

# 1.1 SISTEMAS DIGITALES

*Elena Valderrama*

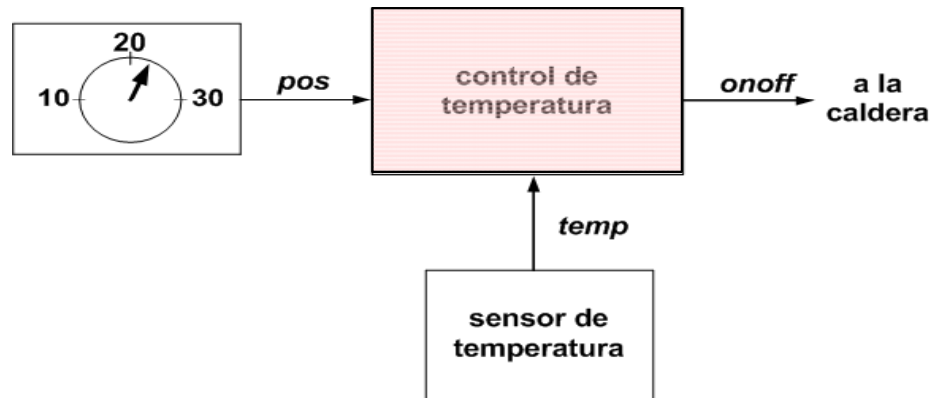
Universidad Autónoma de Barcelona

# 1. SISTEMA FÍSICO

Conjunto de objetos o elementos interconectados que realizan una cierta función

- Un conjunto de señales de entrada,
  - un conjunto de señales de salida,
  - una relación entre señales de entrada y de salida.
- TIPO (tensión, fuerza, temperatura, posición de un interruptor, etc.),
  - RANGO

## 1.1 SISTEMA FÍSICO : Control de una caldera



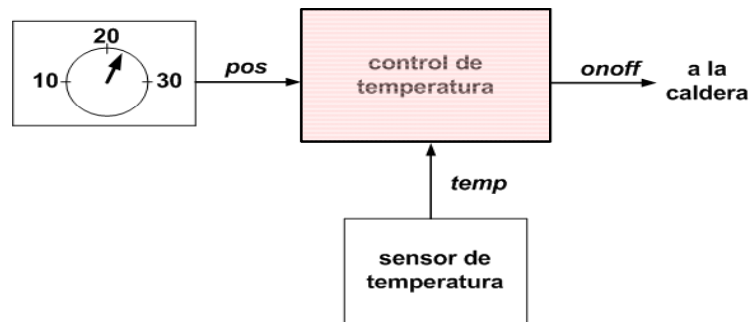
**Señales de  
entrada y de  
salida**

*pos*: posición del selector;

*temp*: temperatura medida por el sensor;

*onoff*: señal binaria (dos valores: ON or OFF)

## 1.1 SISTEMA FÍSICO : Control de una caldera

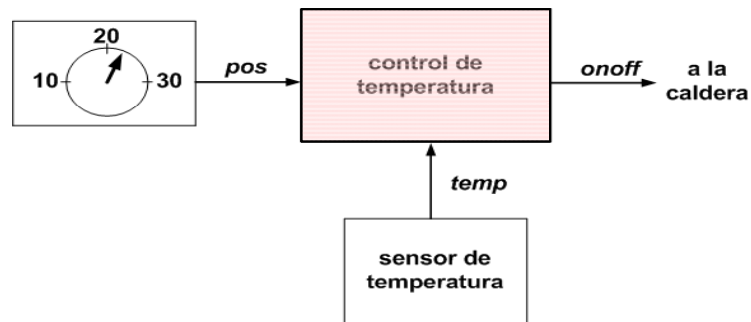


**Tipo y rango de las señales de entrada y de salida**

- **pos** representa la posición de un selector entre dos posiciones extremas (10 y 30). Puede tomar cualquier valor dentro de dicho intervalo (rango)

$$pos_{10} \leq pos \leq pos_{30} ;$$

## 1.1 SISTEMA FÍSICO : Control de una caldera



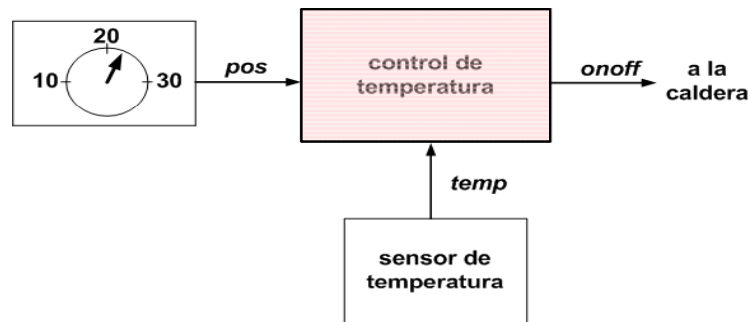
### Tipo y rango de las señales de entrada y de salida

- **temp** representa la temperatura ambiente. Si el sensor es capaz de medir las temperaturas entre 0 y 50 grados, su valor (rango) puede ser cualquier temperatura dentro del intervalo 0-50°C

$$temp_0 \leq temp \leq temp_{50} ;$$

- **onoff** sólo tiene dos valores: ON (encendido) y OFF (apagado).

## 1.1 SISTEMA FÍSICO : Control de una caldera



### Relación entre las entradas y salidas

```
loop
  if temp < pos - medio_grado then onoff <= on;
  elsif temp > pos + medio_grado then onoff <= off;
  end if;
  wait for 10 s;
end loop;
```

Las señales como ***pos*** y ***temp*** que pueden tomar cualquier valor dentro de un conjunto continuo (y por tanto infinito) de valores reciben el nombre de ...

## SEÑALES ANALÓGICAS

Las señales como ***onoff*** que solo pueden tomar un conjunto finito de valores (en este caso dos: ON, OFF), reciben el nombre de ...

## SEÑALES DIGITALES O SEÑALES DISCRETAS

## 1.2 SISTEMA FÍSICO : Cronómetro



1.1

**UAB**

Universitat Autònoma  
de Barcelona



**Señales de  
entrada y de  
salida**

*reset, start, stop*: posición de tres pulsadores;  
*ref*: onda cuadrada con un período de 0,1 segundos (frec. 10Hz),  
 $V_L=0$  volts,  $V_H=1$  volt;  
*h*: entero entre 0 y 23;  
*m* y *s*: enteros entre 0 y 59;  
*t*: entero entre 0 y 9.



## 1.2 SISTEMA FÍSICO : Cronómetro



**Relación entre las entradas y salidas (lenguaje natural)**

- cuando se pulsa **reset**,  $h = m = s = t = 0$ ;
- cuando se pulsa **start**, el cronómetro empieza a contar;  $h$ ,  $m$ ,  $s$  y  $t$  representan el tiempo transcurrido en décimas de segundos;
- cuando se pulsa **stop**, el cronómetro deja de contar;  $h$ ,  $m$ ,  $s$  y  $t$  representan el último tiempo transcurrido.

## *(quiz)*

Supongamos que el estado actual del cronómetro es:

**17 horas, 22 minutos, 59 segundos, 9 décimas**

¿Cuál será el estado del cronómetro tras la llegada de un nuevo pulso de reloj?

1. 17 horas, 23 minutos, 60 segundos, 10 décimas;
2. 18 horas, 22 minutos, 59 segundos, 9 décimas;
3. 17 horas, 23 minutos, 0 segundos, 0 décimas;
4. 17 horas, 22 minutos, 59 segundos, 8 décimas;

1 .1

## 1.2 SISTEMA FÍSICO : Cronómetro



**Tipo y rango de las señales de entrada y salida**

- *reset, start, stop*: señales binarias (ON, OFF);
- *ref*: señal binaria (0 volts, 1 volt);
- *h* : puede tomar 24 valores (0, 1, 2, ..., 23);
- *m* and *s* : pueden tomar 60 valores (0, 1, 2, ..., 59);
- *t* : puede tomar 10 valores (0, 1, 2, ..., 9)

***Todas las señales de entrada y de salida son digitales (o discretas)***

Aquellos sistemas en los que todas las señales de entrada y salida son digitales reciben el nombre de ...

## **SISTEMAS DIGITALES**

## (Ejercicio)

Describe de una manera formal (pseudo-código) la relación entre entradas y salidas del cronómetro.

Notas:

- Utiliza una variable *ref\_flanco\_positivo* que tome el valor *TRUE* (cierto) cuando se produce un flanco positivo en la señal *ref*, e igual a *FALSE* (falso) en caso contrario.
- Previamente se ha definido un procedimiento *update(h, m, s, t)* que cada vez que se llama suma una décima de segundo al tiempo transcurrido.
- Podéis utilizar pseudo-instrucciones del tipo:  
    *If ... then ... else ...*  
    *While ... then ...*  
    *Loop ...*



## *(Resolución del ejercicio)*

```
loop
  if reset = ON then h <= 0; m <= 0; s <= 0; t <= 0;
  elsif start = ON then
    while stop = OFF loop
      if ref_flanco_positivo = TRUE then
        update(h, m, s, t);

      end if;
    end loop;
  end if;
end loop;
```



## RESUMEN

- Concepto de señales digitales y de sistema digital
- Sistema como “caja negra” con entradas y salidas, y con una relación entre entradas y salidas que definen el comportamiento del mismo
- Ejemplos en los que hemos descrito dicha relación utilizando un pseudo-código

1.1



# **1.2**

## **DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DIGITALES**

***Elena Valderrama***

Universidad Autònoma de Barcelona

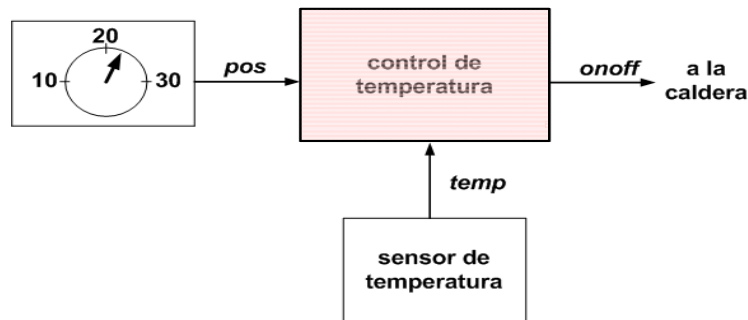
# 1. Descripción funcional

Descripción de la relación entre Entradas y Salidas, sin información acerca de la estructura interna.

## 1.1 Descripción funcional explícita

## 1.2 Descripción funcional implícita: Descripción algorítmica

## 1.a. Descripción funcional explícita

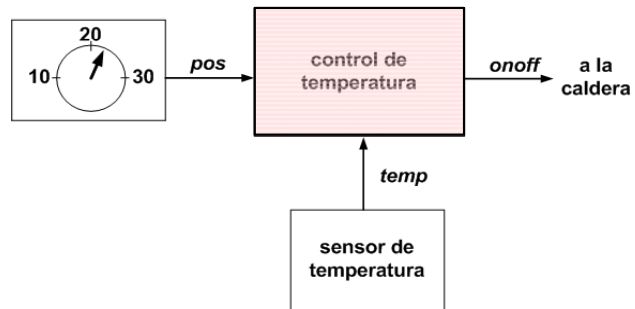


### Ejemplo: Controlado de caldera (simplificado)

Supongamos que ...

- la temperatura deseada (*pos*) es de 20°C;
- la temperatura medida (*temp*) se ha discretizado y sólo puede tomar valores dentro del conjunto  $\{0, 1, 2, \dots, 49, 50\}$ .

## 1.a. Descripción funcional explícita



*temp*

*onoff*

0

ON

1

ON

...

...

18

ON

19

ON

20

sin cambio

21

OFF

22

OFF

...

...

49

OFF

50

OFF

1.2

**UAB**

Universitat Autònoma  
de Barcelona

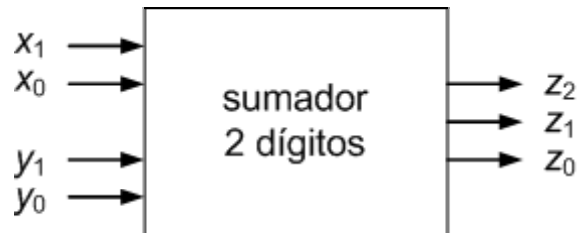
## 1.b. Descripción funcional implícita (algoritmo)

El ejemplo anterior puede ser descrito por el algoritmo siguiente:

<i>temp</i>	<i>onoff</i>	
0	ON	if temp < 20 then onoff <= ON;
1	ON	elsif temp > 20 then onoff <= OFF;
...	...	end if;
18	ON	end if;
19	ON	
20	sin cambio	
21	OFF	
22	OFF	
...	...	
49	OFF	
50	OFF	

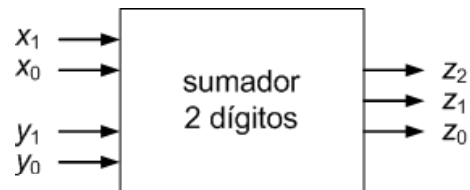
## 1.b. Descripción funcional implícita (algoritmo)

Un segundo ejemplo: Sumador de números decimales de dos dígitos.



$X = x_1 x_0$  e  $Y = y_1 y_0$  son números decimales de dos dígitos;  
la suma  $Z = X + Y$  es un número  $Z = z_2 z_1 z_0$  de tres dígitos.

Algoritmo “a mano”:



```
acarreo <= 0;  
s0 <= x0 + y0 + acarreo;  
if s0 > 9 then z0 <= s0 - 10; acarreo <= 1;  
    else z0 <= s0; acarreo <= 0;  
end if;
```

```
s1 <= x1 + y1 + acarreo;  
if s1 > 9 then z1 <= s1 - 10; acarreo <= 1;  
    else z1 <= s1; acarreo <= 0;  
end if;
```

```
z2 <= acarreo;
```

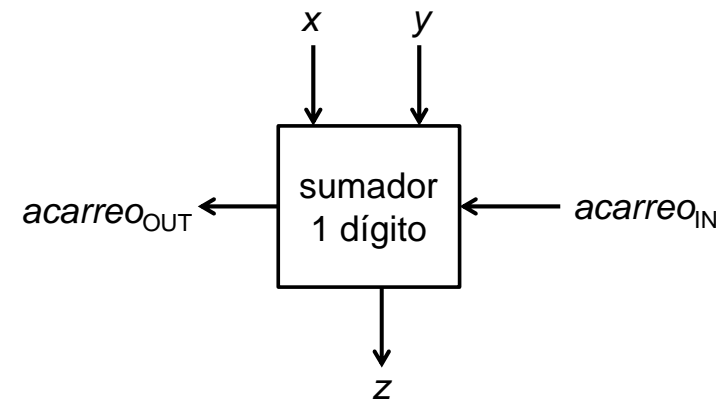
## 2. Descripción estructural

- Describe la estructura interna del sistema
- Basada en el uso de subsistemas digitales previamente definidos, es decir, de COMPONENTES.



## 2. Descripción estructural: Sumador de n°s de 2 dígitos

Supongamos que se ha definido previamente un sumador de números de 1 dígito (decimal) como el siguiente:

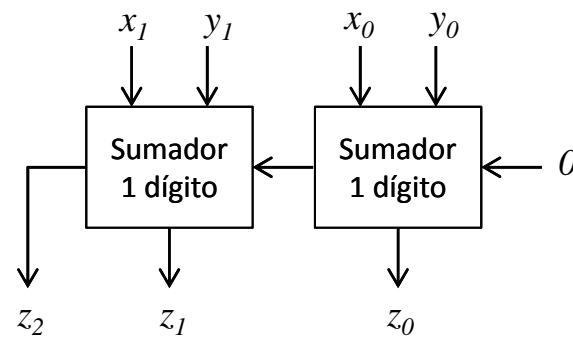


$$acarreo_{IN}, acarreo_{OUT} \in \{0, 1\},$$

$$x, y, z: \text{dígitos decimales} \in \{0, 1, 2, \dots, 9\},$$

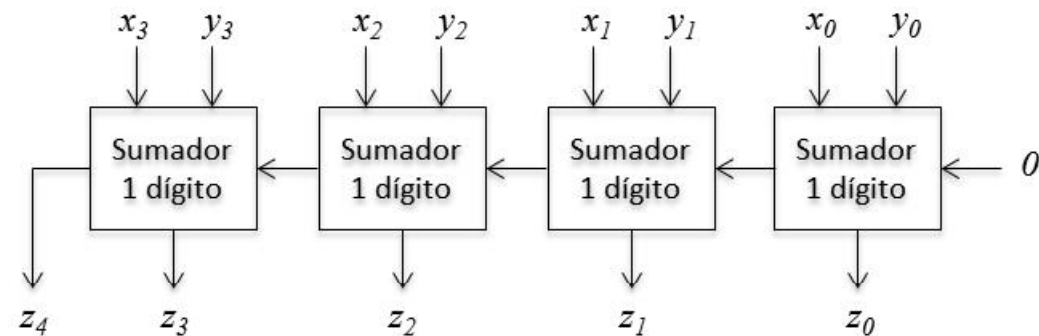
$$\text{función: } x + y + acarreo_{IN} = acarreo_{OUT} \cdot 10 + z$$

## 2. Descripción estructural: Sumador de n°s de 2 dígitos



## 2. Descripción estructural: Sumador de nºs de 4 dígitos

El sistema siguiente es un sumador de 4 dígitos decimales compuesto por cuatro sumadores de 1 dígito:



Calcula:  $Z = X + Y$

donde  $X = x_3x_2x_1x_0$  e  $Y = y_3y_2y_1y_0$  tienen 4 dígitos y

$Z = z_4z_3z_2z_1z_0$  tiene 5 dígitos,

$z_4 \in \{0,1\}$  y

$z_3z_2z_1z_0 \in \{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9\}$

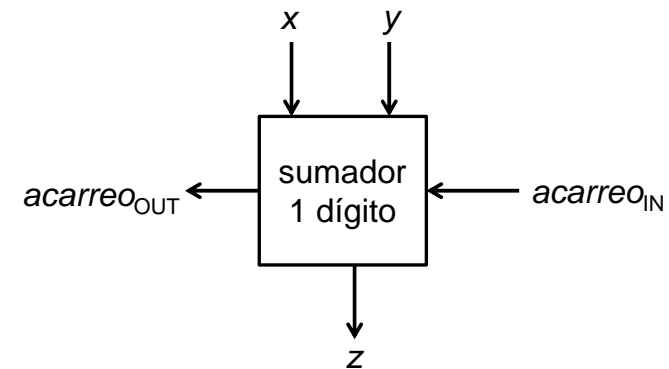
### 3. Descripción jerárquica

En el ejemplo anterior (sumador de números de 4 dígitos decimales) se utilizan 4 sumadores de 1 dígito. Cada sumador de 1 dígito puede ser definido, a su vez, por su estructura o por su función.

Ejemplo (*función*):

```
s <= x + y + acarreoIN;  
if s > 9 then z <= s - 10; acarreoOUT <= 1;  
           else z <= s; acarreoOUT <= 0;  
end if;
```

Descripción jerárquica de **dos niveles**

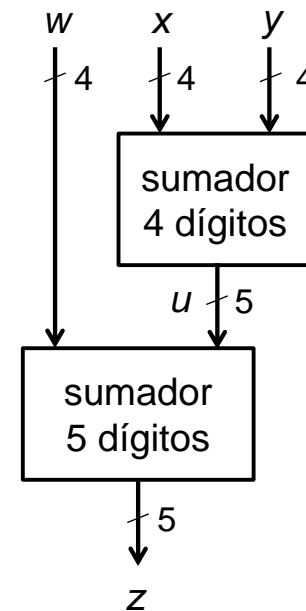


Ejemplo de descripción jerárquica de **tres niveles**

El sistema siguiente (descripción estructural) calcula

$$z = w + x + y$$

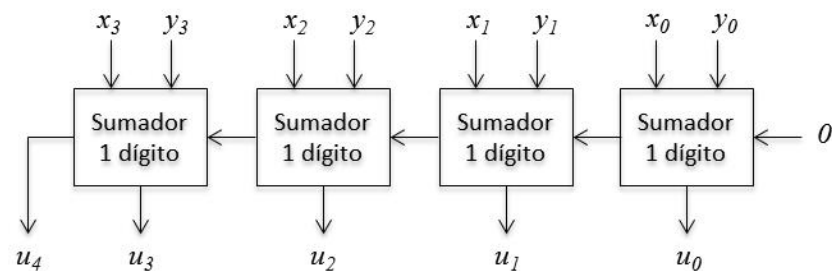
donde  $w$ ,  $x$  e  $y$  son números de 4 dígitos decimales y  $z$  tiene 5 dígitos ( $9999 + 9999 + 9999 = 29.997$ )



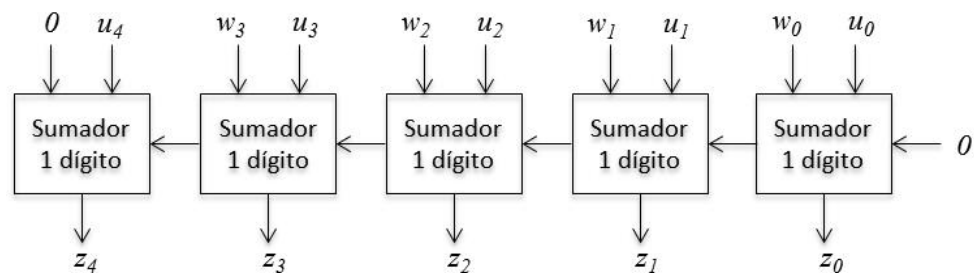
**1r NIVEL DE JERARQUÍA**

1.2

Sumador de 4 dígitos decimales

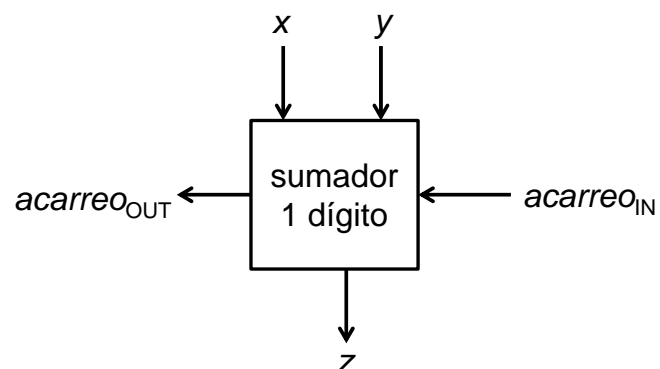


Sumador de 5 dígitos decimales



## 2º NIVEL DE JERARQUÍA

Los sumadores de 4 y 5 dígitos se descomponen en sumadores de 1 dígito cuya descripción funcional es:



```
s <= x + y + carryIN;  
if s1 > 9 then z <= s - 10; carryOUT <= 1;  
    else z <= s; carryOUT <= 0;  
end if;
```

### 3r NIVEL DE JERARQUÍA

### 3. Descripción jerárquica

En resumen, una descripción jerárquica:

- Es un conjunto de bloques interconectados,
- Donde cada bloque puede, a su vez, ser descrito por su función o por un nuevo conjunto de bloques interconectados, y así sucesivamente.
- Los bloques finales corresponden a componentes electrónicos disponibles, definidos por su función.



## *(quiz)*

Consideremos un nivel intermedio (cualquier nivel salvo el último) de una descripción jerárquica. Marca las afirmaciones correctas:

1. Todos los bloques **DEBEN** describirse estructuralmente
2. Algunos bloque **PUEDEN** describirse estructuralmente
3. Algunos bloque **PUEDEN** describirse funcionalmente
4. Todos los bloques **DEBEN** describirse funcionalmente

# RESUMEN

- Descripción funcional
- Descripción estructural
- Descripción jerárquica

1.2

# **1.3 SISTEMAS ELECTRÓNICOS DIGITALES**

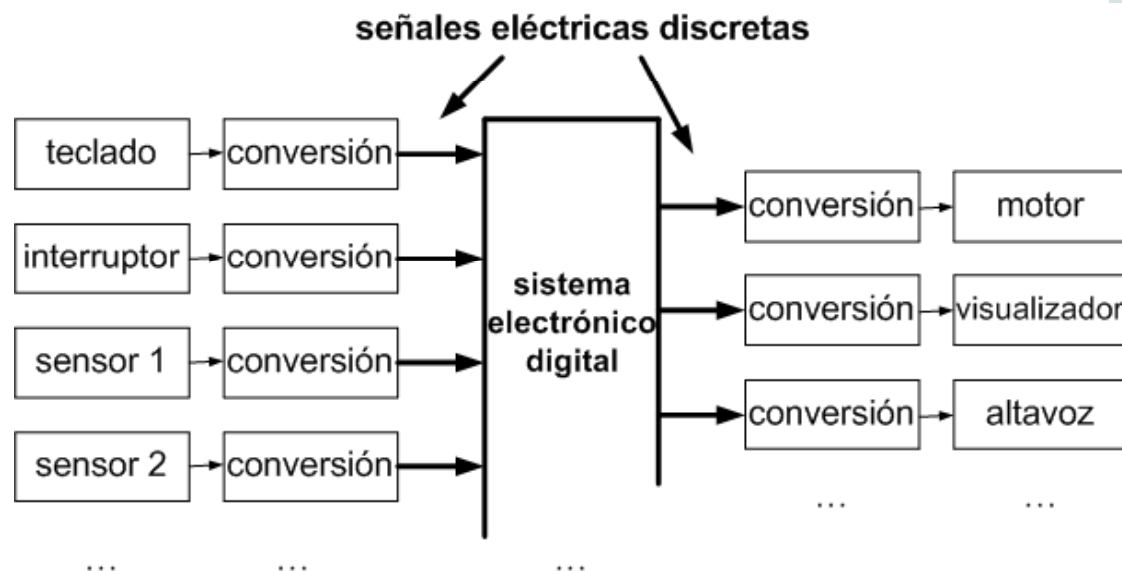
***Elena Valderrama***

Universidad Autónoma de Barcelona

## 1. Algunas observaciones previas ...

Los sistemas digitales incluyen:

- dispositivos de entrada (sensores, teclados, micrófonos, ... ),
- dispositivos de salida (altavoces, visualizadores, motores, ... ),
- conversores de entrada que traducen las informaciones generadas por los dispositivos de entrada a señales eléctricas discretas,
- conversores de salida que traducen datos eléctricos discretos a señales que controlan los dispositivos de salida,
- un circuito electrónico digital (el núcleo del sistema) que genera los datos de salida en función de los datos de entrada.



Éste es un curso sobre

## Sistemas Electrónicos Digitales

Las **entradas y salidas** de un Sistema Electrónico Digital son datos codificados en binario.

Ejemplos:

- números (código binario),
- datos alfanuméricos (códigos ASCII),
- otros

## 2. Componentes digitales

### 2.1 Codificación binaria

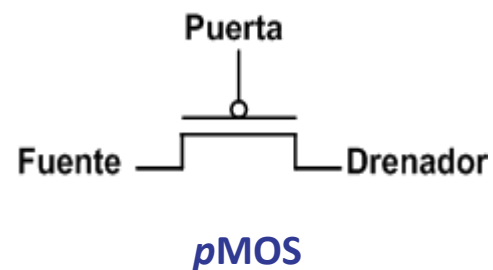
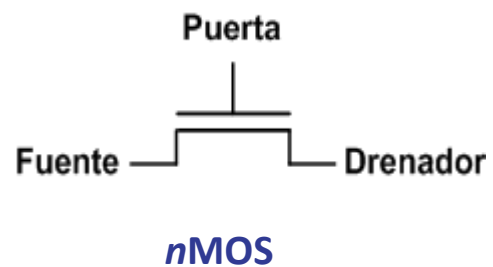
- Se definen dos niveles de tensión  $V_L$  y  $V_H$
- 0 es representado por  $V_L$ , 1 es representado por  $V_H$ 
  - ✓ Ejemplo:  $V_L = 0$  voltios,  $V_H = 1$  voltio.

## 2.2 Transistores MOS

La mayoría de los circuitos digitales están compuestos de transistores MOS

Transistor MOS: dispositivo con 3 conexiones.

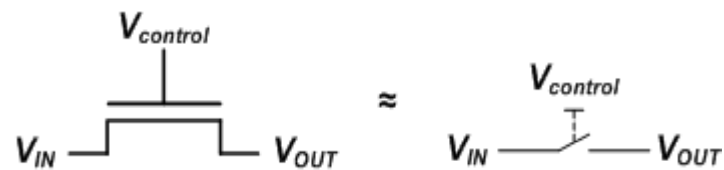
Dos tipos:





## 2.3 Transistores MOS como interruptores

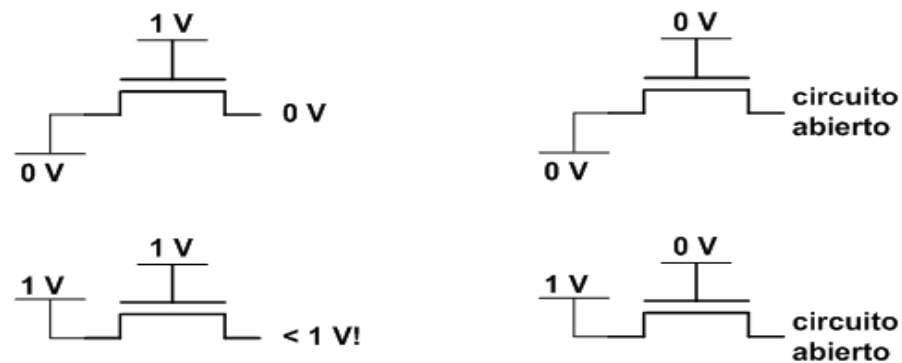
El circuitería digital, los transistores MOS se utilizan como “interruptores”



... pero:

El transistor MOS no es un interruptor “bueno” para cualquier valor de  $V_{IN}$ .

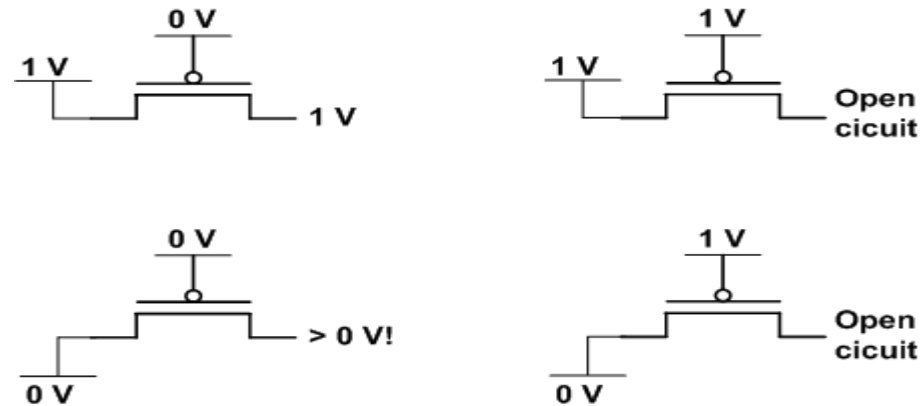
### 2.3.1 El transistor nMOS como interruptor



El transistor *n*MOS

- transmite bien  $V_L$  (0 V), pero ...
- no transmite tan bien  $V_H$  (1 V).

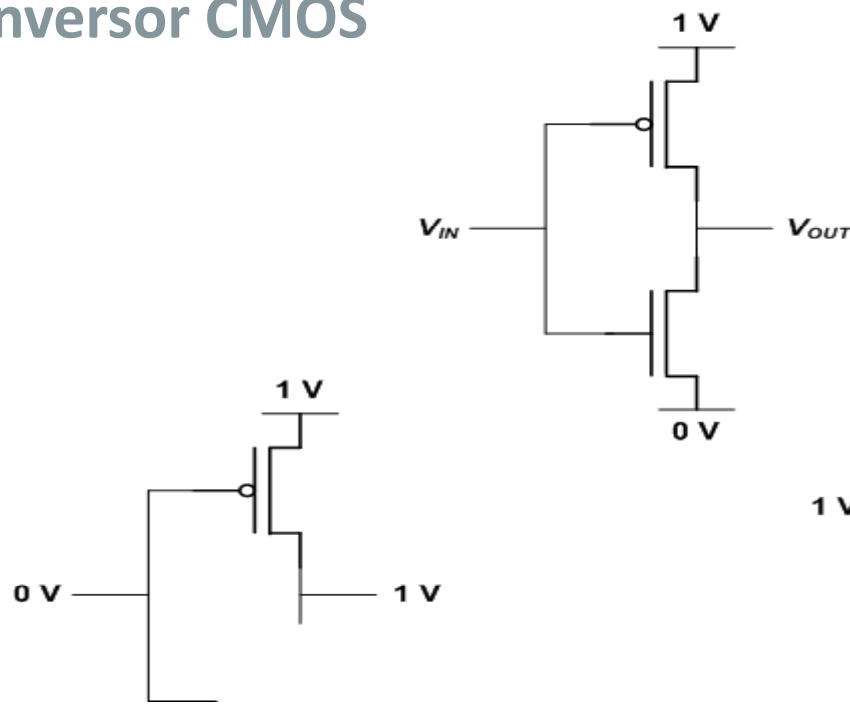
## 2.3.2 El transistor pMOS como interruptor



El transistor pMOS

- transmite bien  $V_H$  (1 V), pero ...
- no transmite tan bien  $V_L$  (0 V).

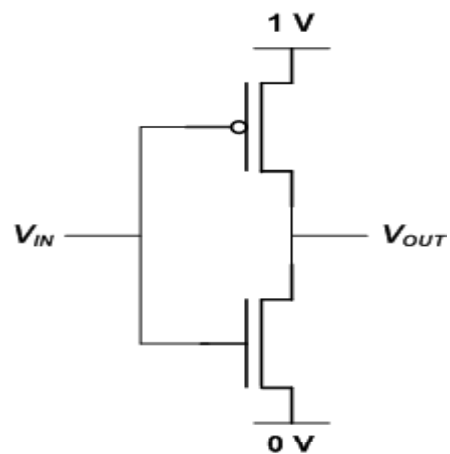
## 2.4 El inversor CMOS



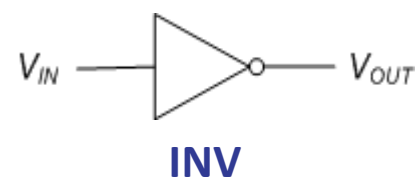
$V_{IN} = 0 \text{ V} : p\text{MOS transmite } 1 \text{ V}$

$V_{IN} = 1 \text{ V} : n\text{MOS transmite } 0 \text{ V}$

## 2.4 El inversor CMOS

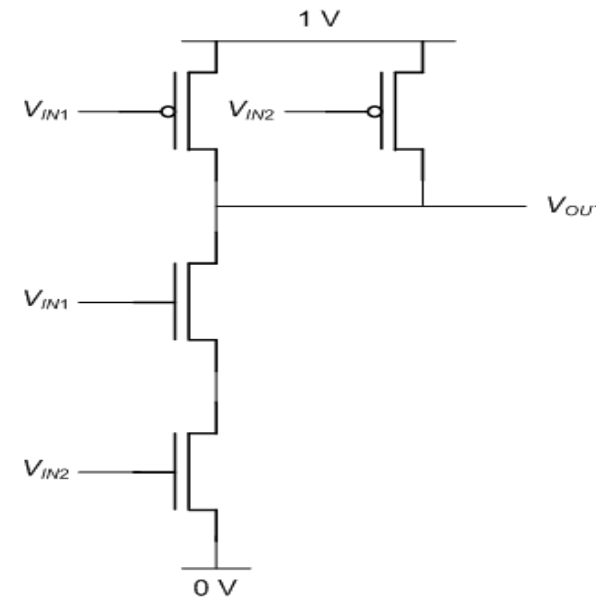


$V_{IN}$	$V_{OUT}$
0 v.	1 v.
1 v.	0 v.

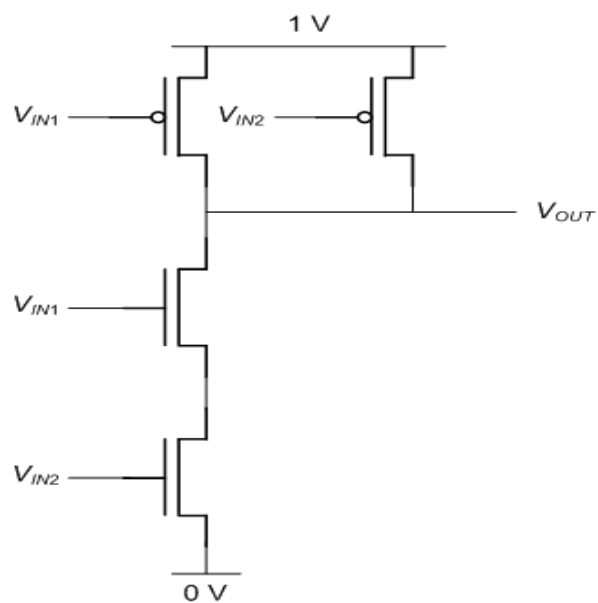


## 2.5 La puerta NAND

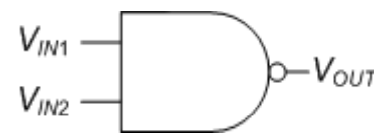
- ( $V_{IN1} = 1V$ ) AND ( $V_{IN2} = 1V$ ):  $V_{OUT} = 0V$   
(los dos interruptores *n*MOS conectados en serie transmiten 0V);
- ( $V_{IN1} = 0V$ ) OR ( $V_{IN2} = 0V$ ):  $V_{OUT} = 1V$   
(por lo menos uno de los interruptores *p*MOS conectados en paralelo transmite 1V)



## 2.5 La puerta NAND



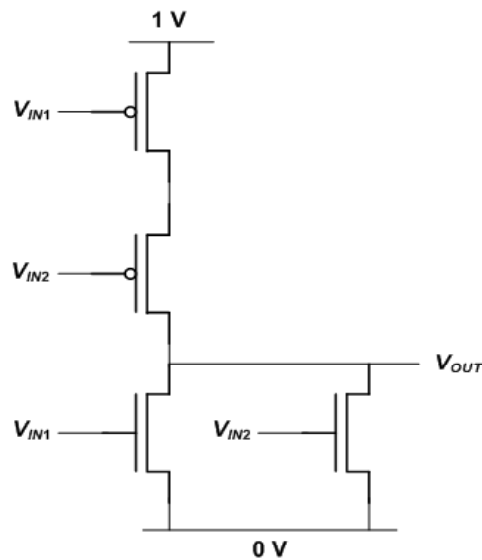
$V_{IN1}$	$V_{IN2}$	$V_{OUT}$
0 v.	0 v.	1 v.
0 v.	1 v.	1 v.
1 v.	0 v.	1 v.
1 v.	1 v.	0 v.



**NAND\_2**

*(quiz)*

¿Qué valor o valores de  $V_{IN1}$  y  $V_{IN2}$  generan una salida  $V_{OUT} = 1$ ?



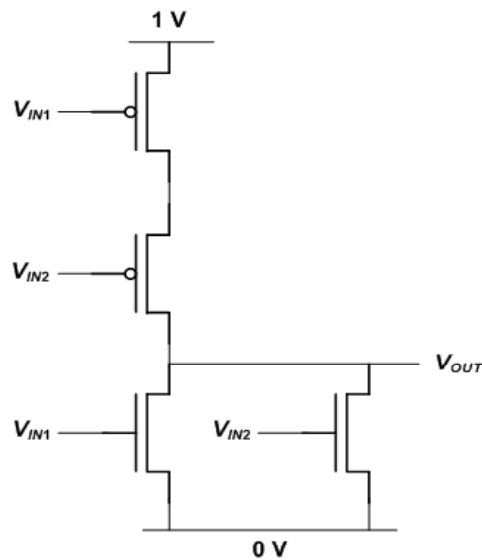
1.  $V_{IN1} = 0, V_{IN2} = 0,$
2.  $V_{IN1} = 0, V_{IN2} = 1,$
3.  $V_{IN1} = 1, V_{IN2} = 0,$
4.  $V_{IN1} = 1, V_{IN2} = 1.$



(quiz)

1.3

¿Cuál es la tabla que refleja el comportamiento del circuito de la figura?



1.

$V_{IN1}$	$V_{IN2}$	$V_{OUT}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

2.

$V_{IN1}$	$V_{IN2}$	$V_{OUT}$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

3.

$V_{IN1}$	$V_{IN2}$	$V_{OUT}$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

4.

$V_{IN1}$	$V_{IN2}$	$V_{OUT}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

## 2.6 Otros componentes

NOR\_2



$V_{OUT} = 0$  ssi (si y sólo si)  
 $V_{IN1} = 1$  OR  $V_{IN2} = 1$

NAND\_3

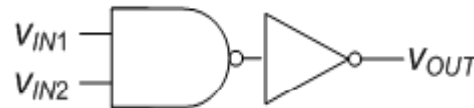


$V_{OUT} = 0$  ssi  $V_{IN1} = V_{IN2} = V_{IN3} = 1$

AND\_2

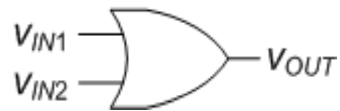


$V_{OUT} = 1$  ssi  $V_{IN1} = V_{IN2} = 1$

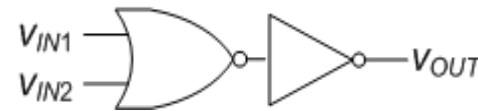


## 2.6 Otros componentes

OR\_2



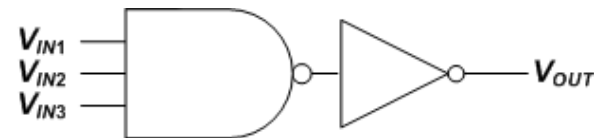
$$V_{OUT} = 1 \text{ ssi } V_{IN1} = 1 \text{ OR } V_{IN2} = 1$$



AND\_3

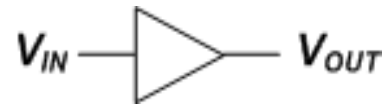


$$V_{OUT} = 1 \text{ ssi } V_{IN1} = V_{IN2} = V_{IN3} = 1$$



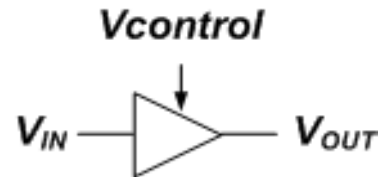
## 2.6 Otros componentes

### BUFFER



$$V_{OUT} = V_{IN}$$

### 3-STATE BUFFER

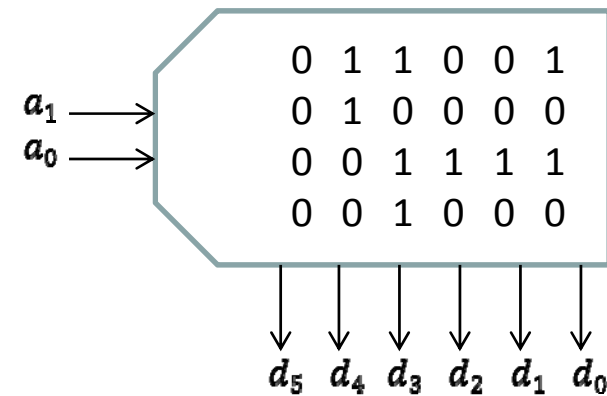
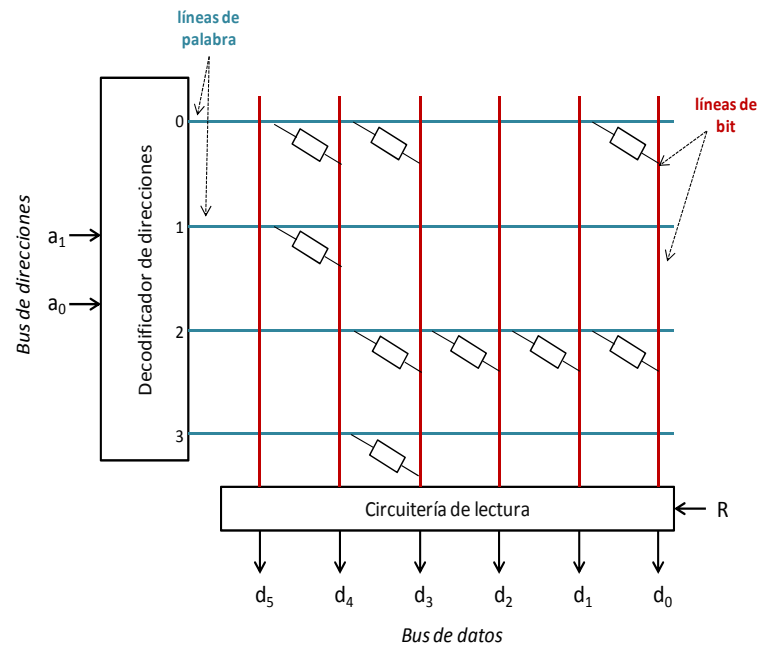


$$V_{control} = 1 \text{ V: } V_{OUT} = V_{IN}$$

$$V_{control} = 0 \text{ V: } V_{OUT} : \text{circuito abierto}$$

## 2.6 Otros componentes

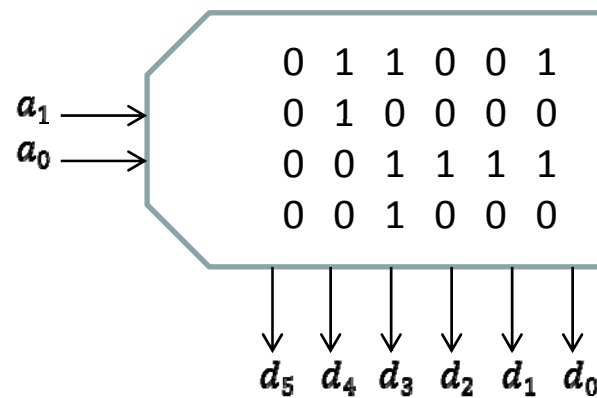
### ROM (Read Only Memory)



## 2.6 Otros componentes

### ROM (Read Only Memory)

ROM de  $2^2=4$  palabras de 6 bits por palabra

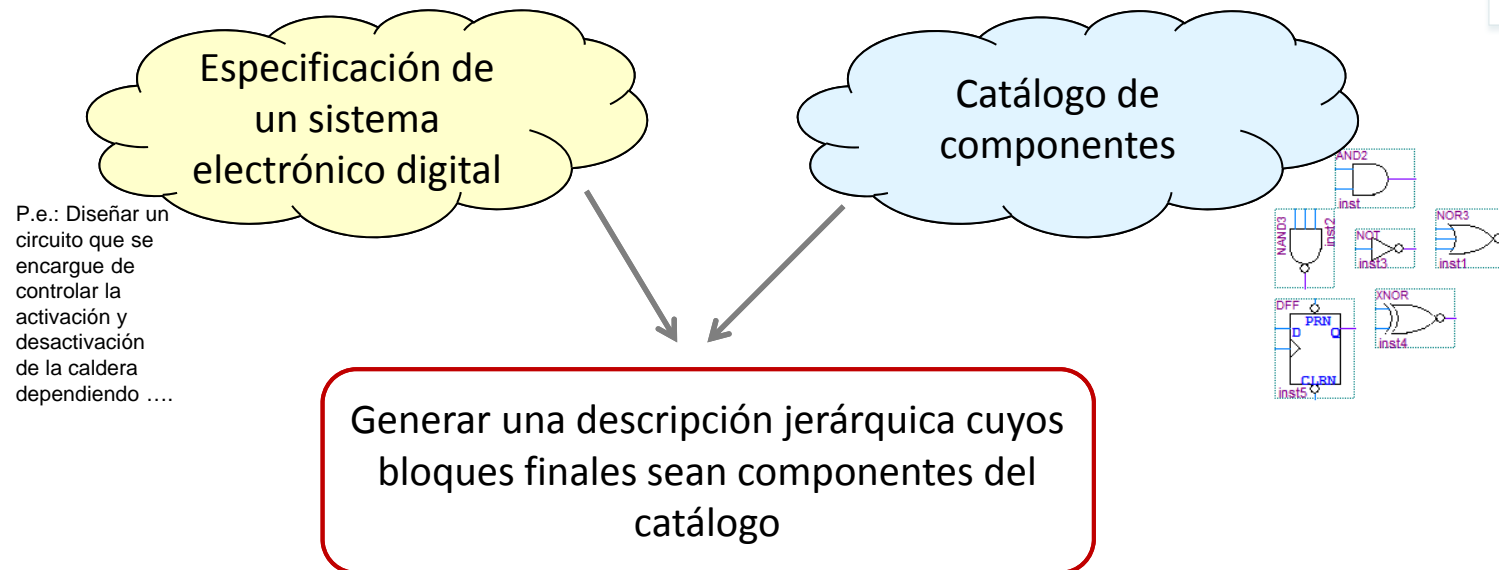


$a_1$	$a_0$	$d_5$	$d_4$	$d_3$	$d_2$	$d_1$	$d_0$
0	0	0	1	1	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	0	0	0

En general: ROM de  $2^n$  palabras,  $m$  bits por palabra (dirección:  $n$  bits)

... a lo largo del curso definiremos otros componentes como los multiplexores, codificadores, decodificadores, latches, flip flops, etc.

### 3 Síntesis de Sistemas Electrónicos Digitales



**TEMA CENTRAL DE ESTE CURSO**

## RESUMEN

- Qué entendemos por un sistema electrónico digital
- Codificación binaria (1s y 0s como valores altos y bajos de tensión)
- Catálogo de componentes
- Objetivo de la síntesis de sistemas electrónicos digitales