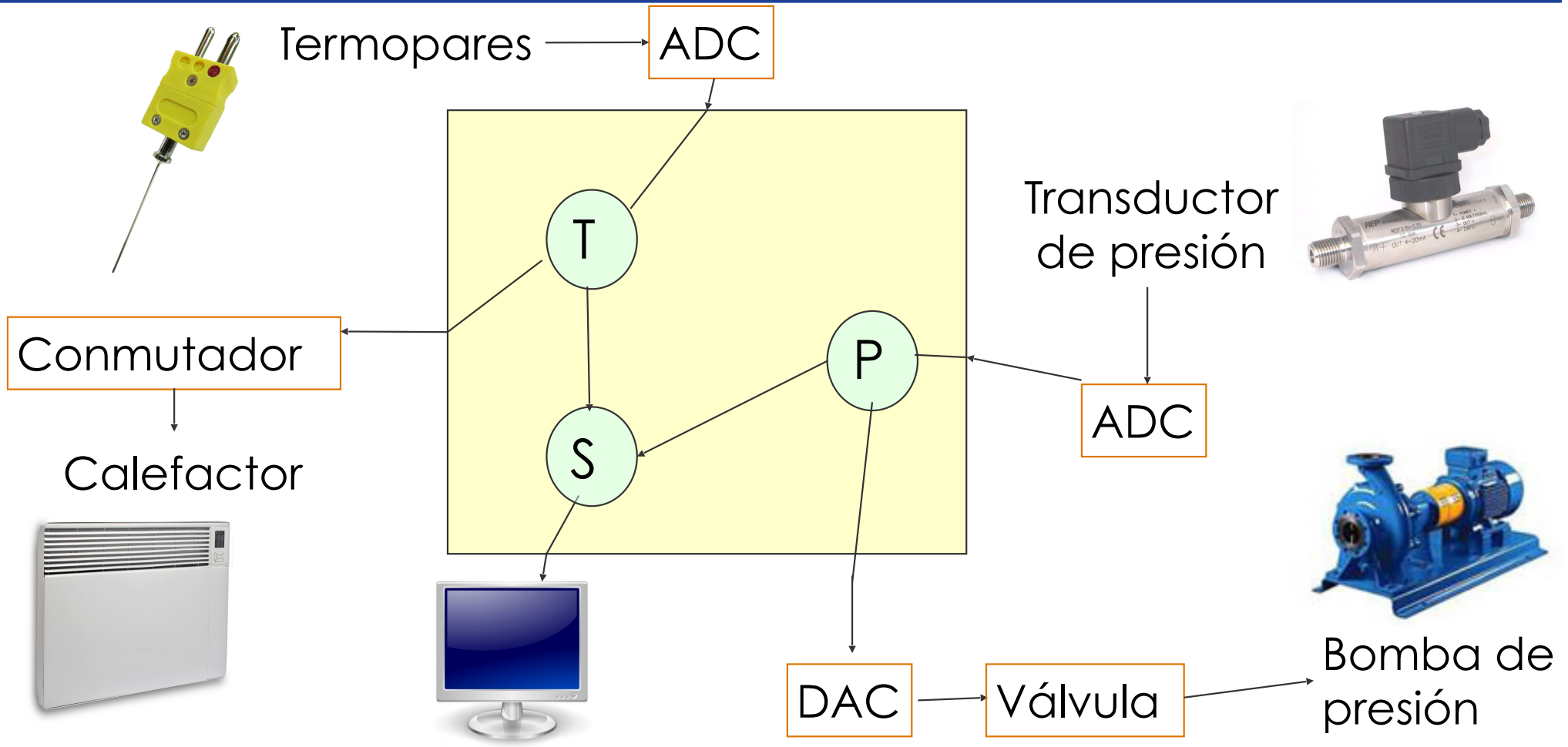


Esquemas de activación

- **Periódica**
  - Se ejecuta regularmente, con un periodo bien definido (ciclo)
- **Aperiódica**
  - Se ejecuta de forma irregular, en respuesta a un suceso del entorno o del propio sistema
- **Esporádica**
  - Se exige una separación mínima entre dos sucesos consecutivos

Índice

Un ejemplo de STR sencillo



El objetivo del sistema es mantener la temperatura y presión de un determinado proceso químico dentro de unos límites definidos

Arquitecturas software posibles

- **Ejecutivo cíclico**
  - Un único **programa secuencial** con un bucle de control, ignorando la evidente concurrencia de T, P y S.
- **Sistema Operativo de Tiempo Real**
  - T, P y S se escriben en un lenguaje de programación secuencial (como **programas separados** o como **procedimientos** distintos de un mismo programa)
- **Lenguaje de programación de Tiempo Real**
  - Un **único programa concurrente** que mantiene la estructura lógica de T, P y S.

¿Cuál es la mejor alternativa?

Ejecutivo Cíclico: solución secuencial

```
procedure Controller is
   TR : Temp_Reading;        -- 10..500
   PR : Pressure_Reading;    -- 0..750
   HS : Heater_Setting;      -- (on, off)
   PS : Pressure_Setting;    -- (0..9)
begin
   loop
      Read(TR);      -- del ADC de los termopares
      Temp_Convert(TR,HS); -- convertir lectura en actualización
      Write(HS);     -- al conmutador
      Write(TR);     -- a la pantalla
      -- Ahora hacemos lo mismo pero para la presión
      Read(PR);      -- del ADC del trasductor de presión
      Pressure_Convert(PR,PS); -- convertir lectura en actualización
      Write(PS);     -- a la válvula
      Write(PR);     -- a la pantalla
   end loop; -- bucle infinito, común en software empotrado
end Controller;
```

Desventajas de la solución secuencial

- Las lecturas de temperatura y presión se toman con la misma frecuencia
- El uso de contadores y sentencias *if* pueden mejorar la situación
- Pero todavía sería necesario entremezclar acciones de secciones computacionalmente intensivas (`Temp_Convert` y `Pressure_Convert`), para que se cumpla el balance de trabajo requerido
- Mientras se espera a leer la temperatura no se presta atención a la presión (y viceversa)
- Si no se devuelve el control desde la lectura de la temperatura, entonces no se realizaría ninguna lectura adicional de la presión

Una mejora de la solución secuencial

```
procedure Controller is
   TR : Temp_Reading;
   PR : Pressure_Reading;
   HS : Heater_Setting;
   PS : Pressure_Setting;
   Ready_Temp, Ready_Pres : Boolean;
begin
   loop
     if Ready_Temp then
       Read(TR);
       Temp_Convert(TR,HS);
       Write(HS);
       Write(TR);
     end if;
     if Ready_Pres then
       Read(PR);
       Pressure_Convert(PR,PS);
       Write(PS);
       Write(PR);
     end if;
   end loop;
end Controller;
```

¿Cuál es ahora el problema?

Problema: espera ocupada

- El programa consume una gran proporción de su tiempo en un **bucle ocupado**, comprobando si los dispositivos de entrada están disponibles
- Las esperas ocupadas son **ineficientes**

La principal crítica al programa secuencial es que no se reconoce el hecho de que los ciclos de temperatura y presión son subsistemas completamente independientes

Desventajas del Ejecutivo Cíclico

- Generalmente son difíciles de diseñar y complican la labor del programador
- Programas poco claros y poco elegantes
- Dificultad para probar la corrección del programa
- Dificultad para lograr la ejecución en paralelo del programa en un sistema multiprocesador
- Dificultad de ubicar el código que trata los fallos
- Mal encaje de tareas aperiódicas
- Limitaciones en los periodos

Sistema operativo de tiempo real: usando primitivas del S.O.

```
package OSI is
   type Thread_ID is private;
   type Thread is access procedure;

   function Create_Thread(Code : Thread) return Thread_ID;
   -- otros subprogramas
   procedure Start(ID : Thread_ID);
private
    type Thread_ID is ...;
end OSI;
```

Usando primitivas del S.O.

```
package body Processes is
   procedure Temp_C is
     TR : Temp_Reading;
     HS : Heater_Setting;
   begin
      loop
         Read(TR);
         Temp_Convert(TR,HS);
         Write(HS);
         Write(TR);
      end loop;
   end Temp_C;
   procedure Pressure_C is
      PR : Pressure_Reading;
      PS : Pressure_Setting;
   begin
      loop
         Read(PR);
         Pressure_Convert(PR,PS);
         Write(PS);
         Write(PR);
      end loop;
   end Pressure_C;
end Processes;
```

Usando primitivas del S.O.

```
procedure Controller is
   TC, PC : Thread_ID;
begin
    TC := Create_Thread(Temp_C'Access);
    PC := Create_Thread(Pressure_C'Access);
    Start(TC);
    Start(PC);
end Controller;
```

- **Mejora la solución secuencial**
- **Pero en sistemas complejos la interfaz procedural oscurece la estructura del programa : no está claro qué procedimientos son realmente procedimientos y cuáles se pretende que sean actividades concurrentes**

Usando un lenguaje de programación de tiempo real

```
procedure Controller is
```

```
task Temp_Controller;
task body Temp_Controller is
    TR : Temp_Reading;
    HS : Heater_Setting;
  begin
    loop
      Read(TR);
      Temp_Convert(TR,HS);
      Write(HS);
      Write(TR);
    end loop;
  end Temp_Controller;
```

```
task Pressure_Controller;
task body Pressure_Controller is
    PR : Pressure_Reading;
    PS : Pressure_Setting;
  begin
    loop
      Read(PR);
      Pressure_Convert(PR,PS);
      Write(PS);
      Write(PR);
    end loop;
  end Pressure_Controller;
```

```
begin
  null;    -- ha comenzado la ejecución de ambas tareas
end Controller;
```

Solución con un lenguaje de tiempo real

- **Ventajas**:
  - Cada tarea define su propio ciclo de control
  - Mientras una tarea está suspendida, la otra puede estar ejecutándose
  - La ejecución concurrente de las tareas expresa el paralelismo inherente del dominio de aplicación
- **Inconvenientes**:
  - Control de recursos:
    - Las tareas acceden a recursos que requieren exclusión mutua
    - Comunicación y sincronización entre tareas

Índice

Tipos de Lenguajes para un STR

- **Ensamblador**
  - Flexible y eficiente, pero costoso y poco fiable
- **Secuencial** (Fortran, C, C++)
  - Necesitan un S.O. para concurrencia y tiempo real
- **Concurrente** (**Ada**, Modula-2, Java)
  - Concurrencia y tiempo real incluidos en el lenguaje

Criterios de diseño

Características	Lenguaje de TR	Lenguaje Ada
Concurrencia	Procesos simultáneos	Tareas, objetos protegidos, citas extendidas
Dependencia del tiempo	Especificación y análisis	Librería de paquetes: Calendar y Real_Time
Fiabilidad y seguridad	Legibilidad y mecanismos de recuperación de errores	Fuertemente tipado, manejadores de excepciones
Interacción con el hardware	Control de interrupciones y drivers	Manejador de interrupciones
Tamaño y complejidad	Modularidad y portabilidad	Paquetes y unidades genéricas

Conclusiones

- Los STR trabajan en un **entorno concurrente** y con **restricciones temporales**
- Amplio **dominio de aplicación**
- Sus particulares **características** los hacen diferentes de otros tipos de sistemas informáticos
- Requieren de una **tecnología software** apropiada
- La noción de **proceso** proporciona mayor expresividad y facilidad de uso del lenguaje
- Sin concurrencia, el software tiene que ser construido con un único **bucle de control**

Bibliografía Recomendada

Sistemas de tiempo real y lenguajes de programación (**3ª edición**)
Alan Burns and Andy Wellings
Addison Wesley (2002)

- Capítulo 1 (Completo)
- Capítulo 2 (Apartado 2.5)
- Capítulo 7 (Completo, excepto lo referente a otros lenguajes)

Bibliografía Complementaria

Real-time systems
Jane W. S. Liu
Prentice Hall (2000)

- Capítulo 1 (Completo)
  - Ejemplos de aplicaciones de tiempo real