



**FACULTAD  
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

**Maestría en  
Sistemas Embebidos**

**Sistemas Digitales  
para las  
Comunicaciones**

# **Arquitectura del sistema de comunicación**

## **Presentación y simulación de los bloques del sistema**

**Clase 3**

Parte 0

Parte 1

**Parte 2**

Parte 3

Parte 4

Parte 5

Parte 6

## **Parte 2: Transceiver - Sistema, diagramas y simulación.**

- Presentación del transceiver:
  - Arquitectura del sistema de comunicación.
  - Características.
- Modulador:
  - Diagrama en bloques.
  - TP: Armado y simulación.
- + Canal:
  - Modelo y diagrama en bloques.
  - TP: Armado y simulación.
- + Demodulador:
  - Diagrama en bloques.
  - TP: Armado y simulación.

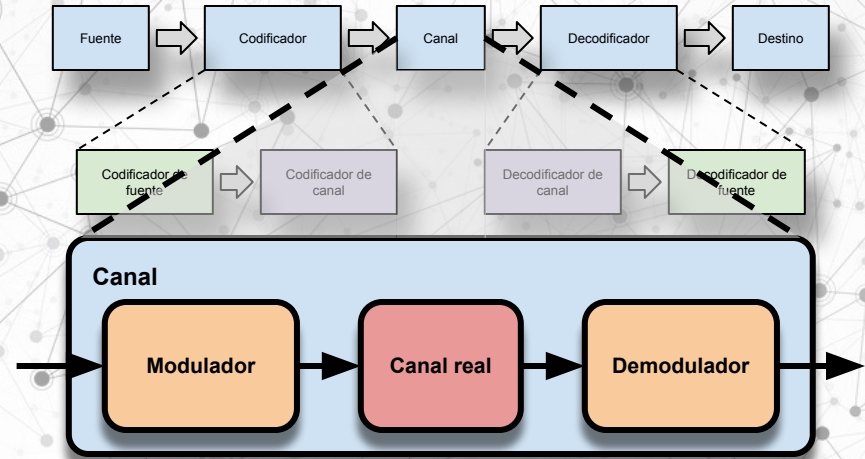
# Arquitectura de sistema de comunicación:

- **Comparación:**

- PAM (BB), ASK, PSK y APSK

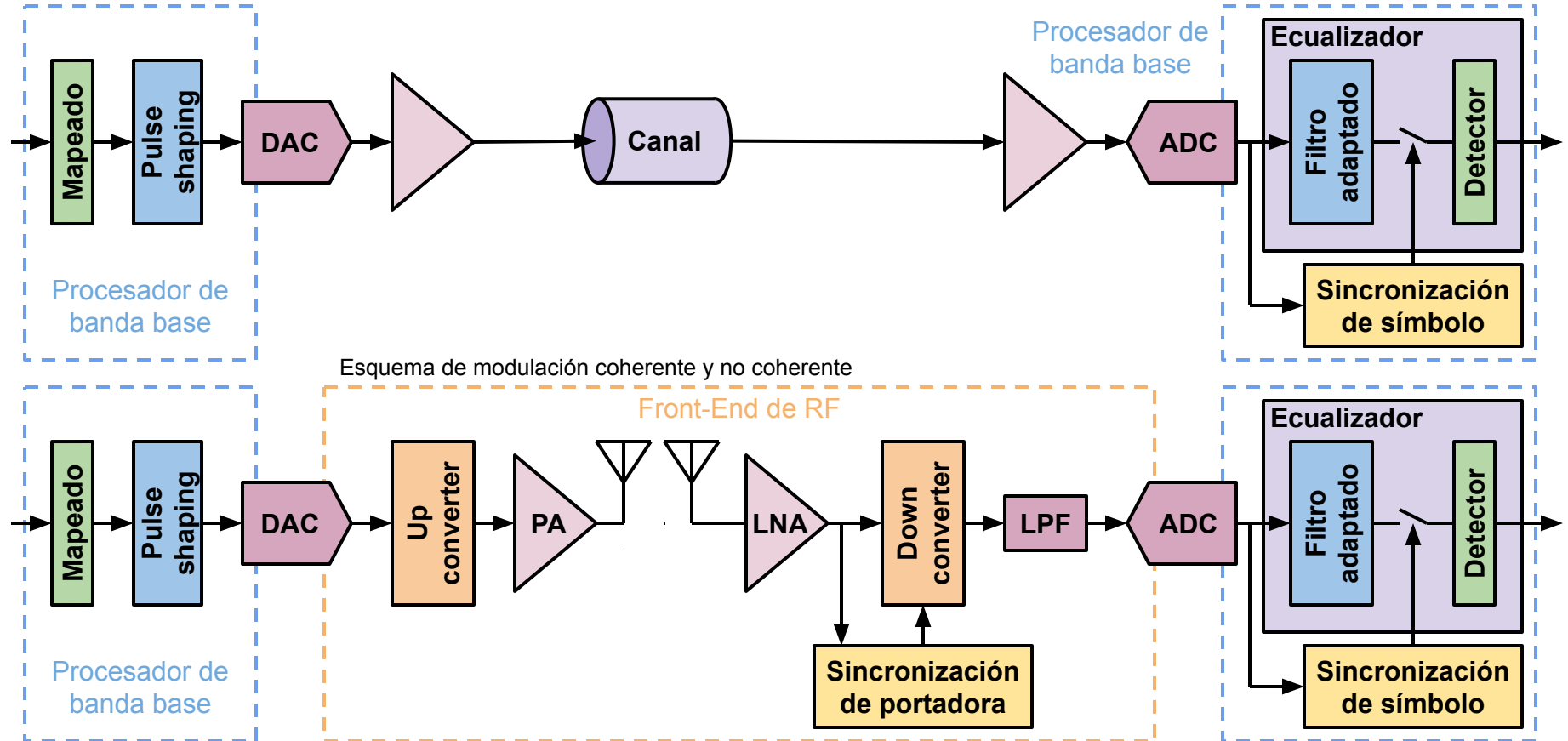
- **Sistema de comunicación**

- Diagrama en bloques completo
- Diagrama en bloques del sistema simplificado para TPI



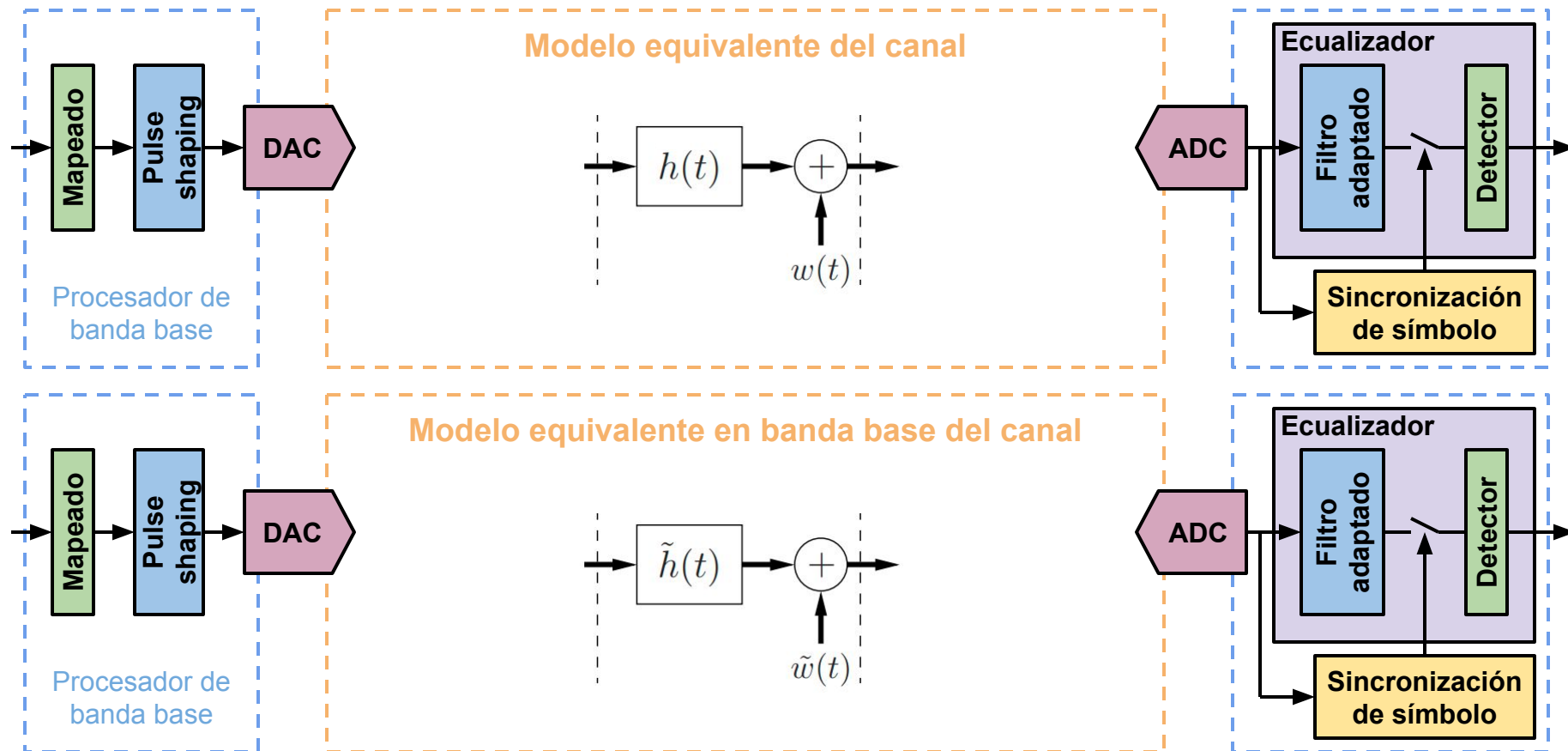
# Arquitectura de sistema de comunicación

## Configuraciones típicas de modulador y demodulador



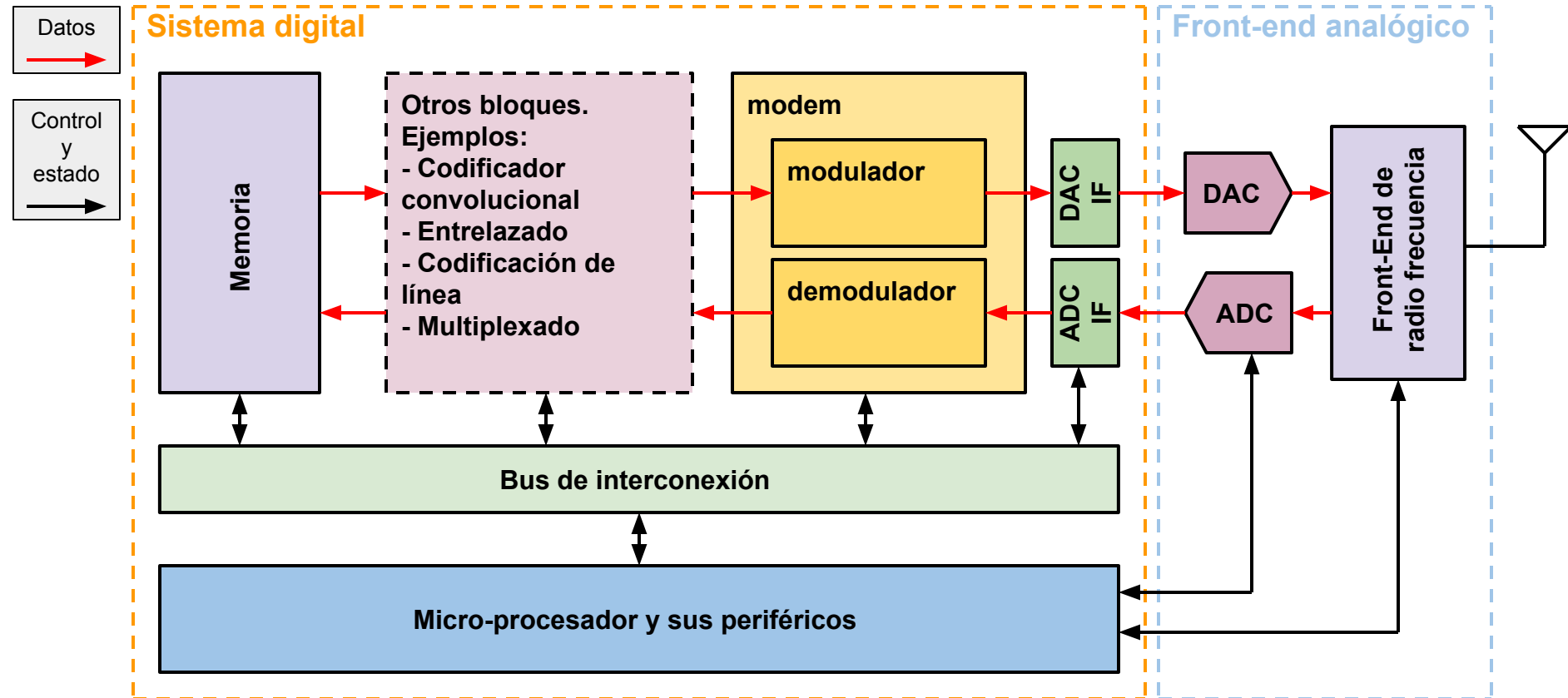
# Arquitectura de sistema de comunicación

## Configuraciones típicas de modulador y demodulador



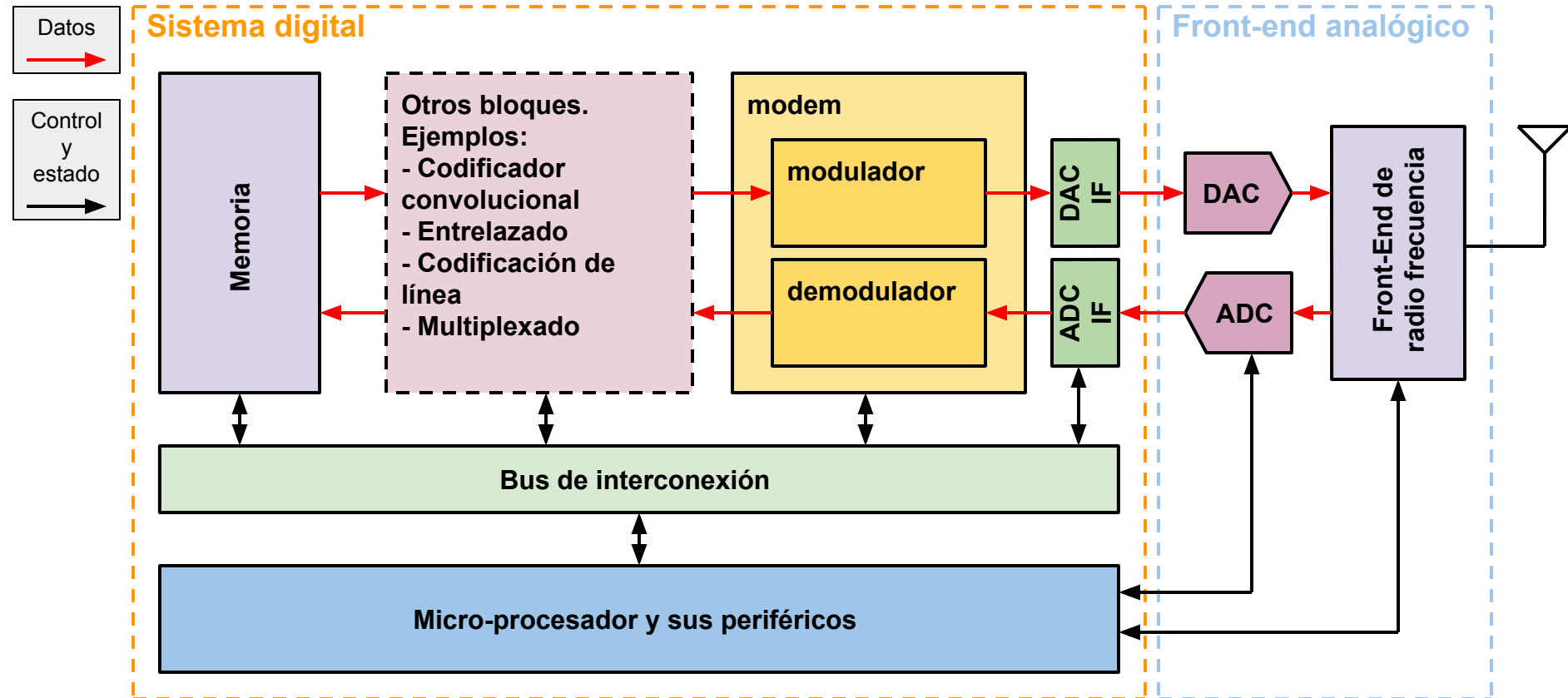
# Arquitectura de sistema de comunicación

## Arquitectura de alto nivel



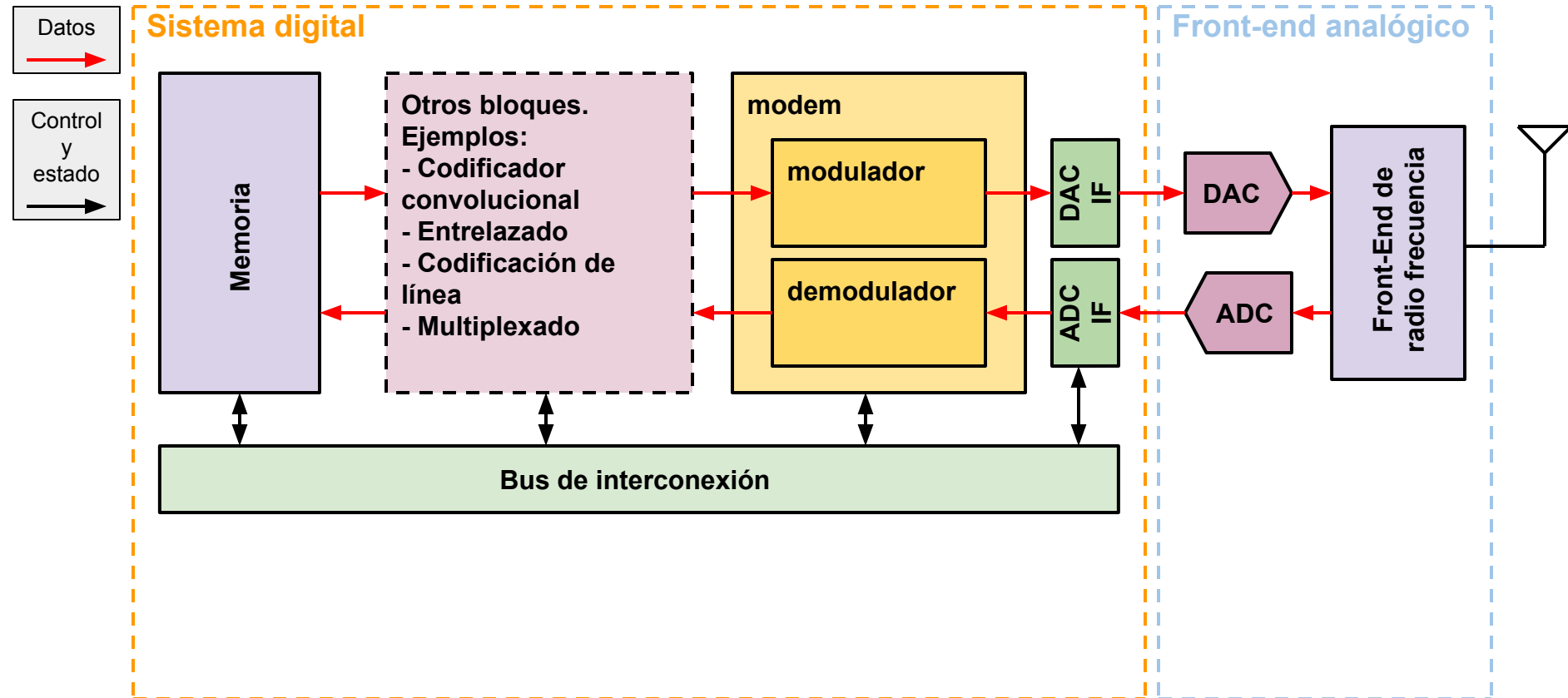
# Arquitectura de sistema de comunicación

## Arquitectura de alto nivel sistema simplificado (TPI)



# Arquitectura de sistema de comunicación

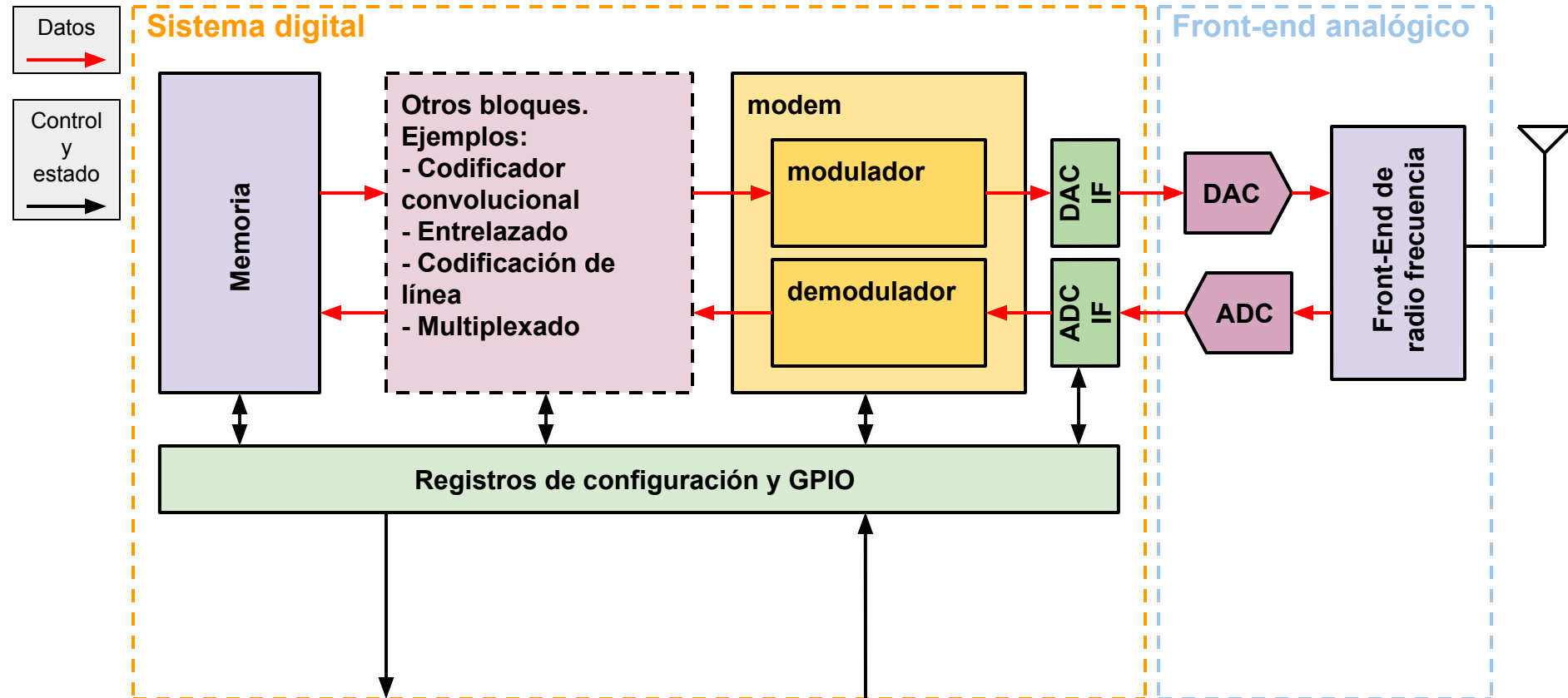
## Arquitectura de alto nivel sistema simplificado (TPI)





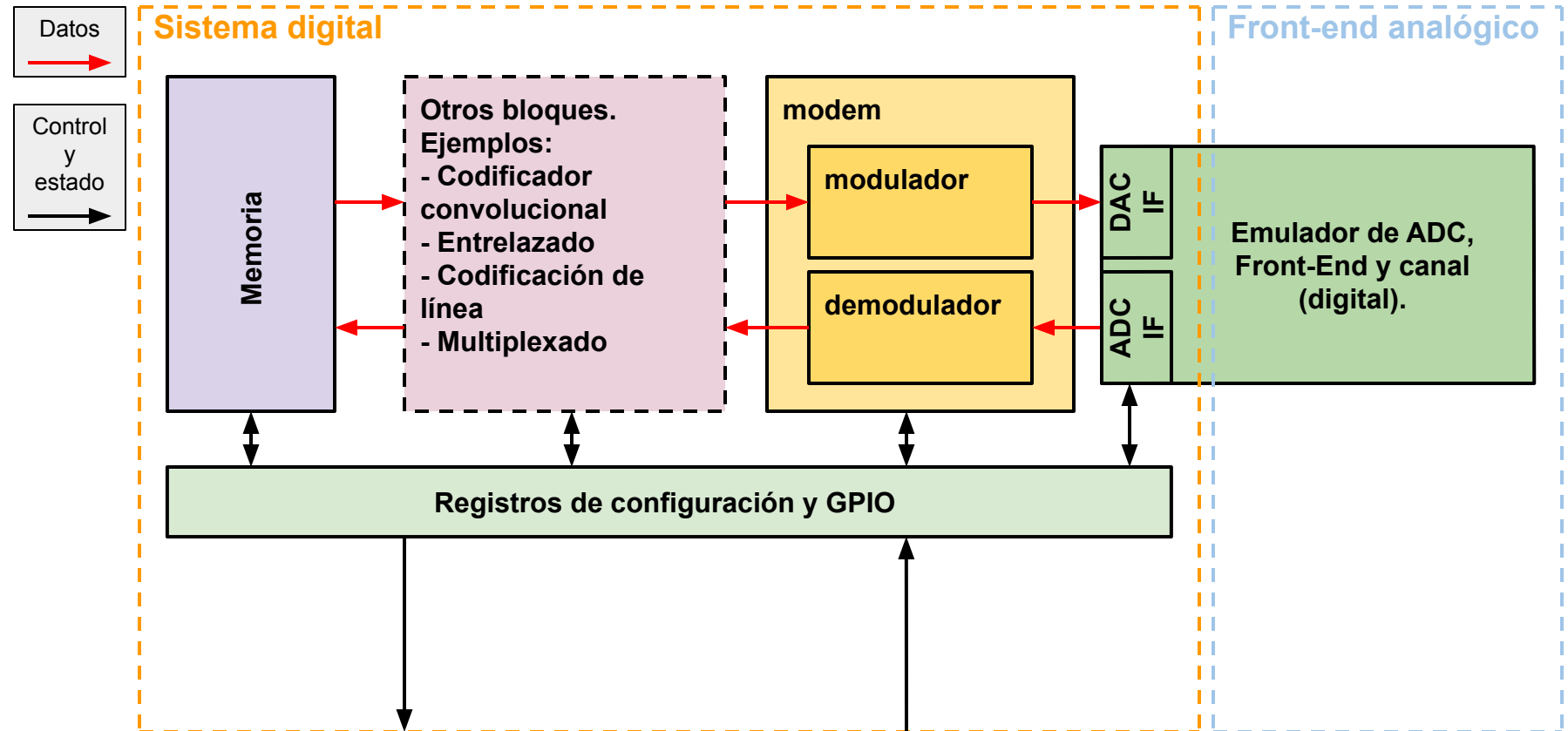
# Arquitectura de sistema de comunicación

## Arquitectura de alto nivel sistema simplificado (TPI)



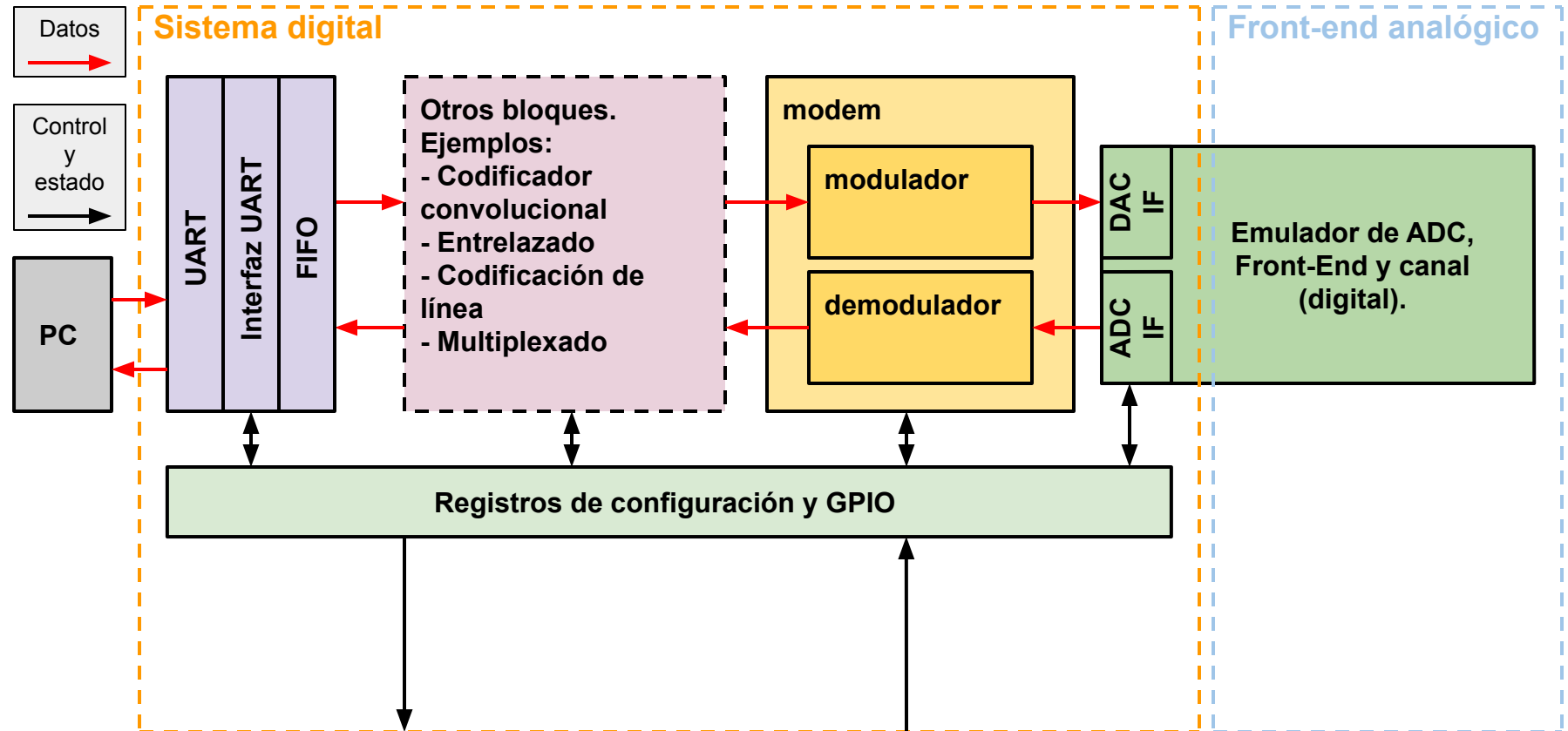
# Arquitectura de sistema de comunicación

## Arquitectura de alto nivel sistema simplificado (TPI)



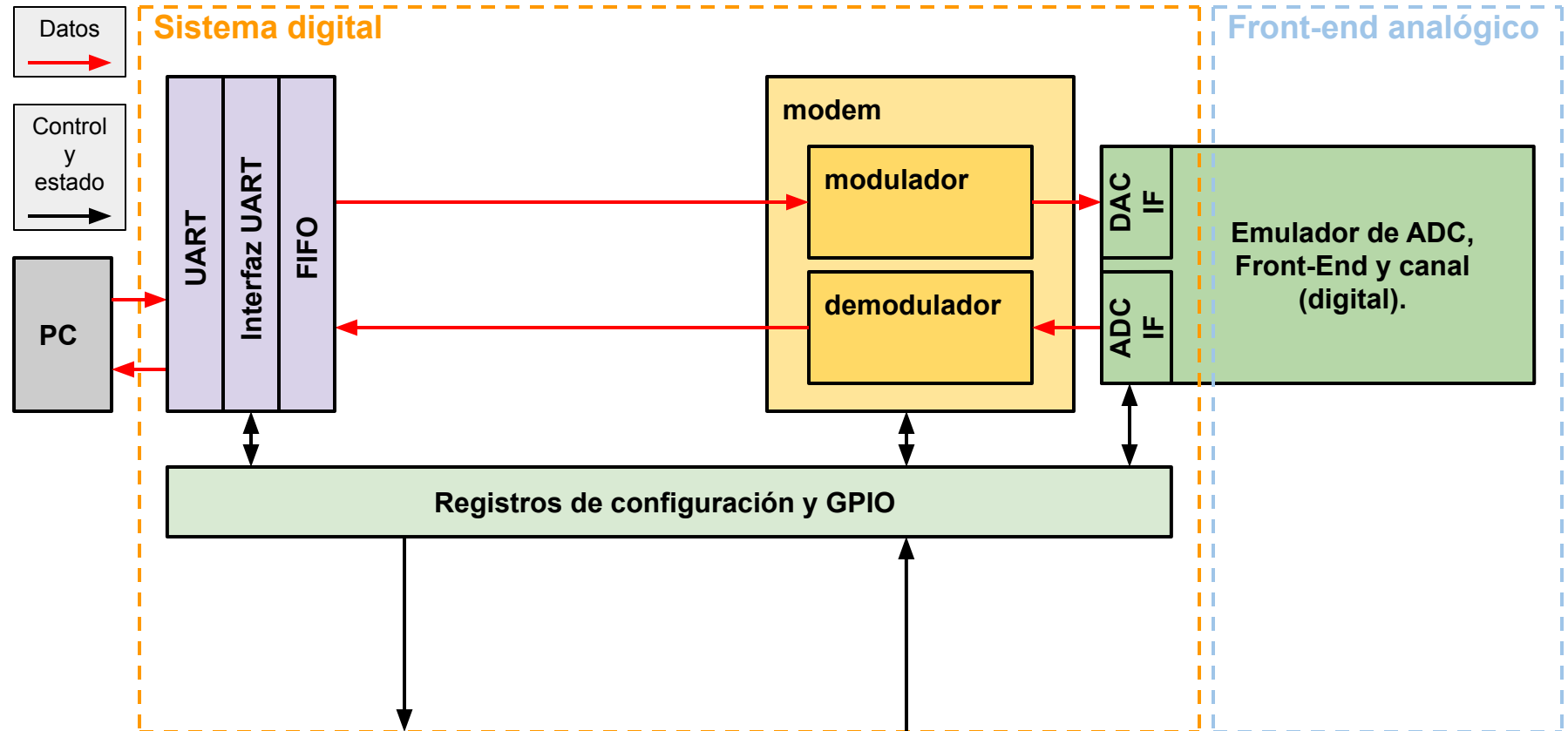
# Arquitectura de sistema de comunicación

## Arquitectura de alto nivel sistema simplificado (TPI)



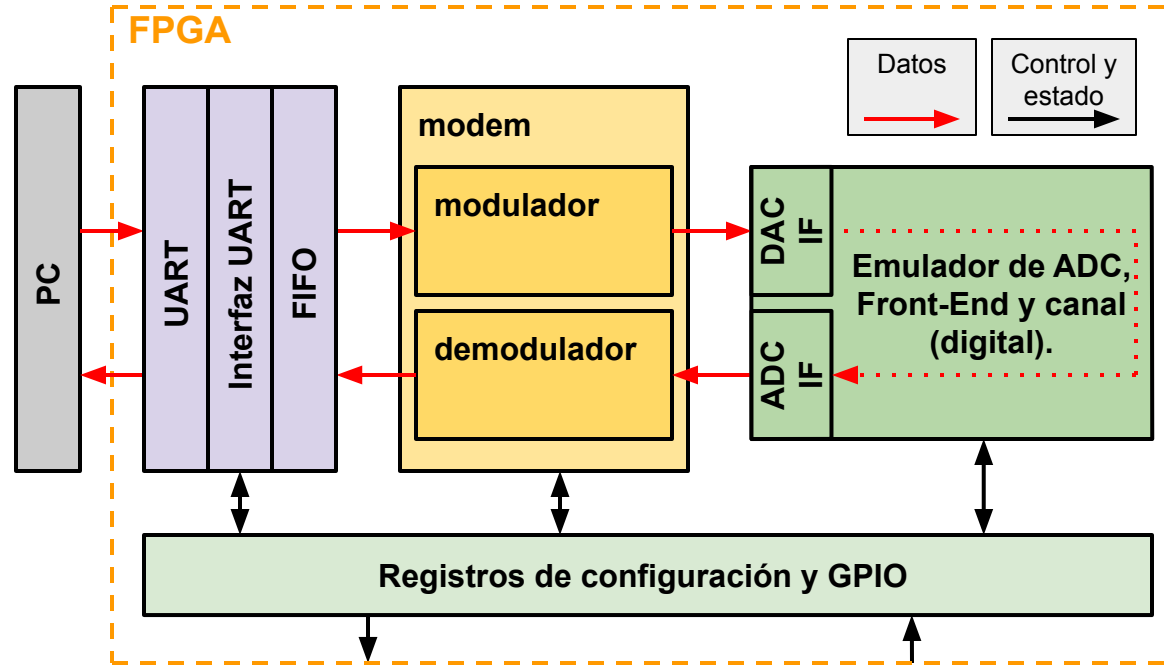
# Arquitectura de sistema de comunicación

## Arquitectura de alto nivel sistema simplificado (TPI)



# Arquitectura de sistema de comunicación

## Arquitectura de alto nivel sistema simplificado (TPI)



# Características del TPI:

- **Modem:**

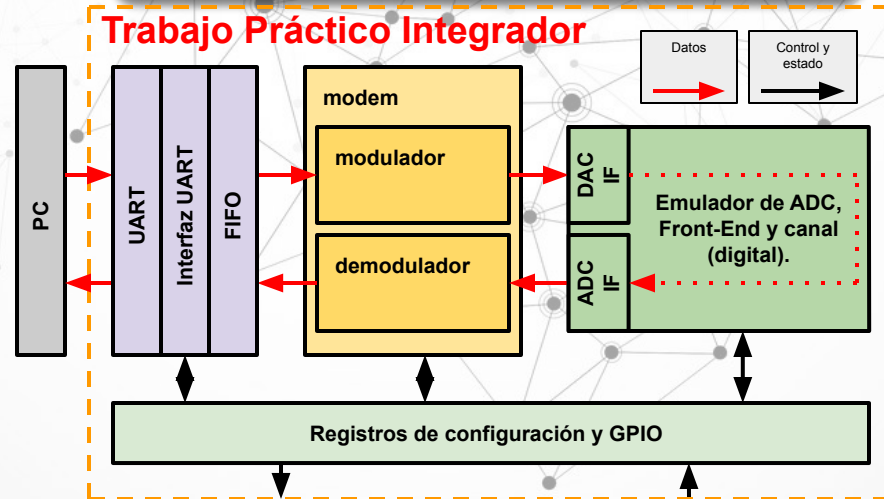
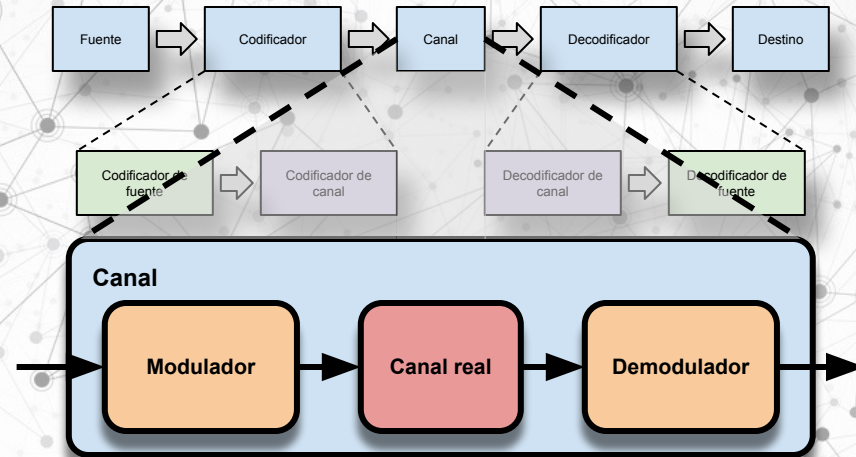
- PAM (banda base)
- Pulso
- Tasa de símbolos y bits
- Tipo de transmisión

- **GPIOs**

- **UART y PC**

- **Emulador de Canal**

- **Ejemplo de sistema real**



## Especificaciones de Modem

- Modulación: 2-PAM (banda base)
- Codificación de línea: No.
- Frecuencia de símbolo: 1 MHz
- Frecuencia de sampleo: 16 MHz
- Pulso:
  - Tipo: Root-raised-cosine.
  - Energía constate = 1.
- Tipo de transmisión: Asincrónica
  - Formato del preámbulo: Preámbulo de sincronización + SFD. Ambos de largo configurable.
  - Formato del payload: Largo configurable en múltiplos de 8 bits (1 byte)

## Especificaciones del sistema

- GPIO:
  - Botón de reset
  - Led TX ready
  - Led RX overflow
- Conectividad:
  - UART: 115200 baudios para transmitir y recibir datos (Bytes).
- Interfaz con los módulos análogos:
  - Interfaz de stream (data, valid, ready for data) con módulo IF DAC
  - Interfaz de stream (data, valid, ready for data) con módulo IF ADC



# Características de Trabajo Práctico Integrador (TPI)

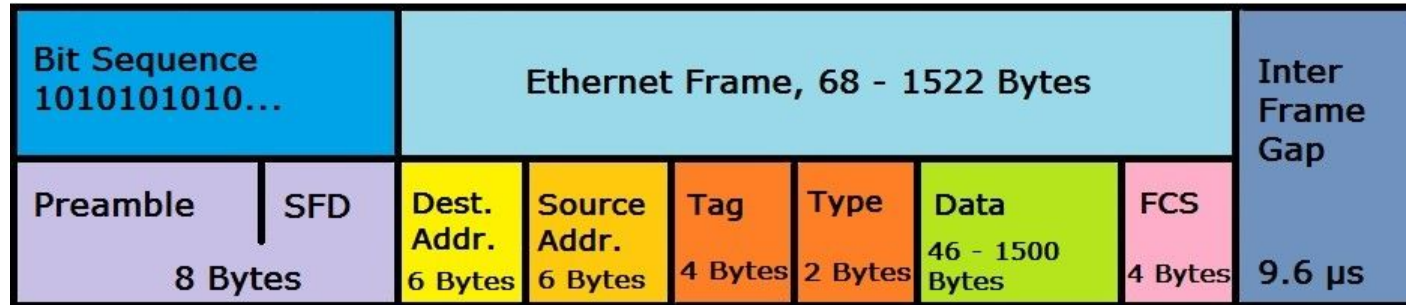
## Especificaciones de la emulación del ADC, DAC, Front-End analógico y canal

- IF DAC:
  - Interfaz de stream con 10 bits de datos formato Q10.8
  - Indicación de underflow
- IF ADC:
  - Interfaz de stream con 10 bits de datos formato Q10.8
  - Indicación de overflow
- Canal:
  - Interfaces de DAC y ADC con clock común.
  - Respuesta en frecuencia: Implementada mediante FIR de largo configurable.
  - Ruido blanco aproximadamente Gaussiano con varianza configurable.

# Características de Trabajo Práctico Integrador (TPI)

## Ejemplo de sistema de comunicación en banda base asincrónico (Ethernet)

### Paquete Ethernet:

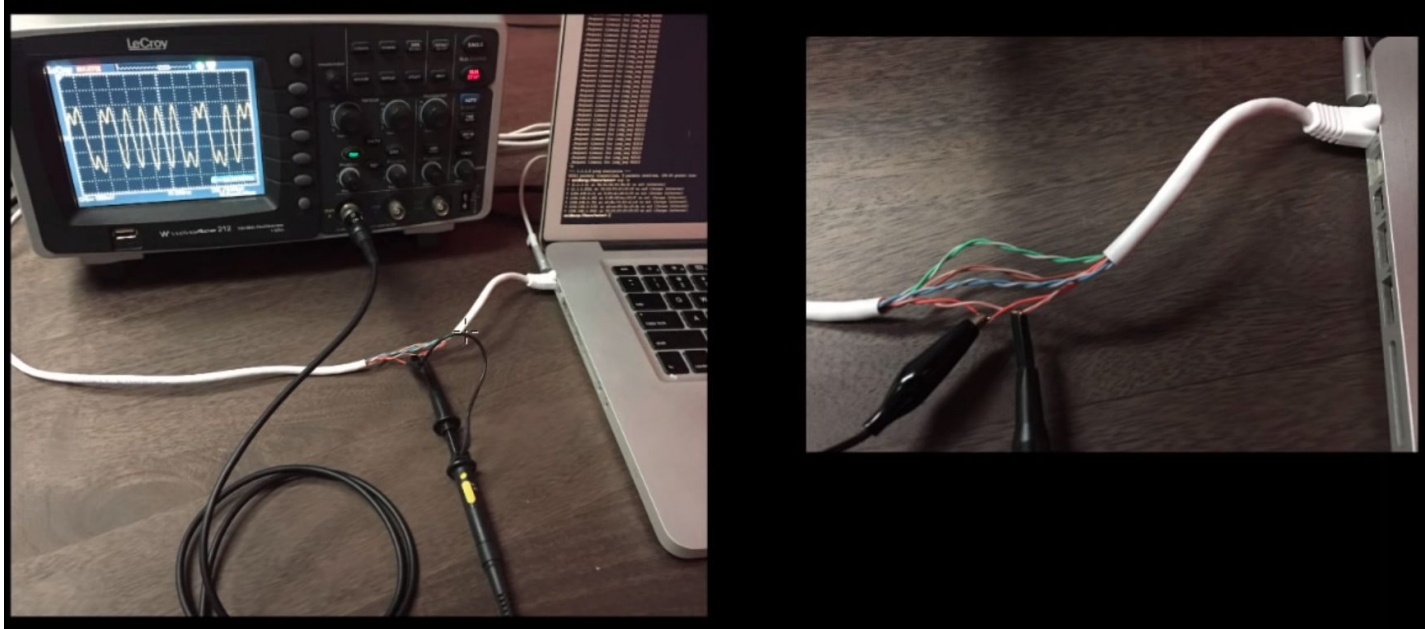


Fuente:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.ionos.com%2Fdigitalguide%2Fserver%2Fknow-how%2Fethernet-frame%2F&psig=AOvVaw10kw4cqPPQrZO450EupM9i&ust=1601588692969000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQiRxgFwoTCNiUj3skewCFQAAAAAAdAAAAABAO>

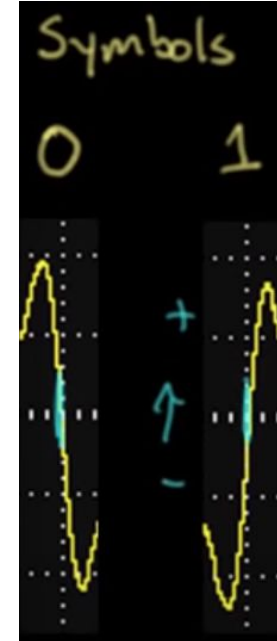
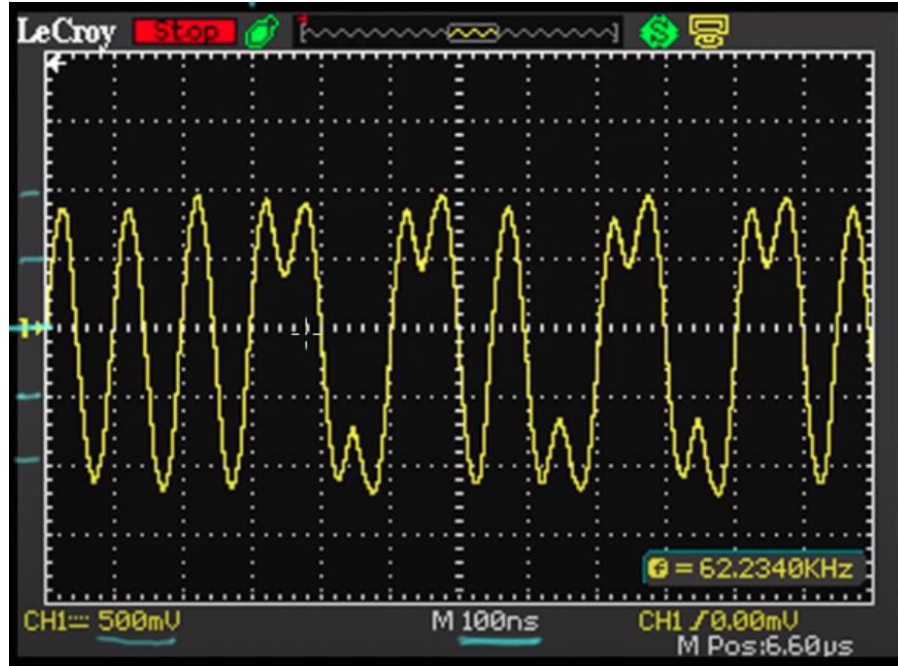
# Características de Trabajo Práctico Integrador (TPI)

## Ejemplo de sistema de comunicación en banda base asincrónico (Ethernet)



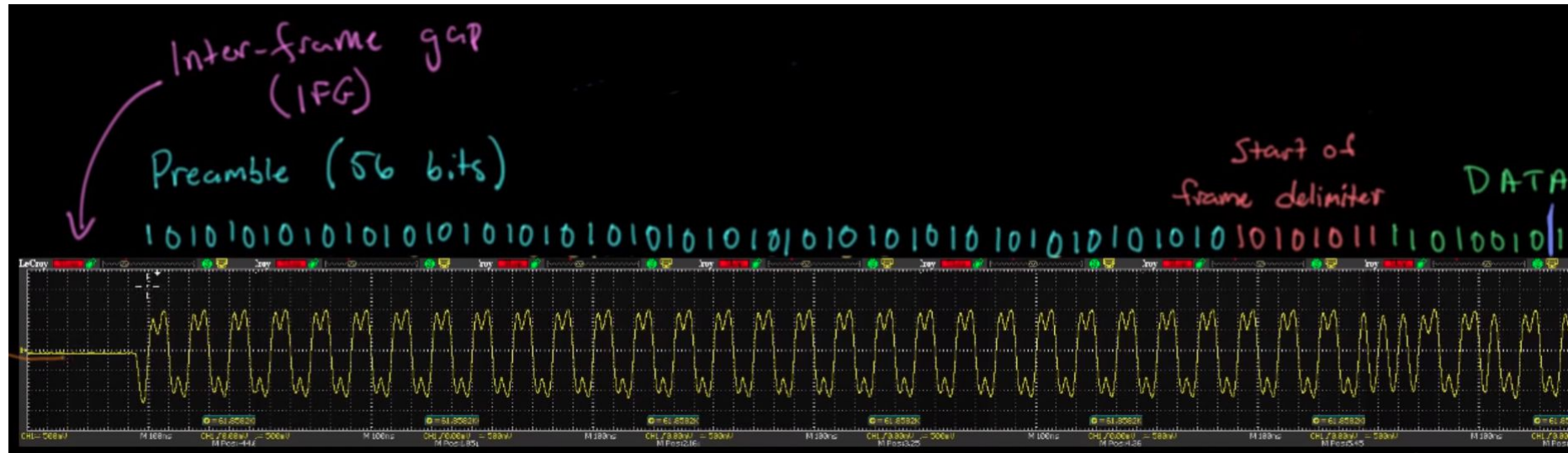
# Características de Trabajo Práctico Integrador (TPI)

Ejemplo de sistema de comunicación en banda base asincrónico (Ethernet)



# Características de Trabajo Práctico Integrador (TPI)

## Ejemplo de sistema de comunicación en banda base asincrónico (Ethernet)



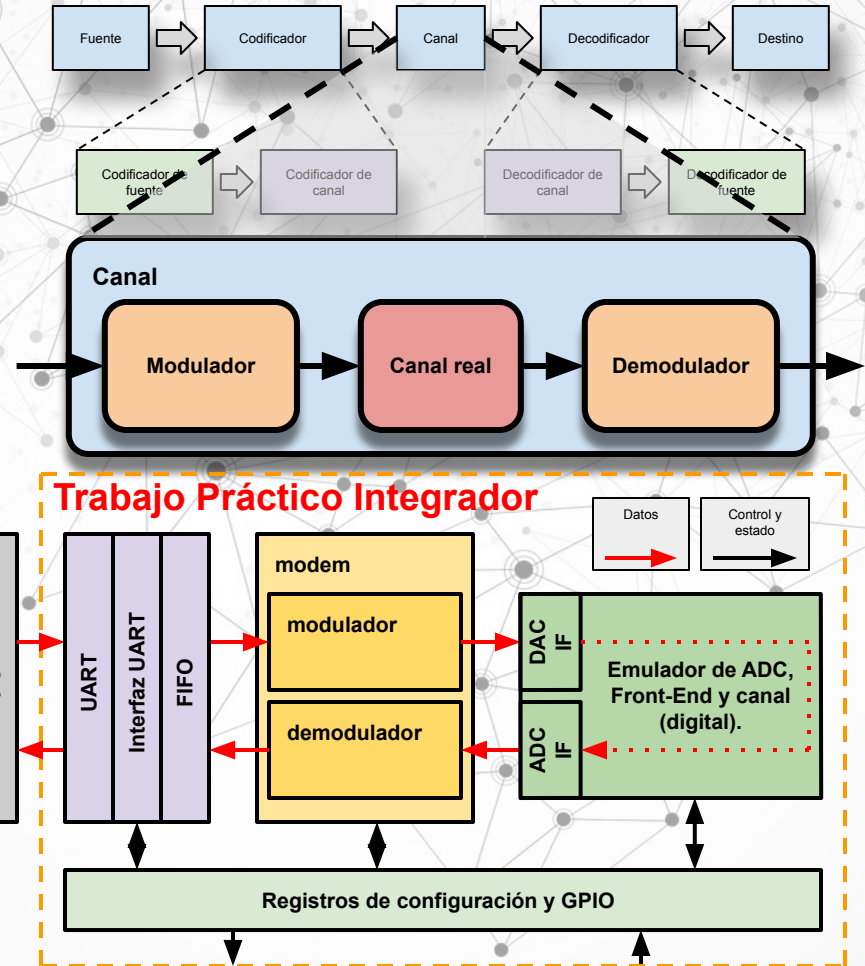
# Repaso y simulación:

- Repaso

- Componentes del sistema en banda base

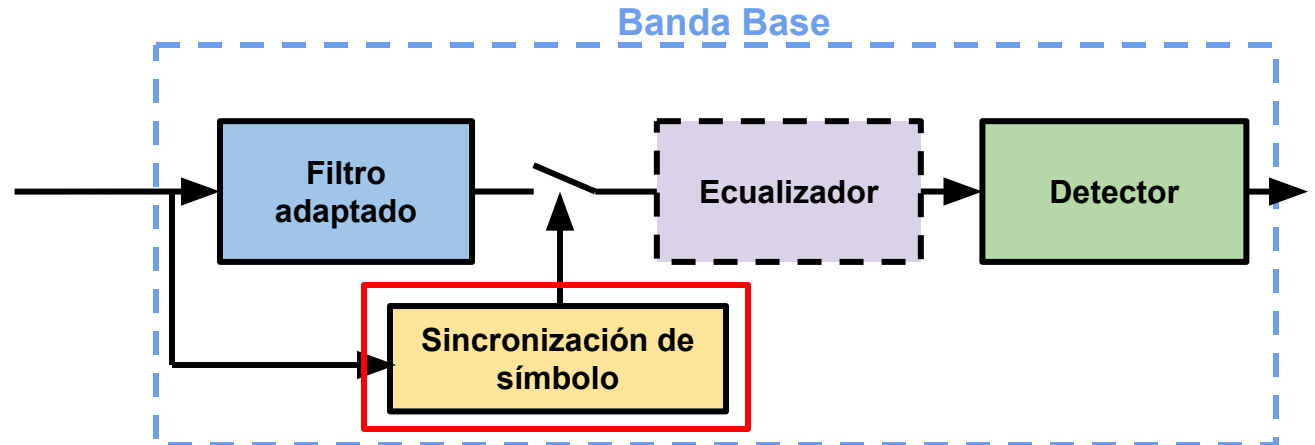
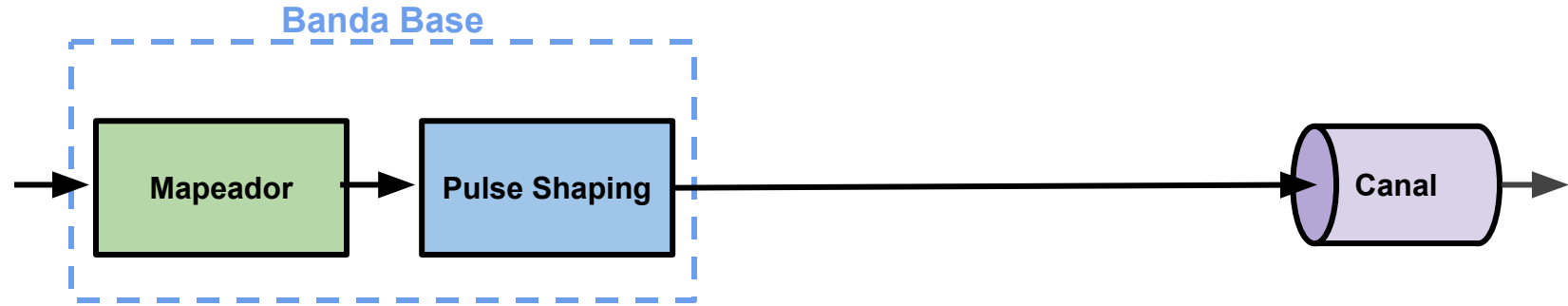
- Simulación

- Modelo
- Arquitectura de bajo nivel



# Repaso

## Sincronización de símbolo



## Sincronización de símbolo

El objetivo del filtro es detectar **el comienzo y el fin del pulso** recibido, para poder **muestrear** la señal **momento exacto** donde  $t=kT$ .

También se conoce como:

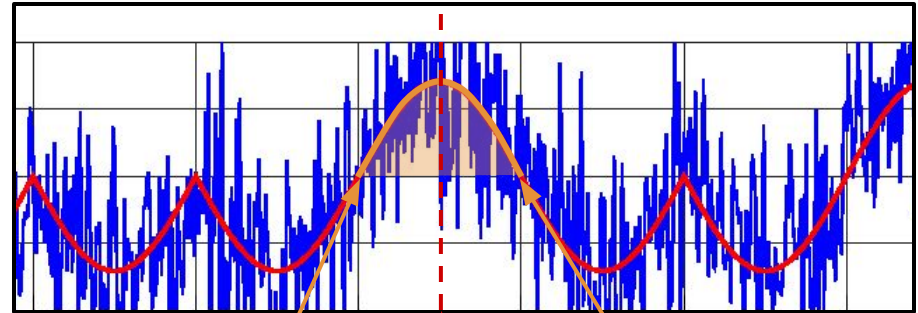
*Clock recovery*

*Symbol timing recovery*

Existen diversas técnicas para sincronizar el pulso.

La entrada es generalmente la señal recibida, la salida es una señal periódica alineada con el símbolo.

Señal  
**antes** del  
filtro  
adaptado



Inicio del  
pulso

Fin del  
pulso

$t = kT$

Sincronización  
de símbolo



# Repaso

## Sincronización de símbolo

El objetivo del filtro es detectar **el comienzo y el fin del pulso** recibido, para poder **muestrear** la señal **momento exacto** donde  $t=kT$ .

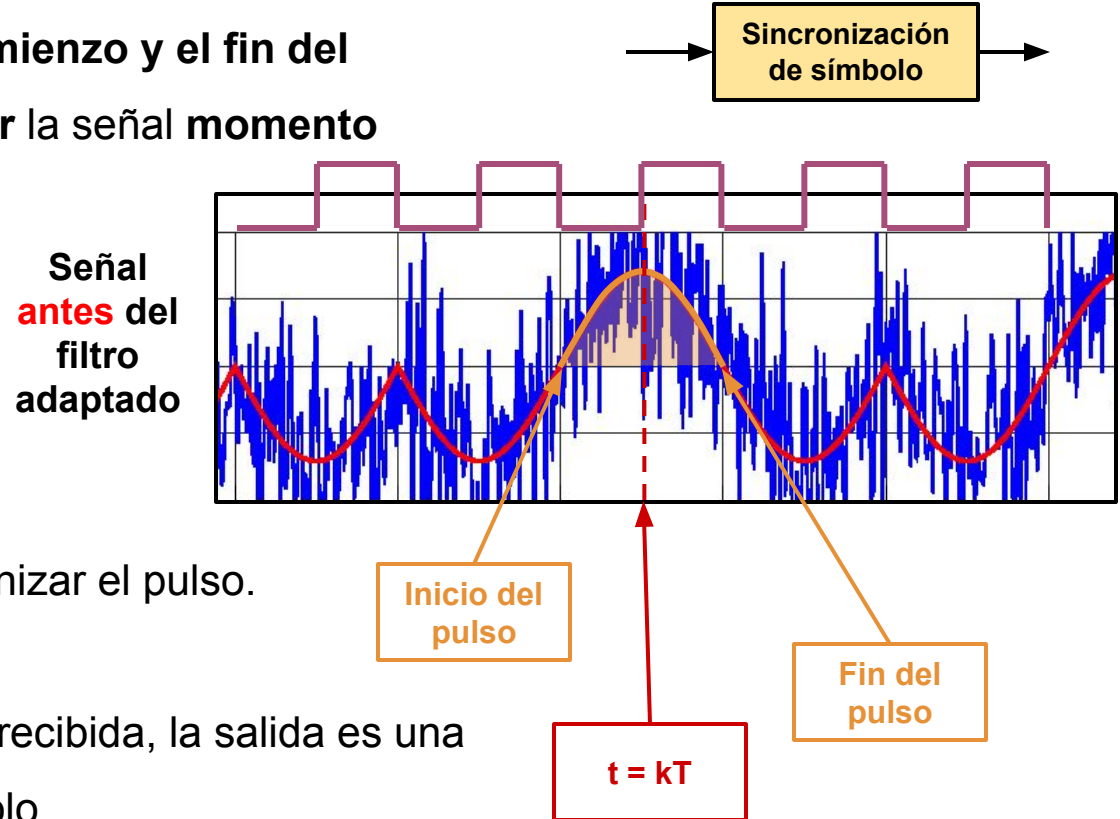
También se conoce como:

*Clock recovery*

*Symbol timing recovery*

Existen diversas técnicas para sincronizar el pulso.

La entrada es generalmente la señal recibida, la salida es una señal periódica alineada con el símbolo.



## Sincronización de símbolo

El objetivo del filtro es detectar **el comienzo y el fin del pulso** recibido, para poder **muestrear** la señal **momento exacto** donde  $t=kT$ .

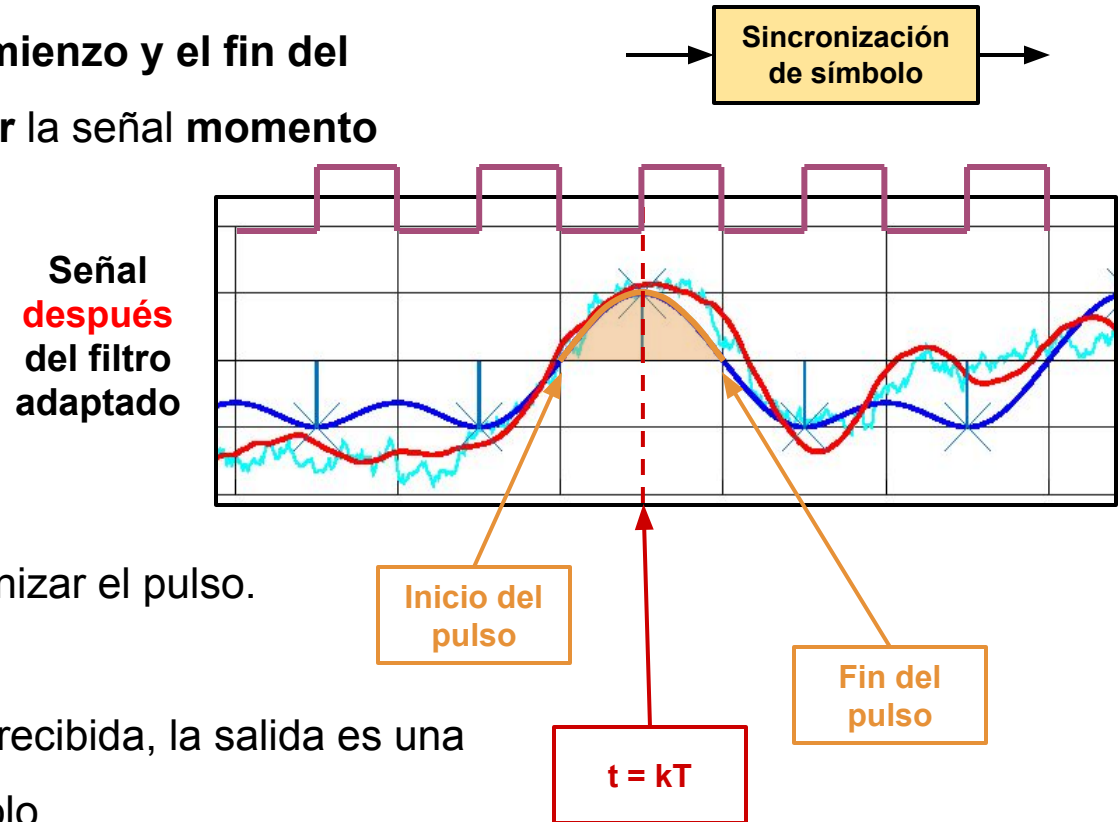
También se conoce como:

*Clock recovery*

*Symbol timing recovery*

Existen diversas técnicas para sincronizar el pulso.

La entrada es generalmente la señal recibida, la salida es una señal periódica alineada con el símbolo.



Sincronización de símbolo

Ejemplo de sincronizador Early-Late:

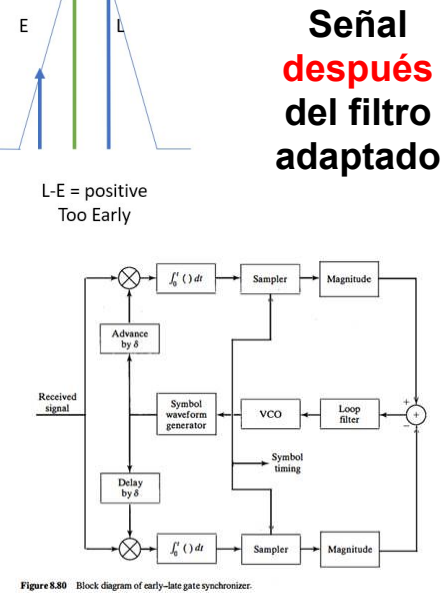
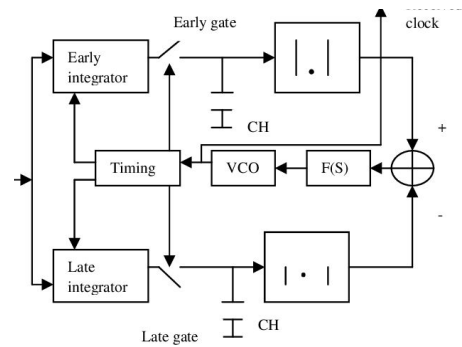
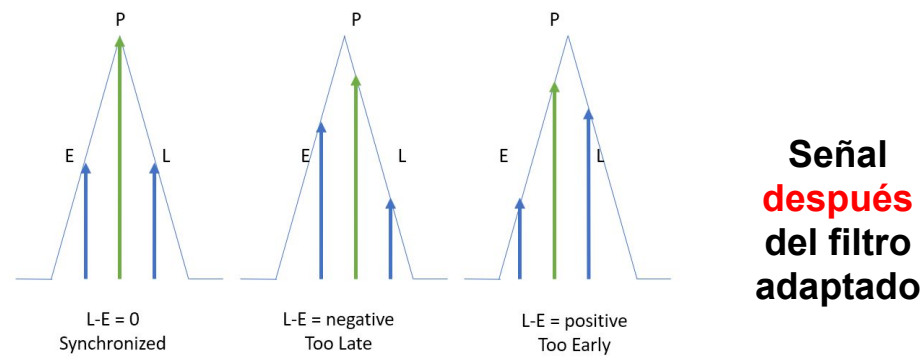
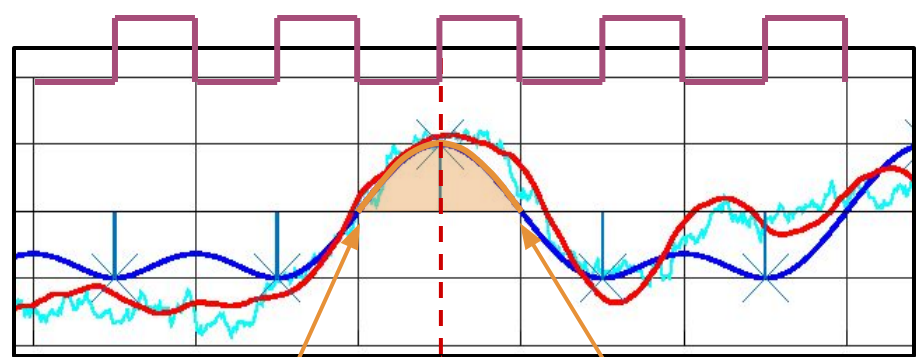


Figure 8.80 Block diagram of early-late gate synchronizer.

Sincronización de símbolo



Inicio del pulso

Fin del pulso

$t = kT$

## Sincronización de símbolo

### Ejemplo de sincronizador con PLL: Open-loop

$$y^2(t) = \left[ \sum_m x_m p(t - mT) + n(t) \right]^2$$

$$\begin{aligned} E \{ y^2(t) \} &= \sum_m \sum_n \mathcal{E}_x \cdot \delta_{mn} \cdot p(t - mT) \cdot p(t - nT) + \sigma_n^2 \\ &= \mathcal{E}_x \cdot \sum_m p^2(t - mT) + \sigma_n^2, \quad \text{Señal periódica (T)} \end{aligned}$$

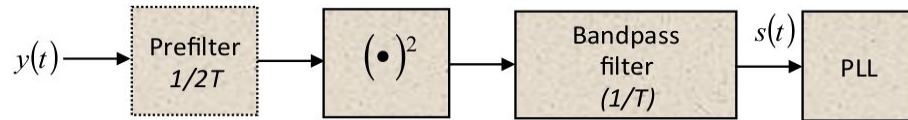
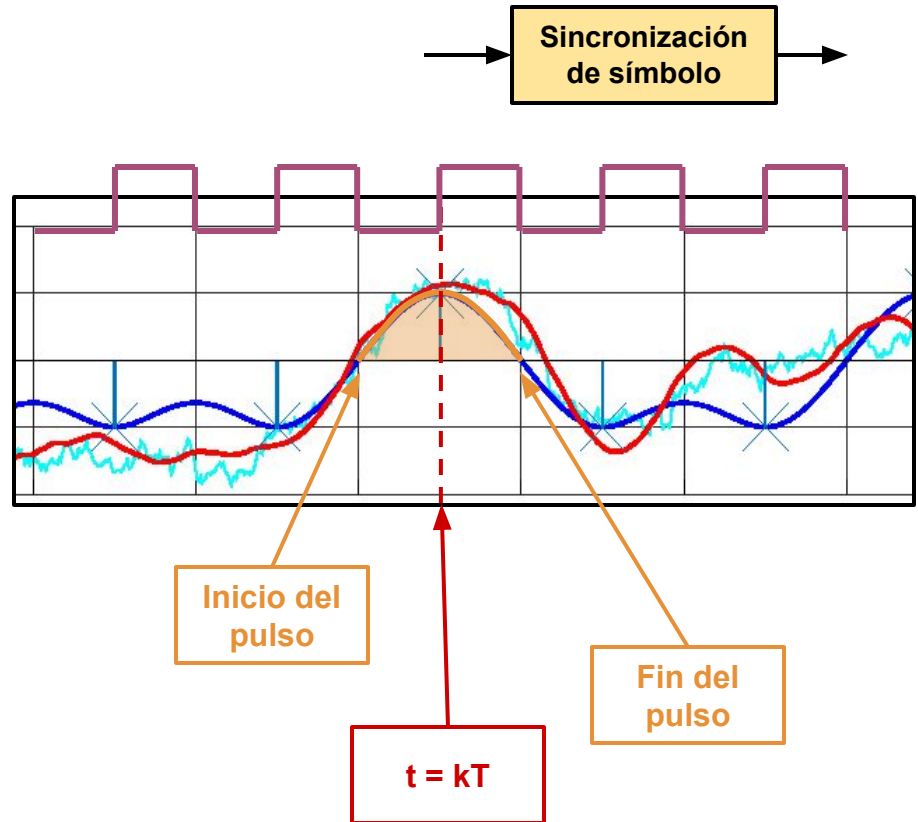


Figure 6.10: Square-law timing recovery.



# Diagramas en bloque de los moduladores y demoduladores

## Ejercicio 06 - Simulación del modulador en octave

Ejemplo demostrativo:

# Diagramas en bloque de los moduladores y demoduladores

## Ejercicio 06 - Simulación del modulador en octave

### Ejemplo demostrativo:

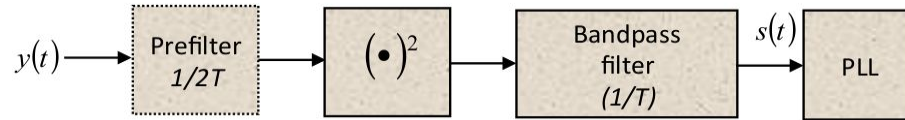


Figure 6.10: Square-law timing recovery.

# Diagramas en bloque:

- **Modulador**

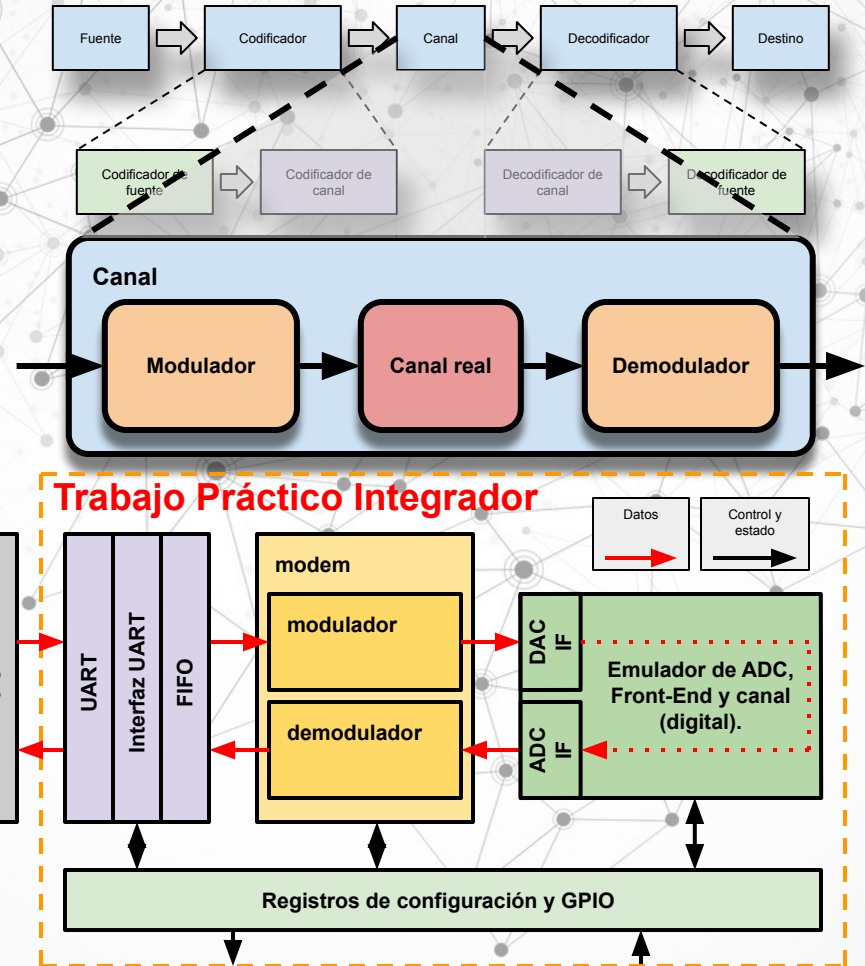
- Arquitectura de bajo nivel

- **Canal**

- Modelo
- Arquitectura de bajo nivel

- **Demodulador**

- Arquitectura de bajo nivel



# Arquitectura de sistema de comunicación

## Arquitectura de alto nivel sistema simplificado (TPI)

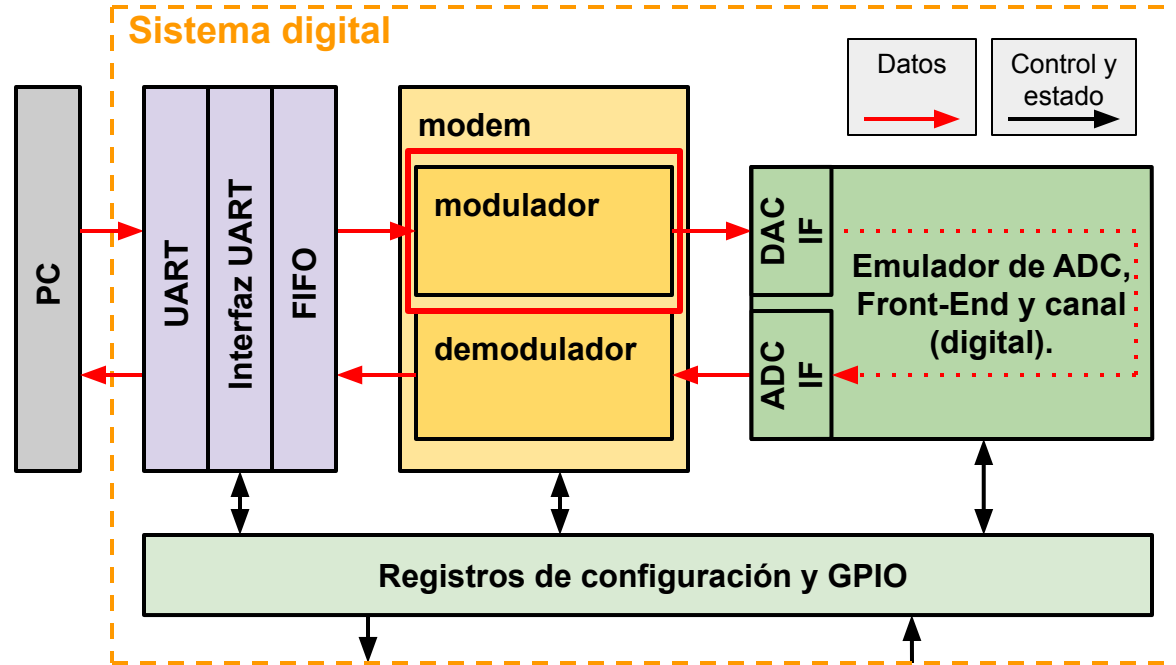
Modulador



# Arquitectura de sistema de comunicación

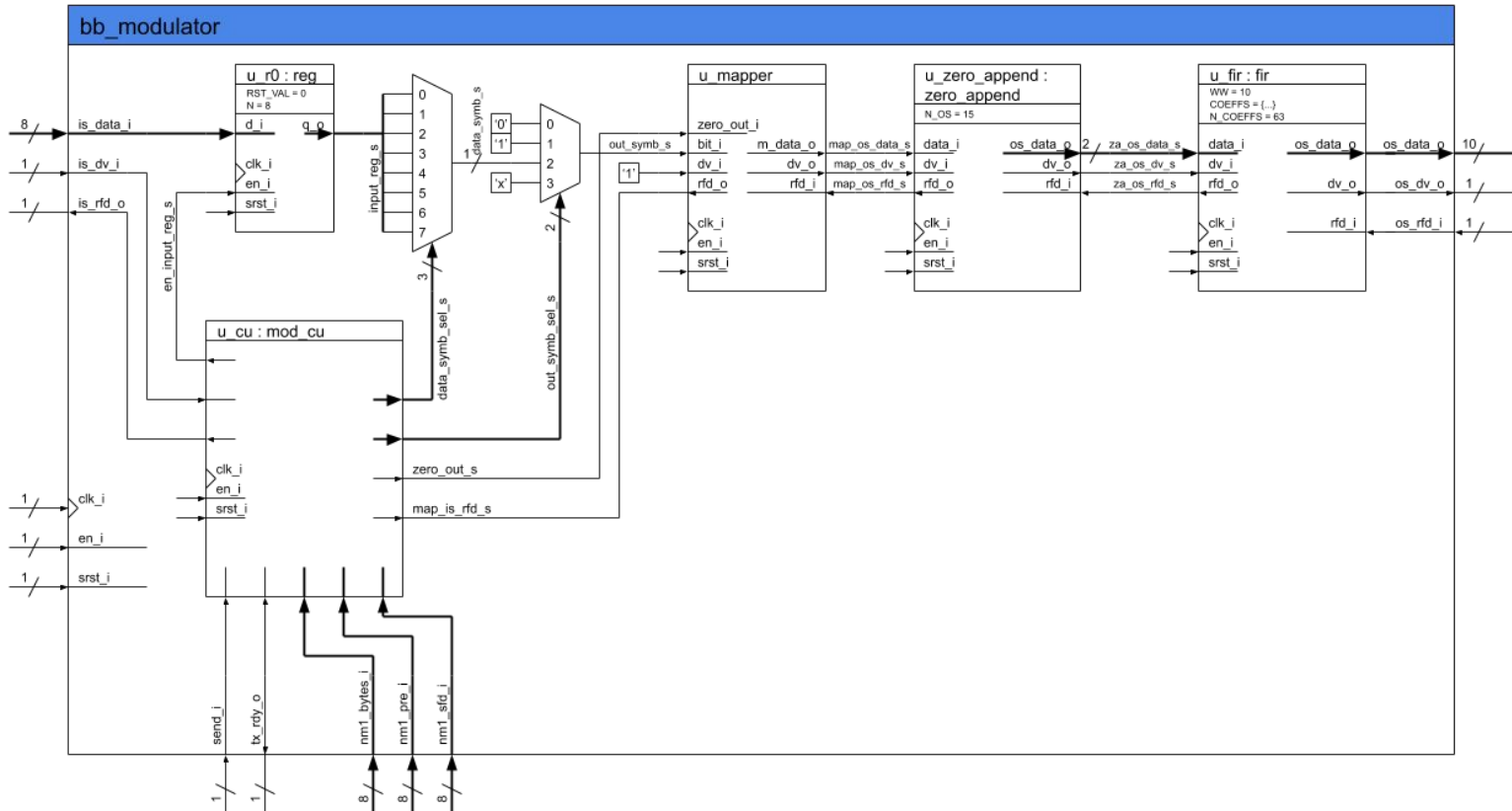
## Arquitectura de alto nivel sistema simplificado (TPI)

### Modulador



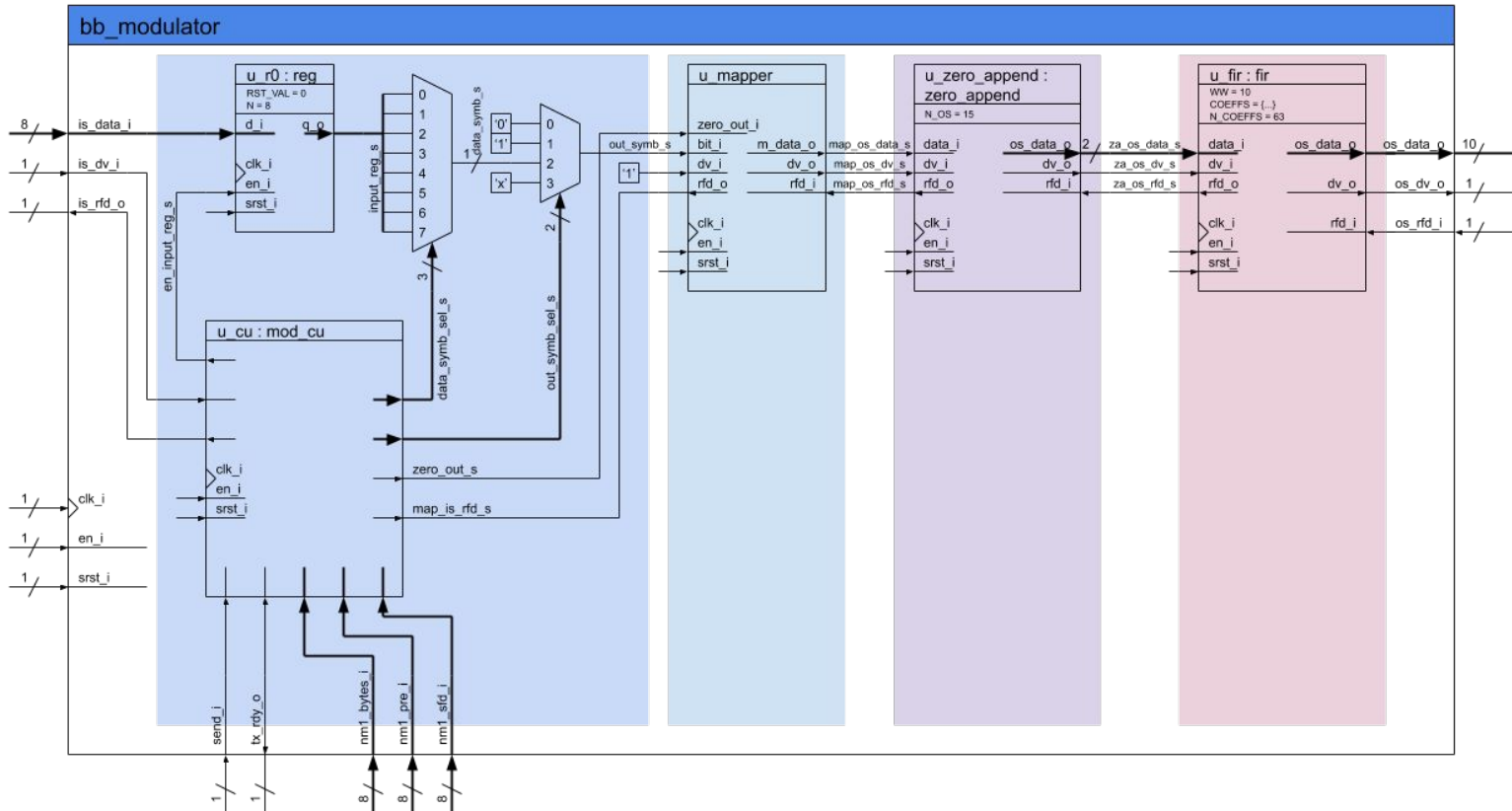
# Diagramas en bloque de los moduladores y demoduladores

## Arquitectura detallada del modulador



# Diagramas en bloque de los moduladores y demoduladores

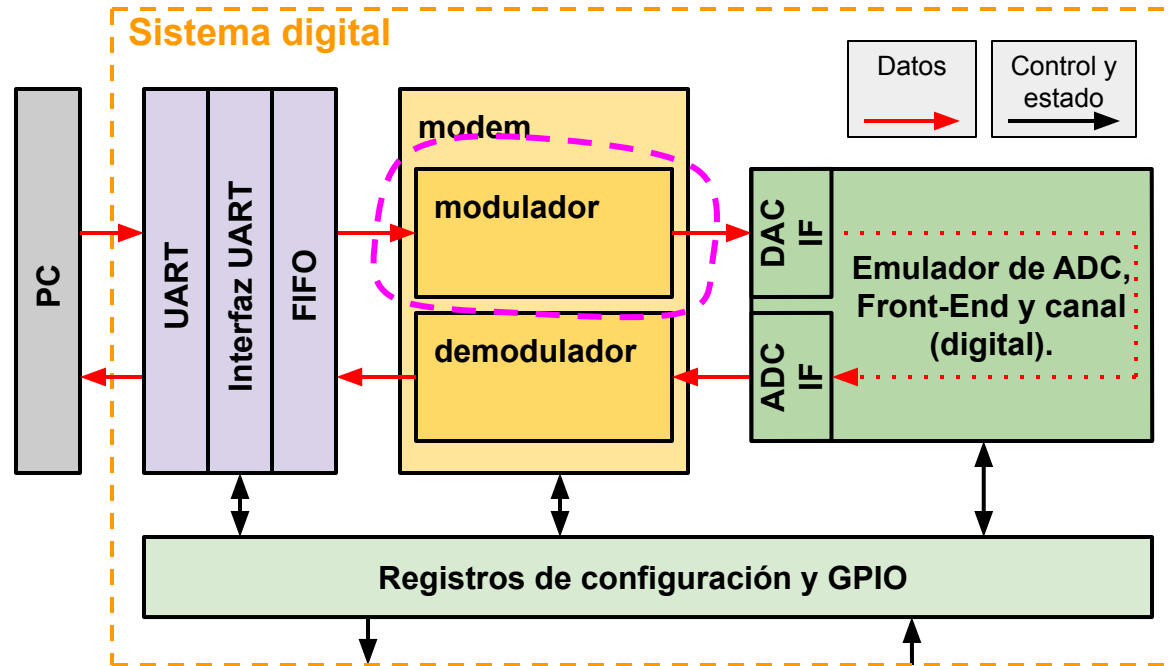
## Arquitectura detallada del modulador



# Diagramas en bloque de los moduladores y demoduladores

## Ejercicio 07 - Simulación del modulador

Simulación HDL:



Se simula  
solo este  
bloques

# Arquitectura de sistema de comunicación

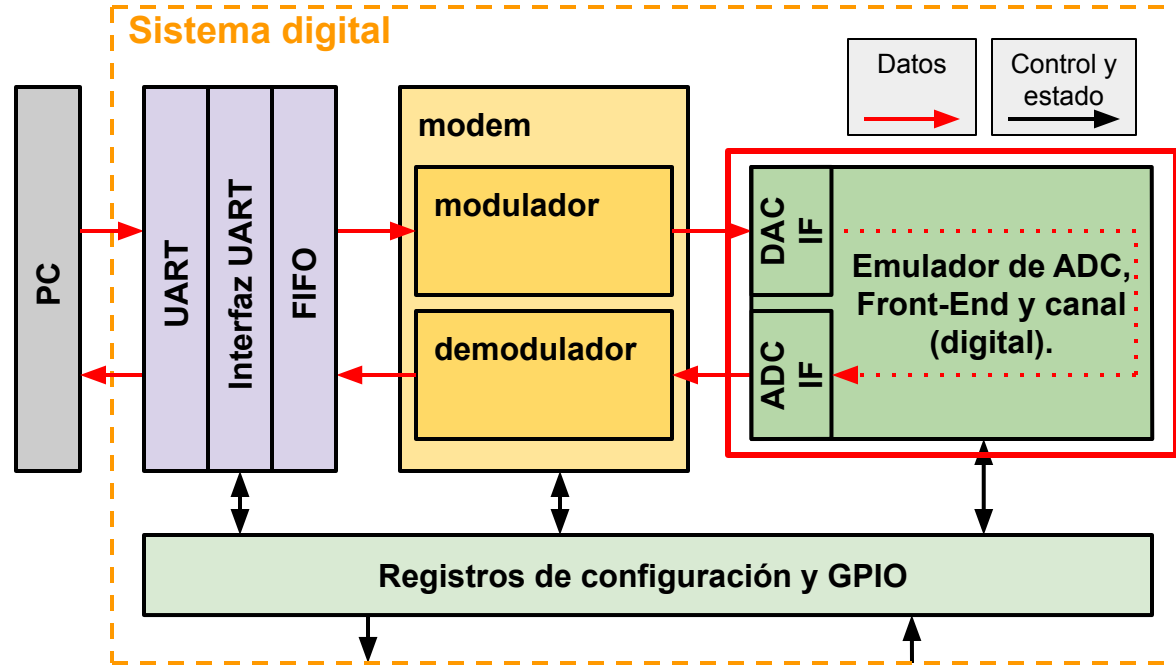
## Arquitectura de alto nivel sistema simplificado (TPI)

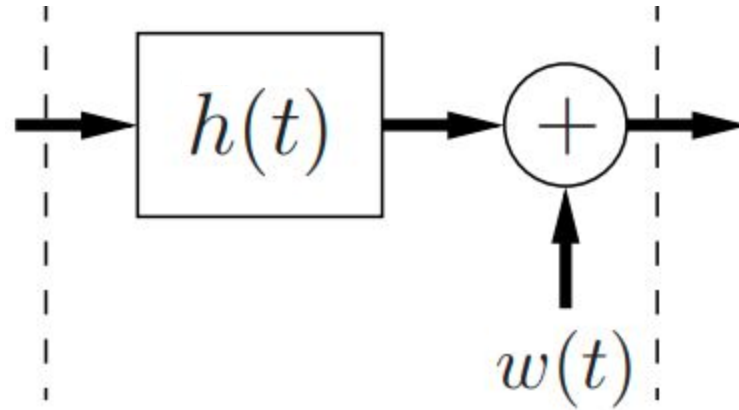
Canal

# Arquitectura de sistema de comunicación

## Arquitectura de alto nivel sistema simplificado (TPI)

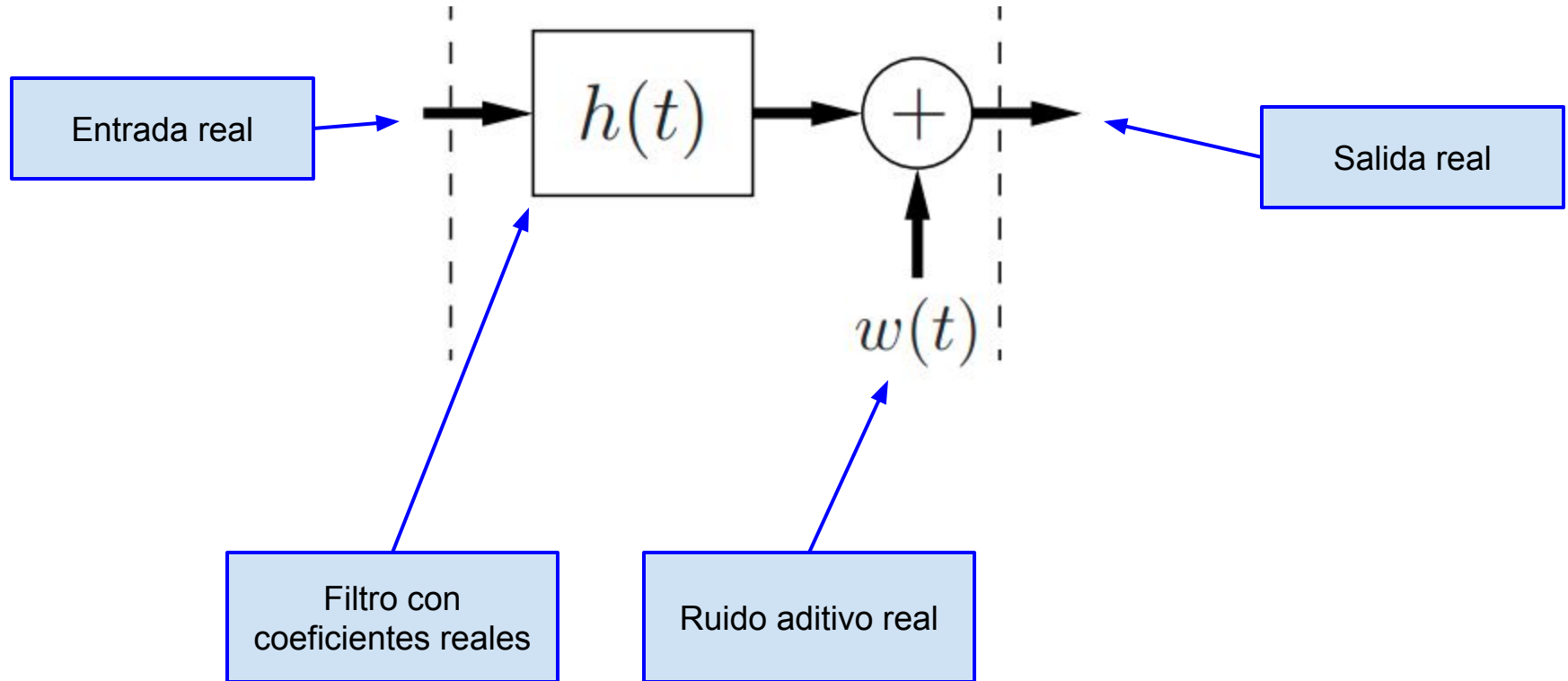
Canal





# Arquitectura de sistema de comunicación

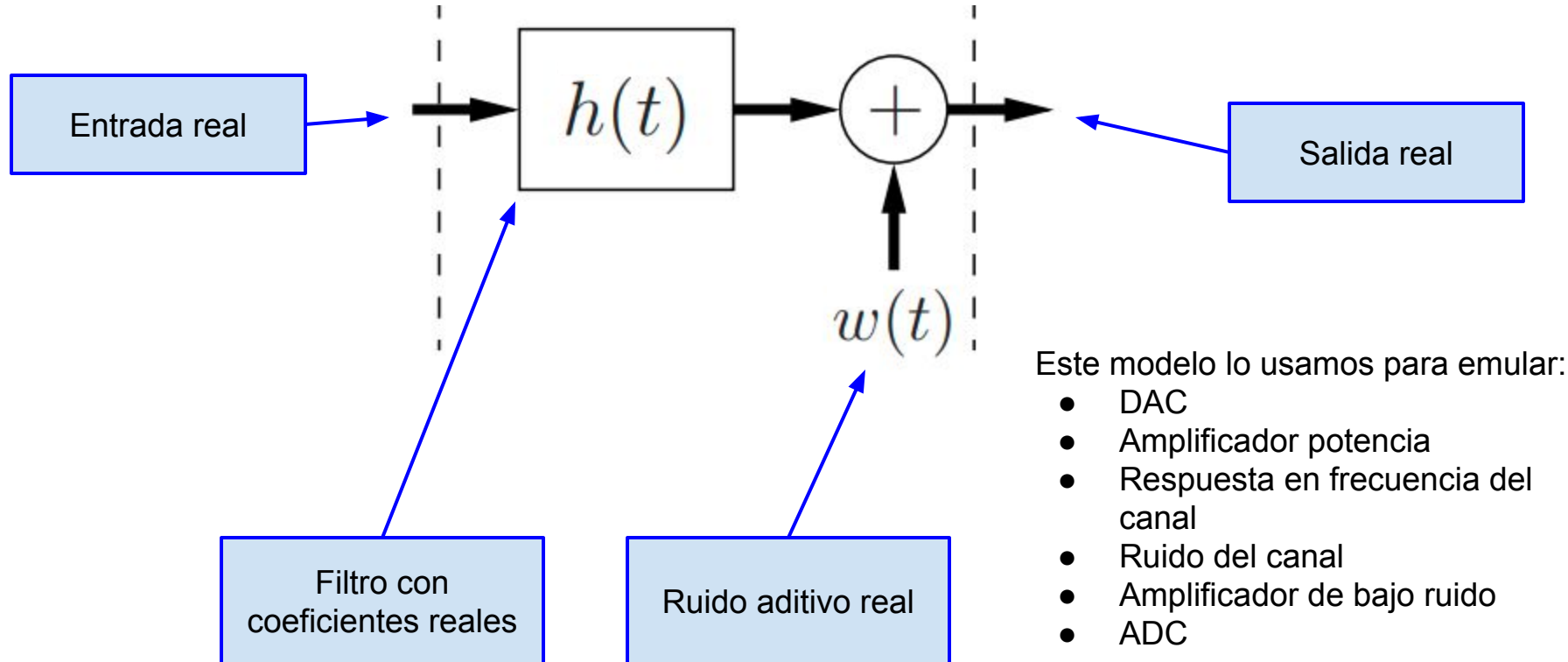
## Modelo de canal





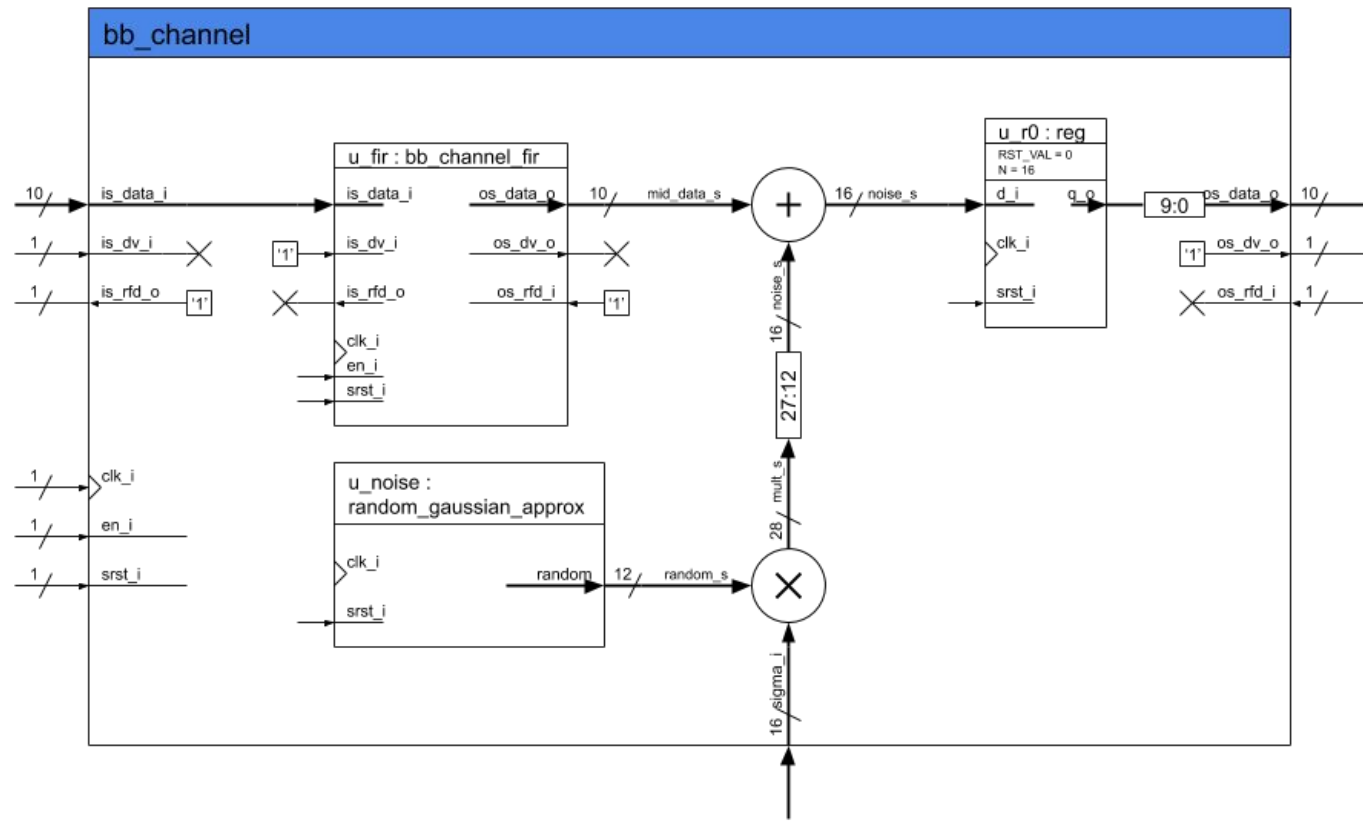
# Arquitectura de sistema de comunicación

## Modelo de canal



# Arquitectura de sistema de comunicación

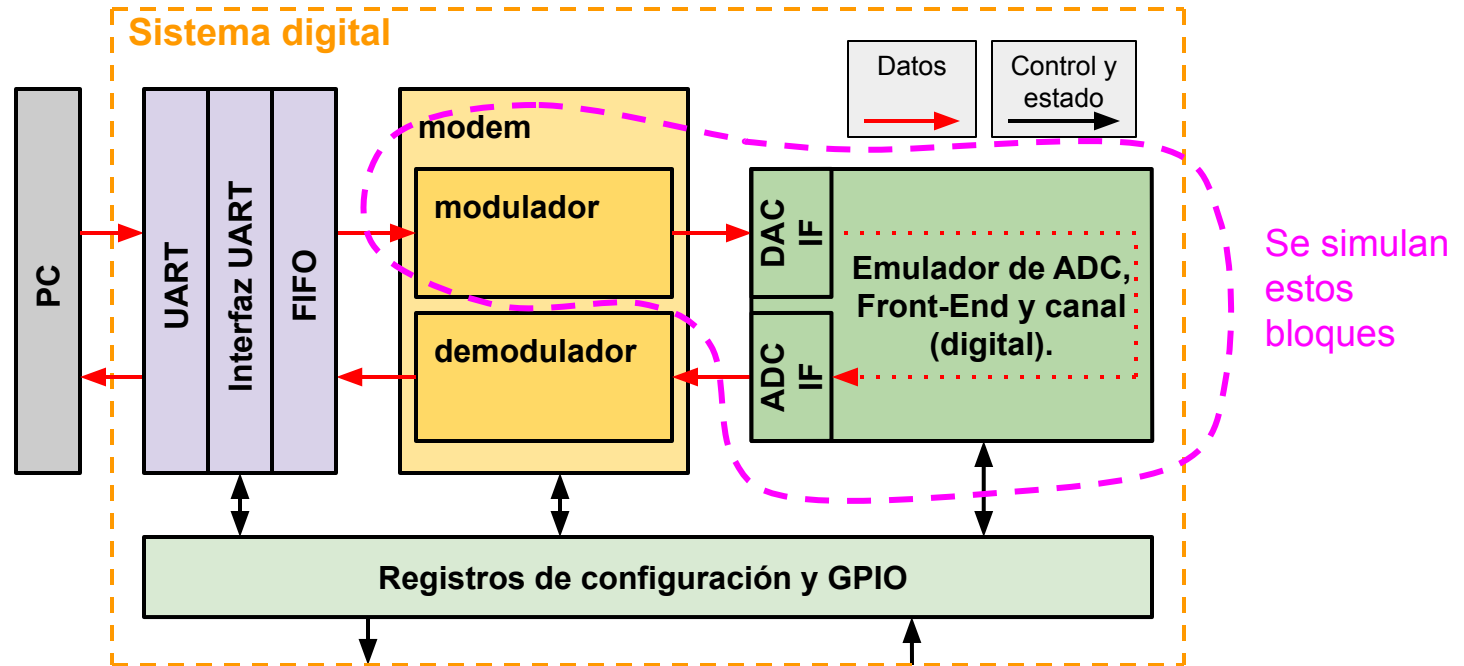
## Arquitectura detallada del canal



# Diagramas en bloque de los moduladores y demoduladores

## Ejercicio 08 - Simulación del modulador + canal

Simulación HDL:



# Arquitectura de sistema de comunicación

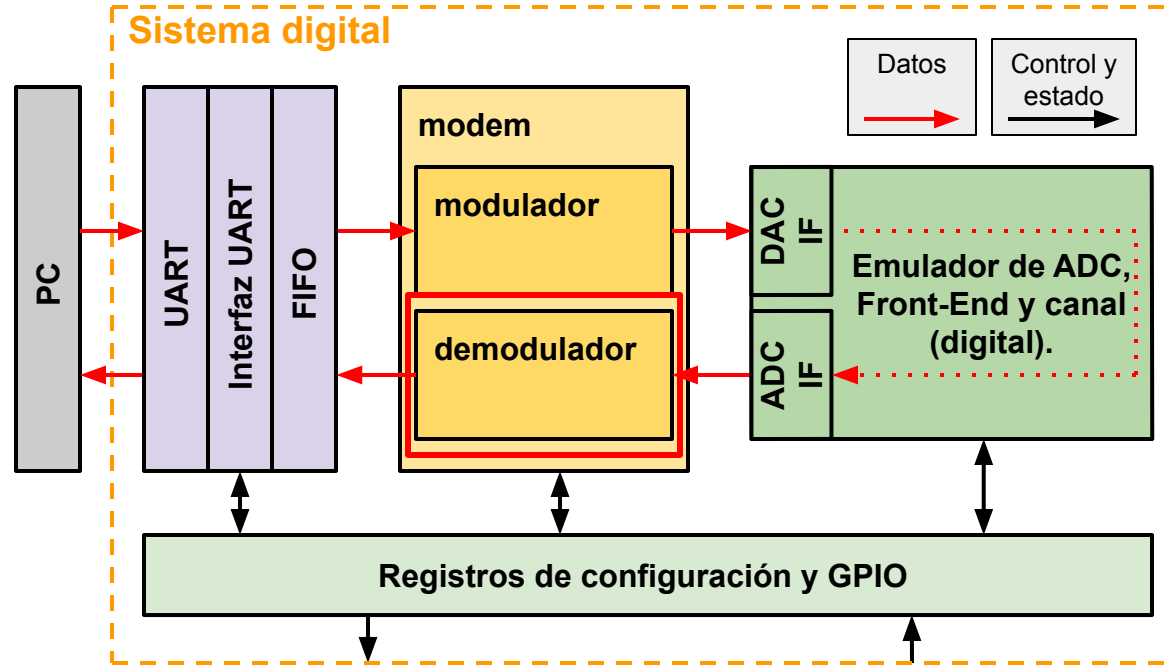
## Arquitectura de alto nivel sistema simplificado (TPI)

Demodulador

# Arquitectura de sistema de comunicación

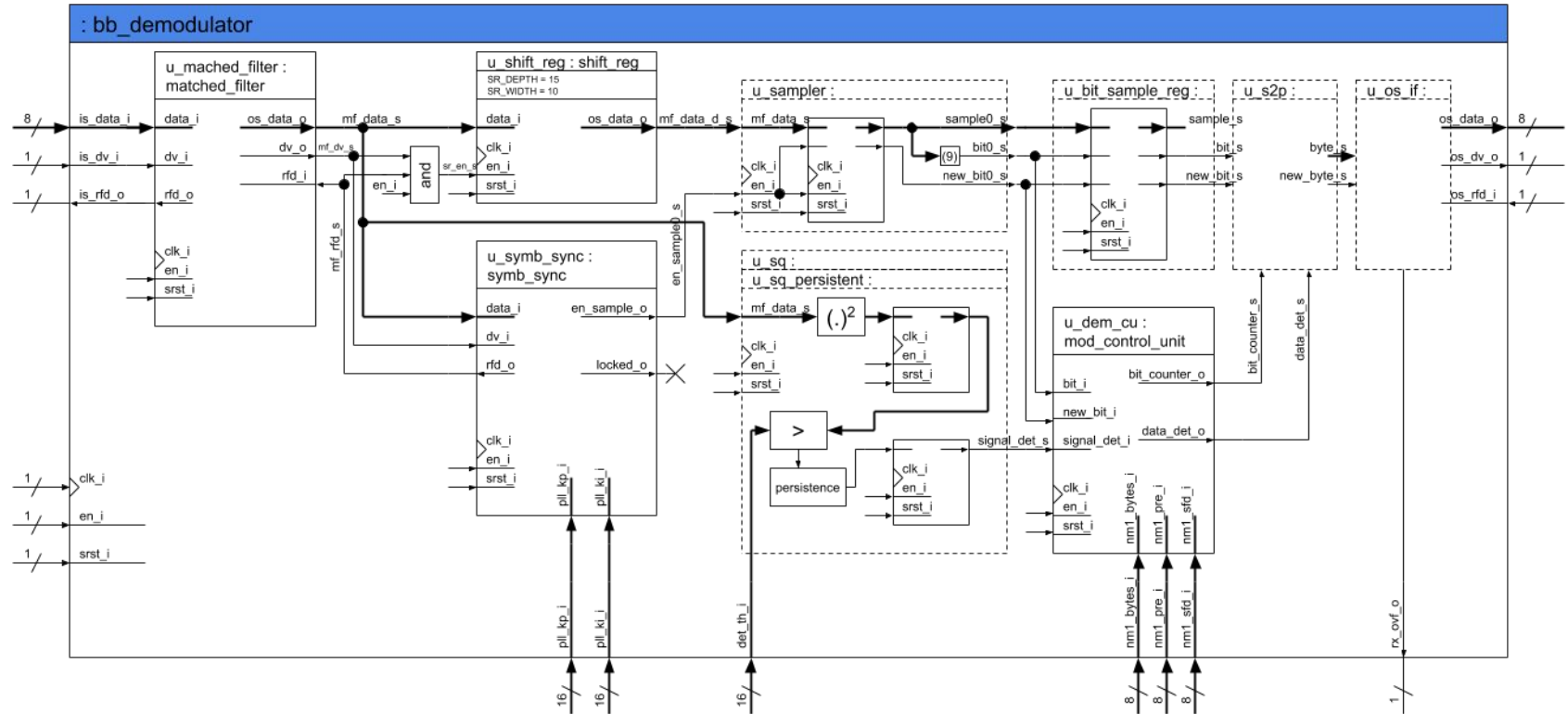
## Arquitectura de alto nivel sistema simplificado (TPI)

### Demodulador



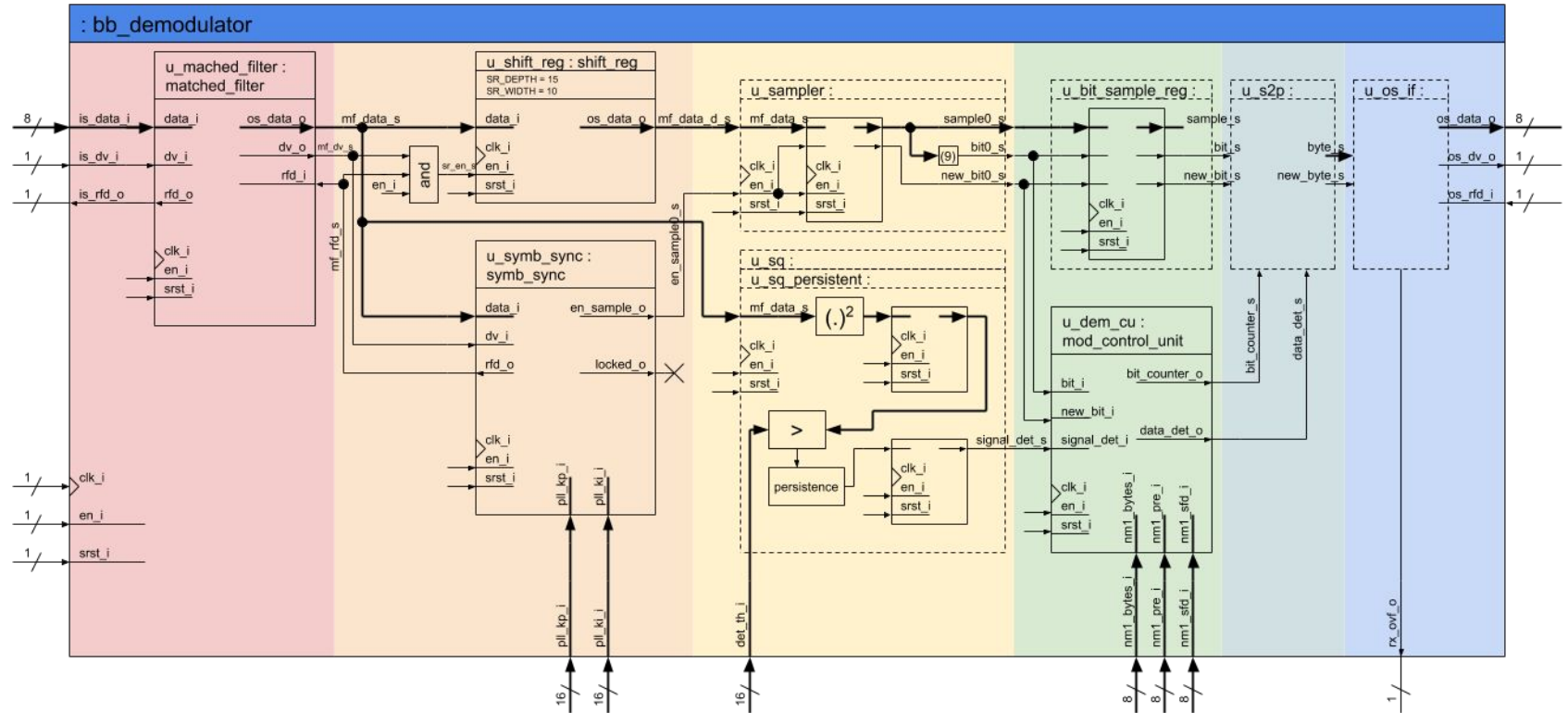
# Diagramas en bloque de los moduladores y demoduladores

## Arquitectura detallada del modulador



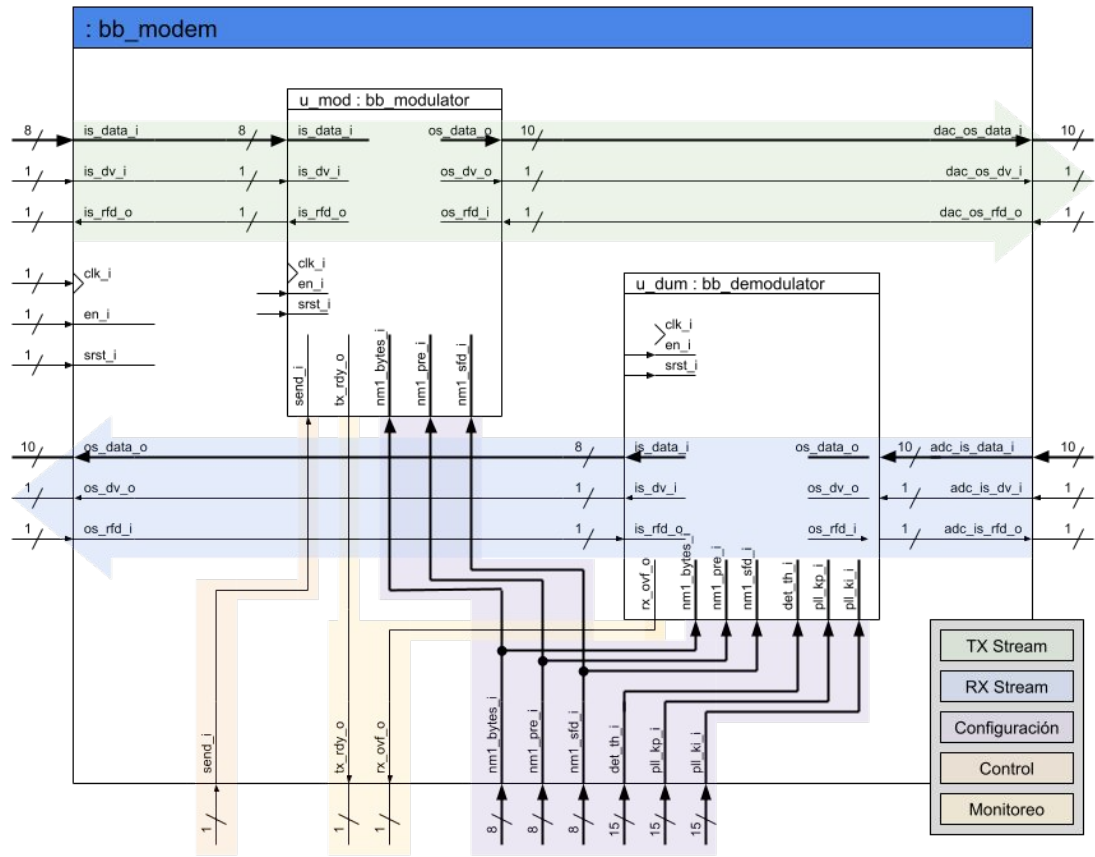
# Diagramas en bloque de los moduladores y demoduladores

## Arquitectura detallada del modulador



# Diagramas en bloque de los moduladores y demoduladores

## Arquitectura del modem



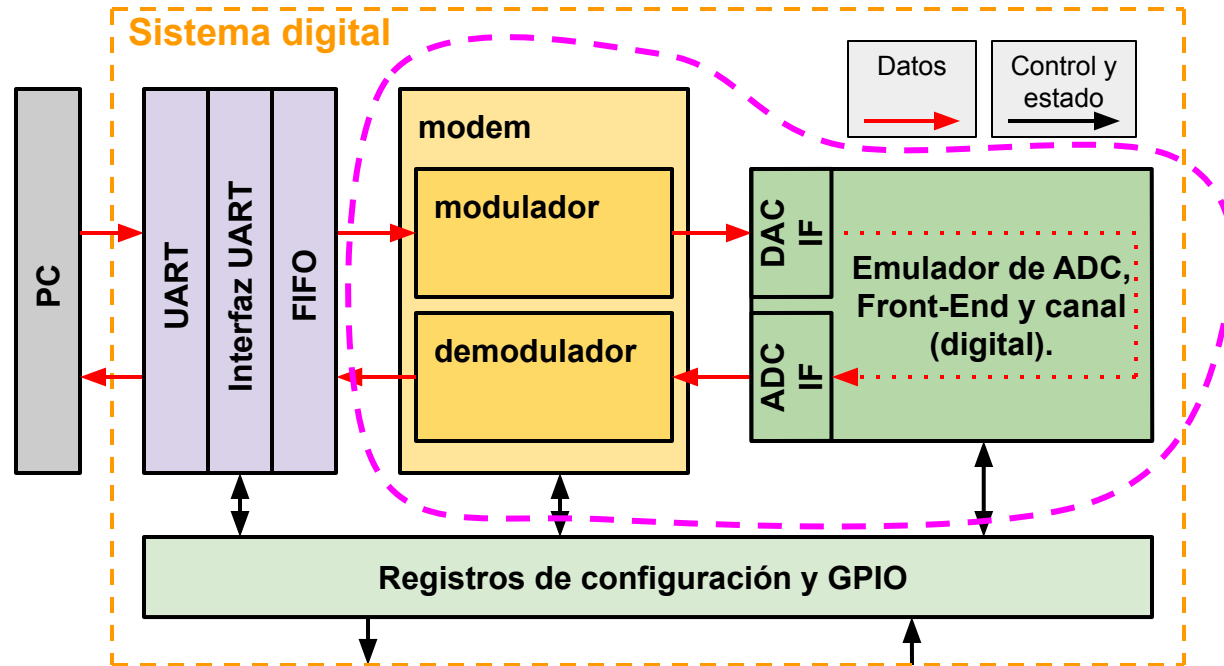


# Diagramas en bloque de los moduladores y demoduladores

## Ejercicio 09 - Simulación del modem + el canal

Simulación HDL:

Se simulan estos bloques. Se agrupan en un módulo llamado `tb_test_modem_channel`



## Bibliografía:

- “*Digital Communication*”, John G. Proakis, Masoud Salehi, 5th edition.
- B. P. Lathi. 1998. “*Modern Digital and Analog Communication Systems 3e Osece*” (3rd. ed.). Oxford University Press, Inc., USA.
- Bernard Sklar. 1988. “*Digital communications: fundamentals and applications*”. Prentice-Hall, Inc., USA.
- John M. Cioffi. Libro Online: <https://cioffi-group.stanford.edu/doc/book/>



**¿PREGUNTAS?**



**¡Gracias!**