

# ÍNDIX

INTRODUCCIÓ.....	3
L'ELECTRÒNICA.....	5
1.-L'ELECTRÒNICA DIGITAL I L'ÀLGEBRA DE BOOLE .....	5
1.1.-EL SISTEMA BINARI.....	5
1.1.1.-Representació binària de la informació.....	5
1.1.2.-Representació elèctrica dels estats binaris.....	6
1.2.-SISTEMES DE NUMERACIÓ.....	6
1.2.1.-Sistema de numeració decimal.....	6
1.2.3.-Sistema hexadecimal.....	6
1.2.2.-Sistema de numeració binari natural.....	7
1.3.-L'ÀLGEBRA DE BOOLE.....	8
1.3.1.-La suma.....	8
1.3.2.-El producte.....	8
1.3.3.-La negació.....	8
1.3.4.-Propietats bàsiques de l'àlgebra de Boole.....	9
1.4.-PORTES LÒGIQUES.....	12
1.4.1.-Taula de la veritat.....	12
1.4.2.-Funció inversió NO (NOT).....	12
1.4.3.-Funció I (AND).....	13
1.4.4.-Funció O (OR).....	13
1.4.5.-Funció O-Exclusiva (EXOR).....	13
1.4.6.-Funcions compostes NO I (NAND), NO O (NOR) i NO O-Exclusiva (EXNOR)....	14
1.5.-CIRCUITS LÒGICS.....	15
1.5.1.-Obtenció de la funció lògica d'un circuit a partir de la seva taula de la veritat.....	15
1.6.-PERSONALITATS DE LA HISTÒRIA DE LES MÀQUINES DE COMPUTAR.....	17
1.6.1.-Charles Babbage.....	17
1.6.2.-Alan Turing.....	19
2.-LA IMPLEMENTACIÓ FÍSICA.....	22
2.1.-Vàlvules de buit.....	22
2.2.-Els Semiconductors.....	23
2.2.1.-Materials Semiconductors.....	23
2.2.2.-Conducció per electrons i forats.....	24
2.2.3.-Semiconductors de tipus n i tipus p.....	24
2.3.-El Transistor.....	25
2.3.1.-Composició interna del transistor.....	26
2.3.2.-Polarització i funcionament del transistor.....	26
2.4.-Les portes lògiques integrades.....	28
2.5.-Dispositius de segon nivell.....	29
2.5.1.-Els Biestables.....	29
2.5.2.-Multiplexors.....	30
3.-PANTALLA DE DOS CARÀCTERS AMB REFRESC.....	32
3.1.- El display.....	33
3.2.- La memòria.....	34
3.3.-La gestió de la memòria.....	35
3.4.-El generador de paraules.....	37
3.5.- El muntatge.....	40
3.6.- Procés, resultats i conclusions del muntatge.....	41

4.-ANNEXOS.....	43
4.1.-Història dels ordinadors.....	43
4.1.1.-Prehistòria.....	43
4.1.2.-Era electrònica.....	44
4.1.3.-Els miniordinadors i els microordinadors.....	51
4.2.- Abecedari del display.....	53
4.3.-Sumari de material.....	55
4.4.-Els Xips.....	57
BIBLIOGRAFIA.....	59

# INTRODUCCIÓ

Aquest treball tracta bàsicament sobre l'electrònica digital, arribant tant a la part pràctica com a la part teòrica, i és fruit de l'interès que sempre m'han causat els aparells electrònics, des dels més complexos, com ordinadors, vídeos, televisors, etc., fins a les màquines elèctriques més simples.

L'objectiu del treball és entendre els principis de l'electrònica digital, el món que l'envolta i allò que se'n deriva, a més d'establir una base a partir de la qual es pugui accedir a coneixements més complexos, per la via de dissenyar virtualment algun dispositiu electrònic complex.

El treball constarà de diverses parts, en primer lloc un apartat de bases teòriques, en el qual es raonarà per què es tria el sistema binari i no un altre, s'exposaran els postulats de l'àlgebra de Boole, que són la base de l'electrònica digital, i es parlarà de Babbage, un matemàtic que va crear la primera computadora mecànica, i d'Alan Turing, pare de la cibernètica moderna.

En segon lloc, es passarà a la part aplicada, explicant la implementació física d'allò que s'ha exposat abans, és a dir, parlant de circuits que treballin amb la lògica binària i compleixin els postulats de l'àlgebra de Boole, com són les vàlvules de buit i els transistors, i explicant les portes lògiques i també de certs dispositius de segon nivell que es poden crear amb aquestes.

A continuació exposaré com vaig dissenyar un dispositiu, i les dificultats amb que em vaig trobar l'hora de fer-ho; per exemple, que havia de treballar amb un programa limitat i, tot i que no formava part dels objectius inicials, em va semblar interessant traduir el disseny virtual en un prototip real, pas en el qual també vaig tenir problemes com falta d'alguns components, etc.

A més a més, la idea inicial era fer un treball sobre microprocessadors, i fer una petita calculadora, però després de molts intents infructuosos vam deixar estar el tema per ser massa complicat, encara que hi vaig dedicar també el seu temps i em vaig haver de llegir alguns llibres força gruixuts, que tot i això m'han servit per establir una base força sòlida a l'hora de canviar de projecte, com serien:

-ACHA, Santiago/A.CASTRO, Manuel/PÉREZ, Julio/A.RIOSERAS, Miguel: *Electrónica Digital. Introducción a la lógica digital*, Editorial Ra-Ma, 2002.

-GUASCH, Miquel/BORREGO Marina: *Electrónica. Credits 1 i 2*. Editorial McGrawHill, 2000.

A part de tot això a l'annex es poden trobar una breu història dels ordinadors, per veure la ràpida evolució d'aquests, en la que tot i simplificar una mica el text s'ha respectat força el redactat original, i també es poden veure unes fotos amb l'abecedari representat en un display fet per mi.

# L'ELECTRÒNICA

L' electrònica és l'estudi i ús de dispositius elèctrics que controlen el flux d'electrons i altres partícules carregades elèctricament en dispositius com ara semiconductors.

Es pot dividir en dues branques, l'electrònica analògica, que pot fer servir senyals elèctrics molt diversos, i l'electrònica digital, que funciona només amb dos valors, un màxim i un mínim; en aquest treball només treballarem la branca digital, a excepció dels semiconductors i els transistors, que en són la base actual.

## **1.-L'ELECTRÒNICA DIGITAL I L'ÀLGEBRA DE BOOLE**

### **1.1.-EL SISTEMA BINARI**

La primera cosa que cal respondre abans d'entrar en matèria és: perquè el sistema binari i no un altre, com l'hexadecimal o el decimal, que és al que estem acostumats?

La resposta és ben senzilla: és cert que amb altres sistemes de numeració és més fàcil operar que amb el sistema binari, però amb aquests sistemes, la creació de circuits físics és tan complicada que el problema d'operar amb el sistema binari es torna ridícul.

És per això i per res més que treballem amb el sistema binari.

#### **1.1.1.-Representació binària de la informació**

Anomenem sistema binari tot aquell circuit les variables del qual només poden prendre dos valors diferents. Aquests valors s'acostumen a anomenar estats, que s'indiquen amb els números 0 i 1, i les variables s'anomenen variables binàries.

## 1.1.2.-Representació elèctrica dels estats binaris

Un dels elements elèctrics més coneguts que només pot tenir dos estats és l'interruptor. Quan l'interruptor és obert no hi ha circulació de corrent (estat 0), però quan l'interruptor és tancat hi circula corrent (estat 1).

Un circuit electrònic digital rep un conjunt de senyals elèctrics que s'anomenen d'entrada (a) que es transformen per obtenir un o diversos senyals elèctrics de sortida (F).

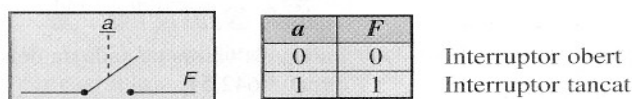


Figura 1: Interruptor

## 1.2.-SISTEMES DE NUMERACIÓ

Anomenem sistemes de numeració els sistemes que es fan servir per tal de quantificar (mesurar quantitats, comptar). Hi ha diversos sistemes, que es diferencien per la base que fan servir, és a dir, pel nombre de símbols que utilitzen per representar quantitats.

### 1.2.1.-Sistema de numeració decimal

Fa servir deu símbols diferents (0,1,2,3,4,5,6,7,8,9) i la seva base val 10.

### 1.2.3.-Sistema hexadecimal

És format per 16 símbols, els deu dígitos decimals i les primeres lletres de l'alfabet (0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F)

## 1.2.2.-Sistema de numeració binari natural

Aquest sistema fa servir només dos símbols (0 i 1) i, a part dels ja mencionats, un altre gran avantatge que té és que qualsevol número es pot reduir a un nombre més o menys gran de zeros i uns.

Es tracta d'un sistema de base 2 i qualsevol nombre expressat en aquest sistema es pot escriure també com un polinomi de potències de 2.

Anomenem bit cada un dels dígit que forma un nombre binari i es compleix que:

$$X = 2^n$$

X: quantitat de nombres diferents que es poden representar

n: nombre de bits que tenim.

### Suma de nombres en binari

Els nombres en binari poden sumar-se i restar-se entre ells de manera molt semblant als nombres en sistema decimal. Els quatre casos bàsics de l'addició binària són:

$$0+0=0$$

$$0+1=1$$

$$1+0=1$$

$$1+1=0 \text{ i un de préstec}$$

### Resta de nombres en sistema binari

Els quatre casos possibles de substracció binària són:

$$0-0=0$$

$$1-0=1$$

$$1-1=0$$

$0 \cdot 1 = 1$  i  $1$  de préstec.

### 1.3.-L'ÀLGEBRA DE BOOLE

L'àlgebra de Boole és una part de l'àlgebra que s'aplica a sistemes en què els elements només poden prendre dos valors possibles: el 0 i l'1.

Només existeixen tres operacions: la suma, el producte i la negació.

#### 1.3.1.-La suma

Es representa així:  $F = a + b$

- Qualsevol variable a la qual se suma 0 dóna com a resultat ella mateixa  $a + 0 = a$
- Qualsevol variable a la qual se suma 1 dóna com a resultat 1  $a + 1 = 1$
- Qualsevol variable sumada a ella mateixa dóna com a resultat ella mateixa  $a + a = a$
- Qualsevol variable (a) sumada a la seva inversa ( $\bar{a}$ ) dóna com a resultat 1  $a + \bar{a} = 1$

#### 1.3.2.-El producte

Es representa així:  $F = a \cdot b$

- Qualsevol variable multiplicada per 0 és igual a 0  $a \cdot 0 = 0$
- Qualsevol variable multiplicada per 1 és igual a ella mateixa  $a \cdot 1 = a$
- Qualsevol variable multiplicada per ella mateixa és igual a ella mateixa  $a \cdot a = a$
- Qualsevol variable multiplicada per la seva inversa és igual a 0  $a \cdot \bar{a} = 0$

#### 1.3.3.-La negació

Es representa així:  $F = \bar{a}$

- Una variable negada i tornada a negar és igual a la variable inicial

$$\bar{\bar{O}} = I$$



$$\bar{1} = 0$$

### 1.3.4-Propietats bàsiques de l'àlgebra de Boole

En aquest apartat s'exposen algunes fòrmules que són útils alhora de fer càlculs en el disseny de circuits, ja que ens permeten simplificar operacions.

#### Propietat commutativa

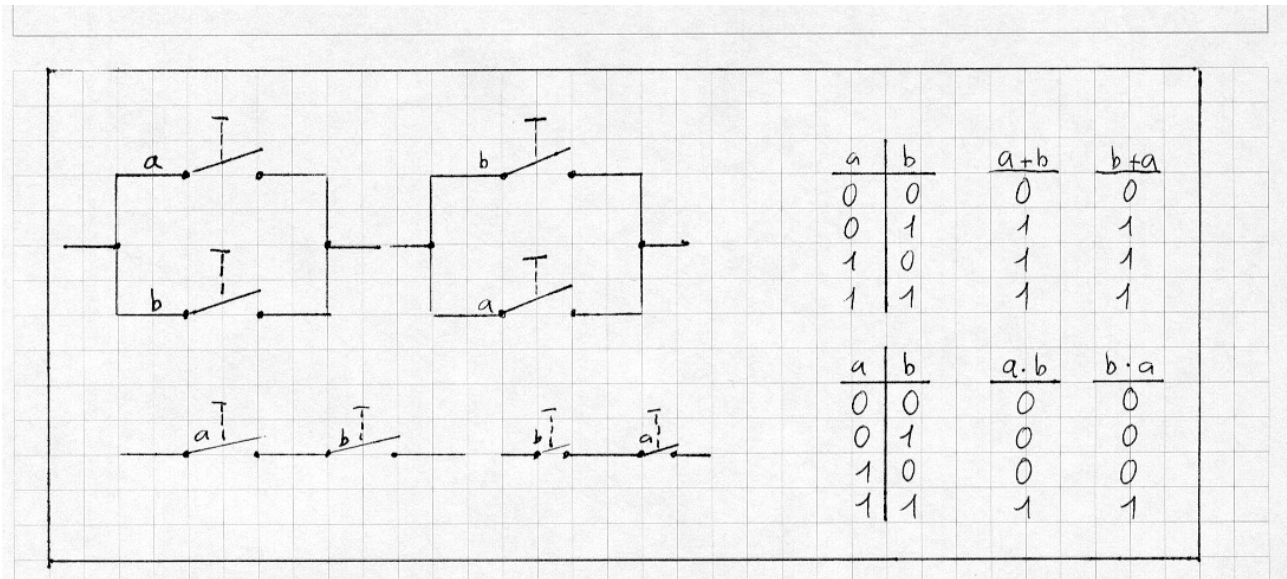


Figura 2: Propietat commutativa

$$a+b = b+a$$

$$a \cdot b = b \cdot a$$

#### Propietat associativa

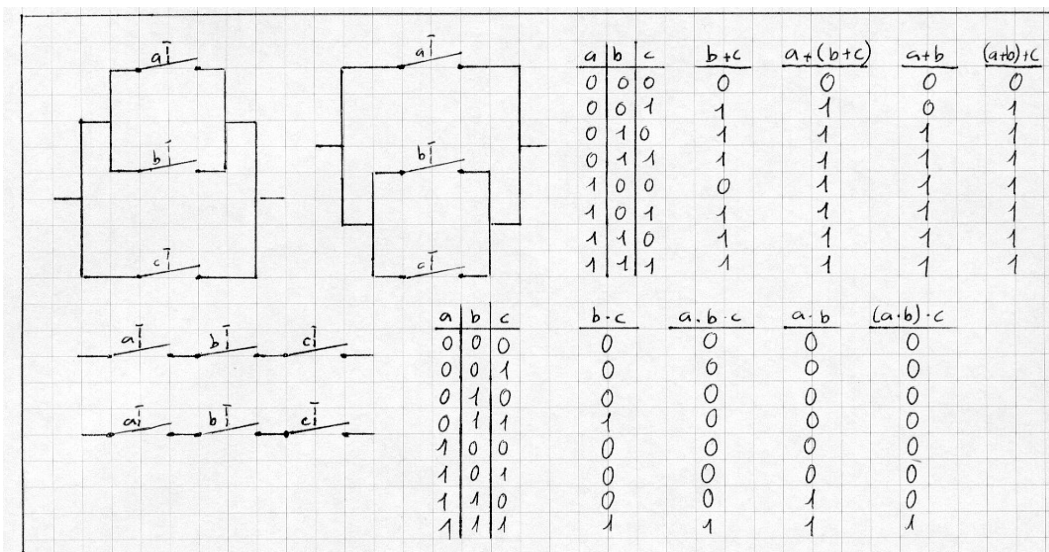


Figura 3: Propietat associativa

$$a+b+c = a+(b+c)$$

$$a \cdot b \cdot c = (a \cdot b) \cdot c$$

### Propietat distributiva

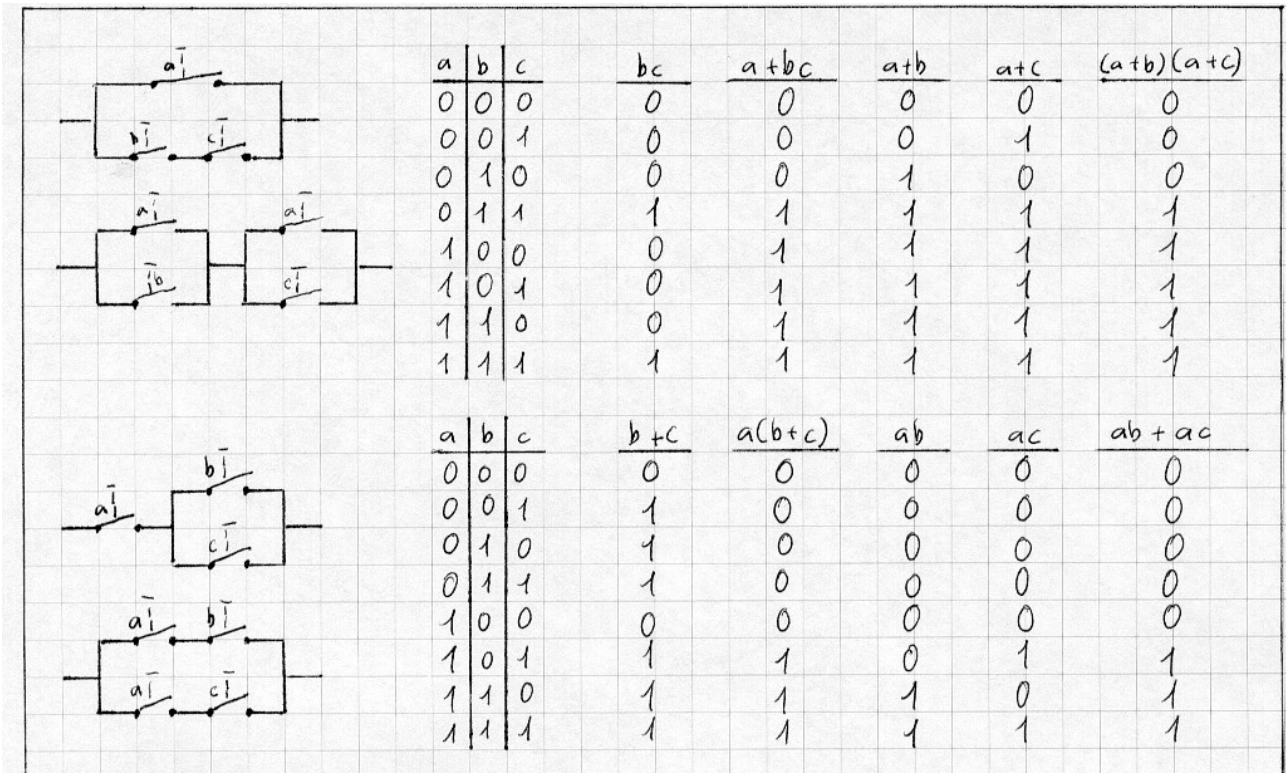


Figura 4: Propietat distributiva

$$a+(b \cdot c) = (a+b)(a+c)$$

$$a(b \cdot c) = a \cdot b + a \cdot c$$

### La llei d'absorció

Si a un valor lògic  $a$  se li suma el producte d'ell mateix per qualsevol altre valor, el resultat és el valor lògic  $a$ :

$$a+a \cdot b = a(1+b) = a1 = a$$

S'acompleix també per a la forma dual:

$$a(a+b) = a \cdot a + a \cdot b = a+a \cdot b = a(1+b) = a1 = a$$

## El teorema de Morgan

Afirma que la inversa d'un producte de variables és igual a la suma de les inverses de cadascuna de les variables:

$$(a \cdot e \cdot i \cdot \dots)_- = \bar{a} + \bar{e} + \bar{i} + \dots$$

També s'acompleix a la forma dual:

$$(a + e + i + \dots)_- = \bar{a} \cdot \bar{e} \cdot \bar{i} \cdot \dots$$

$a$	$b$	$c$	$\bar{a}$	$\bar{b}$	$\bar{c}$	$a + b + c$	$\overline{a + b + c}$	$\bar{a} \bar{b} \bar{c}$
0	0	0	1	1	1	0	1	1
0	0	1	1	1	0	1	0	0
0	1	0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	0
1	0	1	0	1	0	1	0	0
1	1	0	0	0	1	1	0	0
1	1	1	0	0	0	1	0	0

Figura 5: Taula de la veritat

Propietats, lleis i teoremes	Forma bàsica	Forma dual
Commutativa	$a + b = b + a$	$a b = b a$
Associativa	$a + (b + c) = (a + b) + c = a + b + c$	$a (b c) = (a b) c = a b c$
Distributiva	$a + (b c) = (a + b) (a + c)$	$a (b + c) = (a b) + (a c)$
Element neutre	$a + 0 = a$	$a 1 = a$
D'absorció	$a + a b = a$	$a (a + b) = a$
Teorema de Morgan	$\overline{a + b + c + \dots} = \bar{a} \bar{b} \bar{c}$	$\overline{a b c \dots} = \bar{a} + \bar{b} + \bar{c} + \dots$
Altres lleis	$a + \bar{a} b = a + b$ $\bar{a} + a b = \bar{a} + b$ $a b + \bar{a} b c = a b + a c$ $a b + \bar{a} c + b c = a b + \bar{a} c$ $a b + a \bar{b} = a$ $a b + a c = a (b + c)$	$\bar{a} (\bar{a} + b) = \bar{a} b$ $\bar{a} (a + b) = \bar{a} b$ $(a + b) \cdot (a + b + c) = (a + b) \cdot (a + c)$ $(a + b) \cdot (\bar{a} + c) \cdot (b + c) = (a + b) \cdot (\bar{a} + c)$ $(a + b) \cdot (a + b) = a + b$ $(a + b) \cdot (a + c) = a + (b c)$

Figura 6: Propietats, lleis i teoremes de Morgan

## 1.4.-PORTES LÒGIQUES

Les portes lògiques són circuits electrònics molt particulars, construïts de manera que els diferents estats de les variables d'entrada donin a la sortida un estat desitjat i és possible expressar el funcionament d'un circuit lògic utilitzant expressions matemàtiques que segueixen les operacions i els postulats de l'àlgebra de Boole; és el que s'anomena funció lògica.

### 1.4.1.-Taula de la veritat

Alhora de treballar amb circuits, una manera molt còmoda d'analitzar tots els estats possibles de les variables és la taula de la veritat.

Consisteix en una taula que té tantes columnes com variables hi ha (d'entrada i de sortida) i tantes files com combinacions és possible fer amb aquestes variables.

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>F</i>
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Figura 7: Taula de la veritat

### 1.4.2.-Funció inversió NO (NOT)

Inverteix l'estat del senyal que rep.

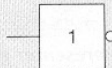
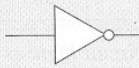
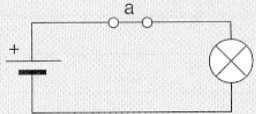
Funcions bàsiques						
Denominació	Funció	Símbol		Taula de veritat		Circuit elèctric equivalent
		DIN	ASA	<i>a</i>	<i>F</i>	
Inversora NO (NOT)	$F = \bar{a}$			0	1	
				1	0	

Figura 8: Funció inversió NO (NOT)

### 1.4.3.-Funció I (AND)

Mostra activada la seva sortida quan tots els senyals d'entrada també estan activats.

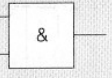
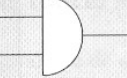
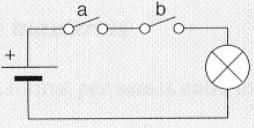
Funcions bàsiques							
Denominació	Funció	Símbol		Taula de veritat			Circuit elèctric equivalent
		DIN	ASA	a	b	F	
Producte I (AND)	$F = a b$			0	0	0	
				0	1	0	
				1	0	0	
				1	1	1	

Figura 9: Funció I (AND)

### 1.4.4.-Funció O (OR)

Només cal que un sol dels senyals d'entrada estigui activat per oferir un senyal de sortida també activat.

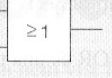

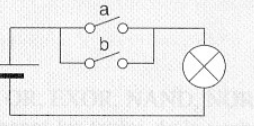
Funcions bàsiques							
Denominació	Funció	Símbol		Taula de veritat			Circuit elèctric equivalent
		DIN	ASA	a	b	F	
Suma O (OR)	$F = a + b$			0	0	0	
				0	1	1	
				1	0	1	
				1	1	1	

Figura 10: Funció O (OR)

### 1.4.5.-Funció O-Exclusiva (EXOR)

La porta ofereix una sortida activa exclusivament quan una sola de les entrades està activada.

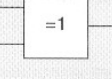

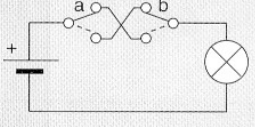
Funcions especials							
Denominació	Funció	Símbol		Taula de veritat			Circuit elèctric equivalent
		DIN	ASA	a	b	F	
Suma Exclusiva O EXCLUSIVA (EXOR)	$F = a \oplus b = \bar{a}b + a\bar{b}$			0	0	0	
				0	1	1	
				1	0	1	
				1	1	0	

Figura 11: Funció O-Exclusiva (EXOR)

### 1.4.6.-Funcions compostes NO I (NAND), NO O (NOR) i NO O-Exclusiva (EXNOR)

La porta NAND és com la porta AND en que tots els senyals de sortida s'han invertit.

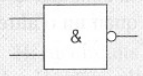
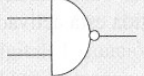
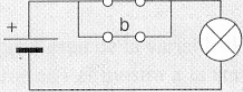
Funcions especials							
Denominació	Funció	Símbol		Taula de veritat			Circuit elèctric equivalent
		DIN	ASA	a	b	F	
Producte negat NO I (NAND)	$F = \overline{a \cdot b}$			0	0	1	
				0	1	1	
				1	0	1	
				1	1	0	

Figura 12: Funció composta NO I (NAND)

Una porta NOR és una porta OR en el qual el senyal resultant s'inverteix abans de sortir del circuit.




Funcions especials							
Denominació	Funció	Símbol		Taula de veritat			Circuit elèctric equivalent
		DIN	ASA	a	b	F	
Suma negada NO O (NOR)	$F = \overline{a + b}$			0	0	1	
				0	1	0	
				1	0	0	
				1	1	0	

Figura 13: Funció composta NO O (NOR)

La funció composta EXNOR correspon a una porta o-exclusiva EXOR seguida d'una inversora NOT.

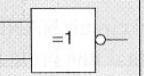

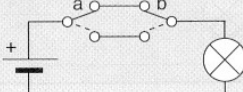
Funcions especials							
Denominació	Funció	Símbol		Taula de veritat			Circuit elèctric equivalent
		DIN	ASA	a	b	F	
Suma Exclusiva negada NO O EXCLUSIVA (EXNOR)	$F = \overline{a \oplus b} = a \cdot b + \overline{a} \cdot \overline{b}$			0	0	1	
				0	1	0	
				1	0	0	
				1	1	1	

Figura 14: Funció composta NO O-Exclusiva (EXNOR)

## 1.5.-CIRCUITS LÒGICS

### 1.5.1.-Obtenció de la funció lògica d'un circuit a partir de la seva taula de la veritat

#### Obtenció en forma de minterms

Suma de productes de resultat 1, on les entrades 0 són termes negats i les entrades 1 són termes positius.

#### Obtenció en forma de maxterms

Multiplicació de sumes on les entrades 0 són termes positius i les entrades 1 són termes negats.

a	b	c	S
0	0	0	0x
0	0	1	0x
0	1	0	1V
0	1	1	1V
1	0	0	1V
1	0	1	0x
1	1	0	1V
1	1	1	0x

MINTERN = Suma de productes de resultat 1 (V)  
on les entrades "0" són termes negats i  
les entrades "1" són termes positius.  
 $\bar{a}\bar{b}\bar{c} + \bar{a}bc + a\bar{b}\bar{c} + abc = S$

MAXTERM = Multiplicació de sumes de resultat 0 (x),  
on les entrades "0" són termes positius i  
les entrades "1" termes negatius.  
 $(a+b+c) \cdot (a+b+\bar{c}) \cdot (a+\bar{b}+\bar{c}) \cdot (\bar{a}+\bar{b}+\bar{c}) = S$

Figura 15: Minterms i maxterms

#### Obtenció de circuits a partir de les formes canòniques d'una funció

Un exemple senzill seria aquest:

-En el cas d'una equació amb minterms, primer s'efectua el producte de variables i després se'n

sumen els resultats.

Fer el producte de variables lògiques equival a que siguin operades en una porta AND, i sumar és al funció que duu a terme una porta OR.

**Exemple:** Tenim un una taula de la veritat amb les variables  $a$ ,  $e$  i  $i$ , i sortida  $F$ , de la qual hem obtingut la següent fòrmula:

$F = \bar{a} \cdot e \cdot \bar{i} + \bar{a} \cdot e \cdot i + a \cdot e \cdot \bar{i}$  Les multiplicacions equivalen a portes AND, i les sumes equivalen a portes OR, de manera que ens queda el següent circuit:

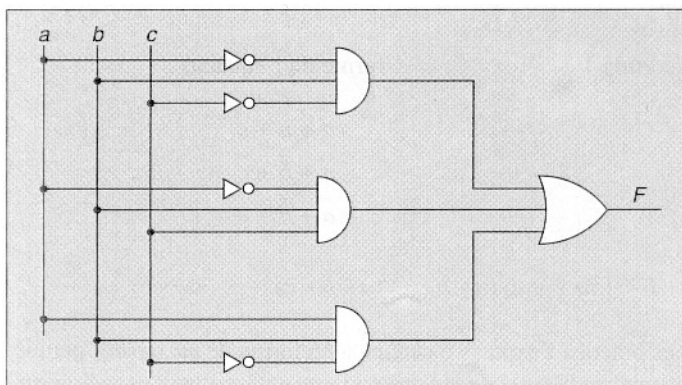


Figura 16: Circuit obtingut



## **1.6.-PERSONALITATS DE LA HISTÒRIA DE LES MÀQUINES DE COMPUTAR**

### **1.6.1.-Charles Babbage**

Charles Babbage fou un matemàtic anglès, proto-científic de la computació i va ser el primer que va tenir la idea de crear un ordinador.

#### **Disseny d'ordinadors**

En l'època de Babbage les taules numèriques eren calculades per humans anomenats *computadors*. A Cambridge, Babbage va veure que aquestes persones cometien un alt índex d'errors i es va proposar trobar un mètode amb el qual les taules numèriques es poguessin calcular mecànicament, impossibilitant els errors humans.

Tres factors sembla que el van influenciar: l'odi al desordre; la seva experiència treballant amb taules logarítmiques i l'existència d'intents de crear màquines calculadores duts a terme per Wilhelm Schickhard, Blaise Pascal i Gottfried Leibniz.

Les màquines de Babbage es troben entre els primers computadors mecànics, però no en va arribar a completar mai cap, bàsicament a causa de falta de fons i a problemes personals. Tot i això, Babbage es va adonar que una màquina podia fer la feina molt millor i amb més fiabilitat que un humà, i va controlar la construcció d'algunes màquines de vapor que més o menys feien la seva feina, demostrant que els càlculs es podien mecanitzar en certa manera.

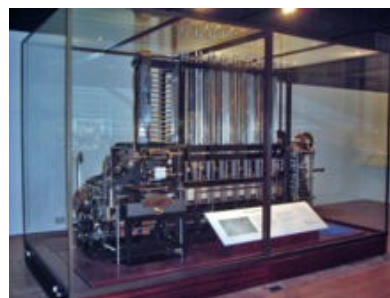
Encara que les màquines de Babbage eren monstres mecànics, la seva arquitectura bàsica era increïblement semblant a la dels ordinadors d'avui dia. La memòria de dades i la dels programes es trobaven separades, les operacions es basaven en instruccions, la unitat de control podia fer bifurcacions i la màquina tenia separada la unitat d'entrada/sortida.

## Màquina diferenciadora

El que seria el treball de la seva vida començà el 1822 amb el que ell va anomenar màquina diferenciadora, feta per computar valors a partir de funcions polinòmiques.

A diferència d'altres intents de l'època, la màquina de Babbage havia estat creada per calcular sèries de valors automàticament, utilitzant el mètode de les diferències finites, amb el qual es podia evitar la necessitat de multiplicar i dividir.

La primera màquina diferenciadora necessitava 25000 peces d'un pes combinat de 15 tones i 8 peus d'alt, però, tot i rebre moltes donacions, no va completar el projecte. Més endavant va millorar-la a la màquina diferenciadora núm.2. Aquesta no es va construir en aquell moment, però fent-ne servir els plànol i segons les toleràncies que es podien aconseguir al segle XIX, se'n va construir una entre 1989 i 1991, que va efectuar el seu primer càlcul al Museu de Ciència de Londres i donà un resultat de 32 dígit, molt més que les calculadores de butxaca actuals.



*Figura 17: La rèplica de la màquina diferenciadora dissenyada per Babbage, del Museu de Ciència de Londres*

## Màquina analítica

Després del fracàs amb la màquina diferenciadora, Babbage va començar un nou projecte, una màquina anomenada analítica. Aquesta no era una simple màquina física, sinò una successió de dissenys amb els que va seguir fent proves fins a la seva mort al 1871.

La principal diferència entre les dues màquines és que la màquina analítica podia ser programada amb targetes perforades, una idea inexistent a l'època. Babbage s'havia adonat que els programes es

podien crear en targetes perforades i així tan sols s'havia de crear el programa prèviament, posar les targetes a la màquina i deixar-la fer.

També es volia que la màquina analítica pogués fer servir rotlles de targetes perforades Jacquard per controlar una calculadora mecànica, que formularia resultats basats en les computacions precedents, i hauria sigut la primera màquina en complir amb les lleis de Turing, encara no formulades.

### **1.6.2.-Alan Turing**

Alan Mathison Turing (23 de juny de 1912- 7 de juny de 1954) fou un matemàtic britànic. Per encàrrec dels serveis d'intel·ligència britànics i al llarg de la Segona Guerra Mundial, va treballar en camps com la informàtica teòrica, la criptoanàlisi o la intel·ligència artificial. Se'l considera el pare de la informàtica moderna.

Algunes de les seves principals aportacions a la informàtica teòrica i a la intel·ligència artificial van ser la màquina de Turing, la computabilitat universal o el test de Turing. Va ser el primer científic que va usar computadores amb aplicacions a la matemàtica.

#### **Màquina de Turing**

La màquina de Turing és un model computacional introduït per Alan Turing en el treball "On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem", publicat per la Societat Matemàtica de Londres, en el qual s'estudiava la qüestió plantejada per David Hilbert sobre si les matemàtiques són decidibles, és a dir, si hi ha un mètode definit que pogui aplicar-se a qualsevol sentència matemàtica i que ens digui si és certa o no. Turing va construir un model formal de computador, la màquina de Turing, i va demostrar que existien problemes que una màquina no podia resoldre. La màquina de Turing és un model matemàtic abstracte que formalitza el concepte d'algoritme.

## Descripció



*Figura 18: Màquina de Turing*

La màquina de Turing consta d'un capçal lector/escriptor i una cinta infinita en què el capçal llegeix el contingut, esborra el contingut anterior i escriu un nou valor. Les operacions que es poden realitzar en aquesta màquina es limiten a:

- avançar el capçal lector/escriptor cap a la dreta;
- avançar el capçal lector/escriptor cap a l'esquerra;

El còmput és determinat a partir d'una taula d'estats de la forma:

(estat, valor)  $\rightarrow$  (\nou estat, \nou valor, direcció)

Aquesta taula pren com a paràmetre l'estat actual de la màquina i el caràcter llegit de la cinta, donant la direcció per a moure el capçal, el nou estat de la màquina i el valor a ser escrit en la cinta.

Amb aquest aparell extremadament senzill és possible realitzar qualsevol còmput que un computador digital sigui capaç d'efectuar.

De fet, es pot provar matemàticament que per a qualsevol programa de computador és possible crear una màquina de Turing equivalent.

La idea subjacent en el concepte de màquina de Turing és una persona executant un procediment efectiu definit formalment, on l'espai de memòria de treball és il·limitat, però en un moment determinat només una part finita és accessible. La memòria es divideix en espais de treball

denominades cel·les, on es poden llegir i escriure símbols. Inicialment totes les cel·les contenen un símbol especial denominat "blanc". Les instruccions que determinen el funcionament de la màquina tenen la forma, "si estem en l'estat  $x$  llegint la posició  $y$ , on hi ha escrit el símbol  $z$ , llavors aquest símbol ha de ser reemplaçat per aquest altre símbol, i passar a llegir la cel·la següent, bé a l'esquerra bé a la dreta". La màquina de Turing pot considerar-se com un autòmata capaç de reconèixer llenguatges formals.

## **Màquina Universal de Turing**

Una màquina de Turing computa una determinada funció parcial de caràcter definit i unívoca, definida sobre les successions de possibles cadenes de símbols del seu alfabet. En aquest sentit es pot considerar com equivalent a un programa d'ordinador, o el que és el mateix, a un algorisme. No obstant, és possible realitzar una codificació de la taula que representa una màquina de Turing com una successió de símbols en un determinat alfabet; per aixó, podem construir una màquina de Turing que accepti com entrada la taula que representa a una altra màquina de Turing i que simuli el seu comportament.

L'any 1947, Turing va indicar:

*Es pot demostrar que és possible construir una màquina especial d'aquest tipus que pugui realitzar el treball de totes les altres. Aquesta màquina especial es pot denominar màquina universal.*

Aquesta fou possiblement, la idea germinal del concepte de Sistema operatiu, un programa que pot executar altres programes i controlar-los, demostrant la seva existència i obrint camí per la seva construcció real.

## **2.-LA IMPLEMENTACIÓ FÍSICA**

Ara que hem assumit que el sistema binari és el més senzill d'operar, que sabem com extreure circuits físics de taules de la veritat, i que és possible construir màquines que poden funcionar amb codi binari i que poden fer el treball de totes les altres, per tant el següent pas és veure com es construeixen els componets més bàsics que ens permeten la construcció d'aquestes màquines.

### **2.1.-Vàlvules de buit**

Les vàlvules o tubs de buit, també anomenades vàlvules termoióniques van ser els primers díodes. Estaven constituïdes per dos o més elèctrodes envoltats de buit en un tub de cristall, amb un aspecte semblant al de les làmpades incandescents. L'invent va ser realitzat el 1904 per John Ambrose Fleming, de l'empresa Marconi, basant-se en observacions realitzades per Thomas Alva Edison.

Igual que les làmpades incandescents, els tubs de buit més senzills tenen un filament (el càtode) a través del qual circula el corrent, escalfant-lo per efecte joule. El filament està tractat amb òxid de bari, de manera que al escalfar-se emet electrons al buit circumdant; electrons que són conduïts electrostàticament cap a una placa metàl·lica carregada positivament (l'ànode), produint-se així la conducció. Evidentment, si l'ànode no s'escalfa, no podrà cedir electrons al buit circumdant, per la qual cosa el pas del corrent en sentit invers es veu impedit.

Les vàlvules de buit van ser les primeres portes lògiques que van existir, però, com amb les primeres bombetes d'Edisson, al funcionar amb buit tenien una vida molt curta i eren poc eficients i encara que aquests díodes encara s'empren en certes aplicacions especialitzades, la majoria dels díodes moderns es basen en l'ús de materials semiconductors, especialment en electrònica.

## 2.2.-Els Semiconductors

Un semiconductor és un material la conductivitat del qual oscil·la entre la d'un conductor i un aïllant.

En el camp de l'electrònica, l'ús de materials semiconductors és essencial, ja que ens permeten controlar la conductivitat d'acord amb la seva estructura interna.

### 2.2.1-Materials Semiconductors

Els materials semiconductors es caracteritzen pel fet de tenir quatre electrons a l'última òrbita (tetravalents).

Si deixem solidificar un element d'aquests prèviament fos, com que en estat líquid tots els seus àtoms tenen mobilitat, en solidificar-se es disposaran en una estructura ordenada anomenada cristall.

Perquè un àtom adquireixi una estructura estable, cal que tingui vuit electrons en l'òrbita de valència. Els semiconductors ho aconsegueixen en compartir els seus quatre electrons de valència amb quatre d'àtoms propers. Aquest tipus d'enllaç s'anomena covalent i proporciona forces atractives molt grans entre els diferents àtoms.

A temperatura ambient i per agitació tèrmica, el cristall aconsegueix prou energia per alliberar algun dels electrons de valència, que es mou de manera aleatòria pel cristall gràcies a l'energia tèrmica i apareix en l'enllaç l'absència d'un electró, que s'anomena forat.

### **2.2.2.-Conducció per electrons i forats**

Si apliquem als extrems d'un material semiconductor una diferència de potencial, els electrons lliures seran atrets pel potencial positiu de la pila, i els forats es desplaçaran cap al pol negatiu per recombinar-se amb els electrons que subministra la pila.

### **2.2.3.-Semiconductors de tipus $n$ i tipus $p$**

La conductivitat en un semiconductor pur (intrínsec) depèn del nombre d'electrons i forats que tingui, que és variable i està lligat a factors externs (temperatura, llum...).

Per augmentar la conductivitat dels semiconductors purs, s'hi afegeixen impureses, es dopen, i passen a anomenar-se extrínsecs.

Les impureses són àtoms que, afegits al semiconductor pur, formen part de la seva estructura cristal·lina i n'augmenten la conductivitat. Segons la impuresa amb que es dopa els semiconductors, aquests passen a anomenar-se semiconductors de tipus  $n$  o semiconductors de tipus  $p$ .

#### **Semiconductors de tipus $n$**

S'aconsegueixen afegint impureses amb cinc electrons en la capa de valència (pentavalents).

Com que la impuresa té cinc electrons i solament en necessita quatre per fer els enllaços amb els àtoms propers, hi ha un electró lliure.

El cristall format d'aquesta manera s'anomena  $n$  per la càrrega negativa de l'electró, i donador, perquè dona electrons.



## **Semiconductors de tipus $p$**

Si a un semiconductor pur li afegim impureses amb tres electrons a l'última capa de valència (trivalents), obtindrem un semiconductor de tipus  $p$ .

En formar-se els enllaços, l'àtom de la impuresa s'uneix a quatre àtoms de semiconductors pròxims, però, al faltar un electró, hem creat dins de l'estructura cristal·lina un forat. El cristall format així s'anomena de tipus  $p$ , per la càrrega positiva del forat, i acceptor, ja que accepta electrons.

### **2.3.-El Transistor**

El transistor (*transfer-resistor*) és un dispositiu electrònic que pot variar la seva resistència interna segons el corrent d'entrada, fent que el corrent que circula a través d'ell variï. S'utilitza per a l'amplificació i la commutació, i té tres terminals: un petit corrent o voltatge aplicat a un dels terminals controla el corrent als altres dos. El transistor és el component principal de tota l'electrònica moderna.

En els circuits digitals, el transistor s'utilitza com un interruptor elèctric molt ràpid, i l'organització sistemàtica dels transistors permet que funcionin com a portes lògiques, memòries tipus RAM i microprocessadors.

Als circuits analògics els transistors s'usen com a amplificadors. Els amplificadors d'audio, les fonts d'alimentació estabilitzades i els amplificadors de freqüència són circuits analògics que duen transistors.

### 2.3.1.-Composició interna del transistor

El transistor bipolar consisteix en dues peces formades per un cristall  $p$  i un  $n$  contraposades i contingudes en un mateix cristall semiconductor, és a dir, dues regions tipus  $n$  separades per una zona  $p$  o viceversa ( $pn$  i  $nnp$ ).

La zona central es denomina base (B). Per aconseguir un funcionament correcte ha de tenir un gruix d'uns cinquanta micròmetres i ha d'estar molt poc dopada.

Les altres dues zones s'anomenen emissor (E) i col·lector (C). Són del mateix tipus i contràries en dopatge al material de què està constituïda la base i la concentració d'impureses és unes cent vegades superior a la base.

### 2.3.2.-Polarització i funcionament del transistor

Per tal que els transistors funcionin, la junció emissor-base (E-B) haurà d'estar polaritzada directament i la junció base-col·lector (B-C) haurà d'estar polaritzada inversament.

La polarització d'un transistor consisteix a aplicar al transistor les fonts d'alimentació perquè les unions estiguin polaritzades correctament i col·locar les resistències que ens limitin els corrents.

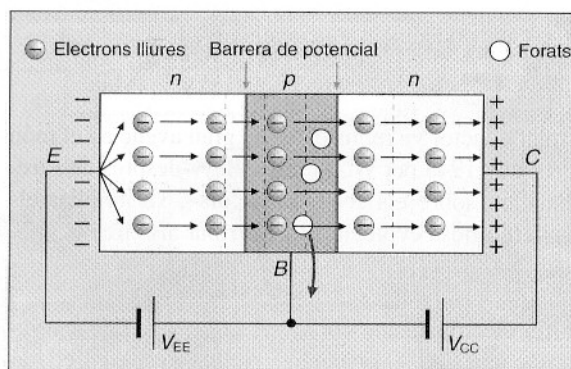


Figura 19: Polarització directa

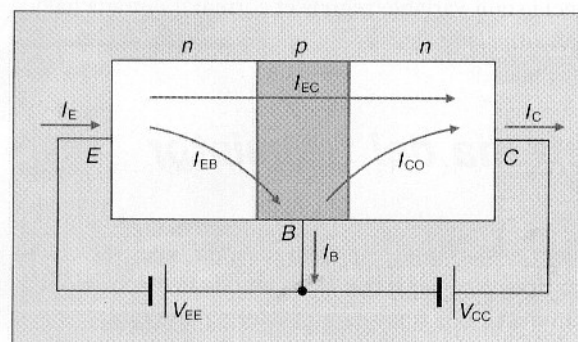


Figura 20: Polarització directa

En un transistor npn, en polaritzar-se directament la junció emissor-base, el pol negatiu de la pila injecta electrons a l'emissor i això fa que els portadors majoritaris (electrons) de la zona de l'emissor i propers a la junció assoleixin prou energia per travessar-la. En arribar a la base, alguns d'aquests electrons es recombinen amb els pocs forats existents, ja que la base és molt estreta i està poc dopada, i surten per la base; la resta són atrets pel camp elèctric del col·lector i també creuen la junció base-collector i circulen pel circuit exterior fins a arribar al pol positiu de la font.

En cada una de les juncions també hi ha un corrent a causa dels portadors minoritaris. En la junció BC, que està polaritzada inversament, hi ha un corrent que se'n va per la base.

En un transistor pnp, en polaritzar-se directament la junció emissor base, els forats existents en la zona p són repel·lits pel potencial positiu de la font, que els subministra prou energia perquè travessin l'estreta barrera de potencial existent. En arribar a la base, alguns forats es recombinen amb els pocs electrons lliures existents i la resta seran atrets pel potencial negatiu del col·lector, on els forats seran neutralitzats pels electrons de la font.

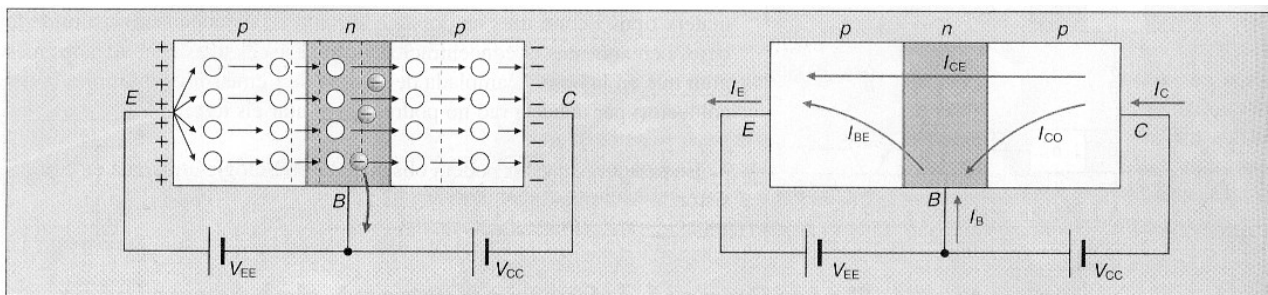


Figura 21: Polarització indirecta

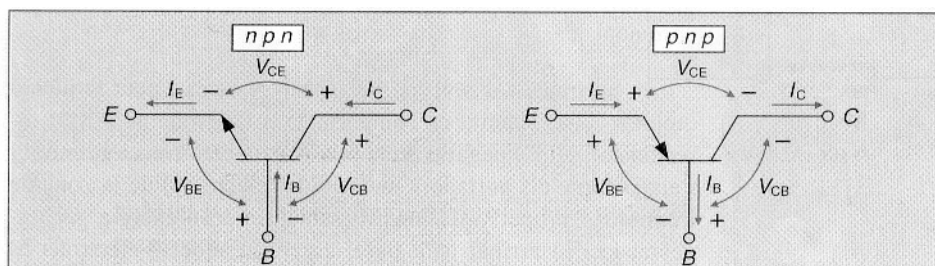


Figura 22: Esquema general

## 2.4-Les portes lògiques integrades

Ara que ja sabem com funciona un transistor, podem passar a veure com combinant aquests amb la teoria de les portes lògiques, i amb una mica d'imaginació, es poden crear uns circuits que actuen com aquestes últimes, com per exemple el circuit que es mostra a continuació:

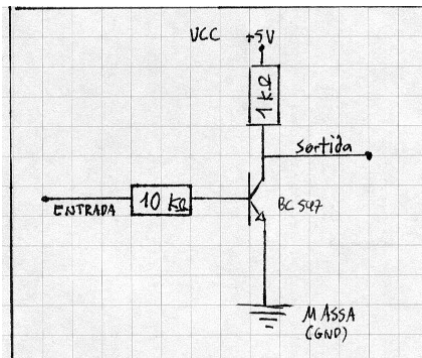


Figura 23: Porta NOT

Això seria un exemple de porta NOT, en què si jo poso corrent a la base del transistor, que seria l'entrada de la porta, obro el pas de corrent cap a massa i per tant se me'n va el voltatge, és a dir, si l'entrada és 1 (corrent), la sortida és zero i viceversa.

## 2.5-Dispositius de segon nivell

Ara que ja tinc portes lògiques físiques, em puc plantejar de fer dispositius més complexos, combinant adequadament aquestes portes.

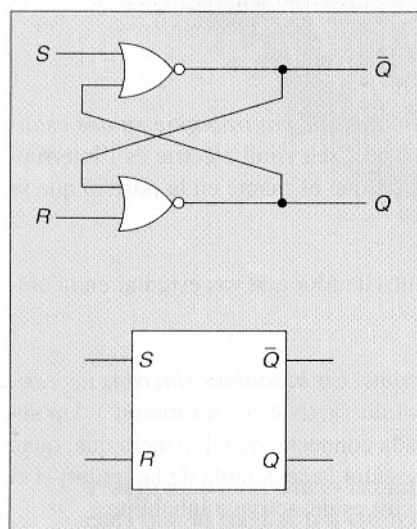
Exemples d'aquests dispositius són els biestables i els multiplexors.

### 2.5.1-Els Biestables

Un biestable és un circuit digital que pot tenir dos estats, els seu símil elèctric és l'interruptor, i té memòria, ja que manté la posició en què es troba fins que alguna acció el fa canviar.

Tot i que hi ha molts tipus de biestables, només tocarem el biestable D síncronactivat per nivell de tensió, que vol dir que incorpora una entrada de rellotge.

Aquest biestable deriva d'un altre anomenat RS i que té aquesta estructura:



Esquema i símbol d'un biestable RS

$Q_n$	$S$	$R$	$Q_{n+1}$
0	0	0	0 el senyal de sortida no varia
1	0	0	1 (el biestable "memoritza")
0	1	0	1 posada a 1 de la sortida (SET)
1	1	0	1 posada a 1 de la sortida (SET)
0	0	1	0 posada a 0 de la sortida (RESET)
1	0	1	0 posada a 0 de la sortida (RESET)
0	1	1	?
1	1	1	?

Figura 24: Esquema, símbol i taula de la veritat d'un biestable RS

Però en aquest biestable es donaven els inconvenients que es necessitaven dues entrades, i que no es

podia donar el cas  $R=S=1$ , per la qual cosa es va millorar afegint-hi la senyal de rellotge i reduint el nombre d'entrades:

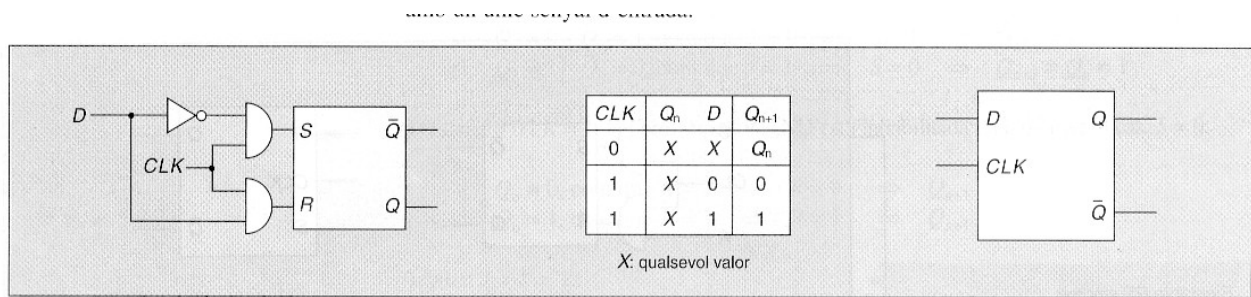


Figura 25: Esquema, taula de la veritat i símbol d'un biestable D

El funcionament consisteix en què quan jo tinc el rellotge (CLK) connectat, degut al *feedback* o *retroalimentació* que hi ha al portar la sortida de cada una de les portes NOR a una entrada de l'altra, es produeix un retard en el flux d'electrons que provoca que es guardi el bit de l'entrada si desconnecto el rellotge, produint així un efecte de memòria similar al de l'interruptor.

La porta NOT afegida em permet treballar amb només el bit que vull guardar, cosa que és un gran avantatge respecte d'altres biestables.

## 2.5.2.-Multiplexors

Un multiplexor és un circuit lògic combinacional amb moltes entrades i una sortida, a més d'uns senyals de control, que ens permeten seleccionar l'entrada que volem que aparegui a la sortida.

Aquests aparells resulten essencials a l'hora de manipular memòries i ara veurem un model de dues entrades:

### *Multiplexor de dues entrades*

El multiplexor es caracteritza per tenir dues línies d'entrada, una línia de selecció i una de sortida.

En el multiplexor, les entrades són  $I_0$  i  $I_1$  i la selecció ve donada pel valor d'entrada  $S$ . El valor de sortida  $Y$  depèn dels valors lògics introduïts en  $I_0$ ,  $I_1$  i  $S$ .

La taula de veritat seria:

S	Y
0	$I_0$
1	$I_1$

Figura 26: Taula de la veritat d'un multiplexor de dues entrades

I el circuit lògic seria:

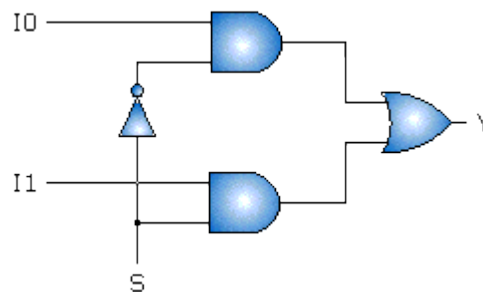


Figura 27: Multiplexor 2 a 1

Una curiositat dels multiplexors és que si jo agafó dos multiplexors amb el mateix nombre d'entrades, ajunto cada entrada de control d'un multiplexor amb la seva respectiva de l'altre i introdueixo les sortides dels dos multiplexors en un multiplexor de dues entrades, aconseguixo un model el doble de gran

### 3.-PANTALLA DE DOS CARÀCTERS AMB REFRESC

A l'hora de fer un muntatge pràctic em vaig decantar per fer un sistema que tingués dues pantalles per les quals anirien passant una sèrie de caràcters que conformessin un text.

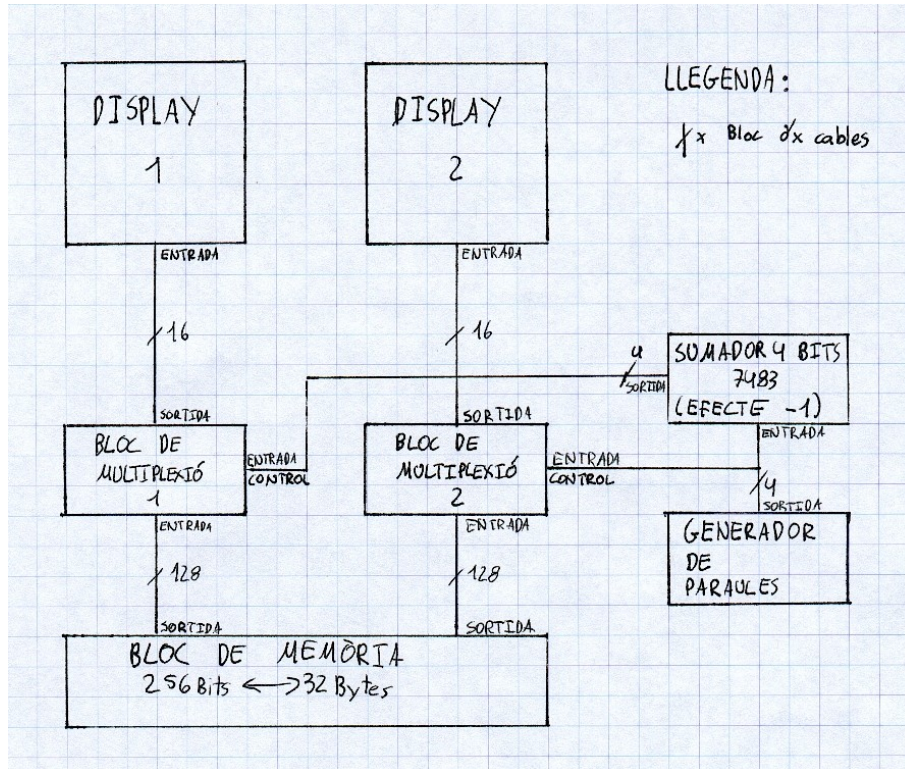


Figura 28: Esquema general

Per a construir això necessitava fer moltes coses, entre les quals es troben:

- 1.- Dissenyar els displays o pantalles, perquè poguessin representar els símbols que a mi m'interessessin.
- 2.- Establir una memòria que em permetés emmagatzemar els bits, que introduïts en el display, en l'ordre adequat, em permetessin representar els caràcters desitjats.
- 3.- Dissenyar un sistema que em permetés canviar els bits que s'estan introduint al display, per tal de poder representar els diferents símbols emmagatzemats a les memòries.
- 4.- Finalment havia de dissenyar un circuit que em permetés introduir el temps en el muntatge, per tal que els símbols a la pantalla s'anessin succeint automàticament.



Degut a que el programa d'ordinador era una versió antiga i limitada de prestacions, la versió dissenyada amb aquest és una mica més senzilla, però això no suposa cap problema, ja que fer-la més complexa tansols consisteix a duplicar el nombre de components.

### 3.1.- El display

La definició de display o pantalla és la d'un dispositiu que permet llegir més fàcilment els resultats de sortida d'un circuit.

En el meu cas ho he fet al revés: primer he dissenyat el display, i després he adaptat el circuit a aquest. Primer havia de fer un circuit amb  $x$  entrades, cadascuna de les quals encendria una o més bombetes, que posades en l'ordre adequat, formarien símbols:



Figura 29: Símbol del display

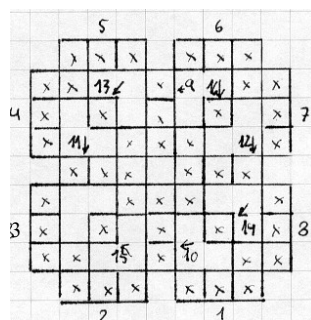


Figura 30: El display

Com que volia que el display pogués representar força caràcters, tot i que en la “demo” no se'n fan servir massa, vaig decantar-me per fer un display compost de 16 parts, cadascuna formada per tres díodes led, que són com bombetes:

La disposició dels leds seria la de les caselles marcades amb una creu, fent grups de tres horitzontals, verticals i diagonals, i els números són l'ordre que han de seguir els bits.

Per exemple, la lletra A seria aquesta: 00 11 11 11 00 11 00 00 (vegeu l'annex 4.2).

Entenent que 0 vol dir apagat i 1 encès, posant aquesta combinació de números s'encenen els grups

3,4,5,6,7,8,11 i 12, que, com es pot comporvar, conformen la lletra A.

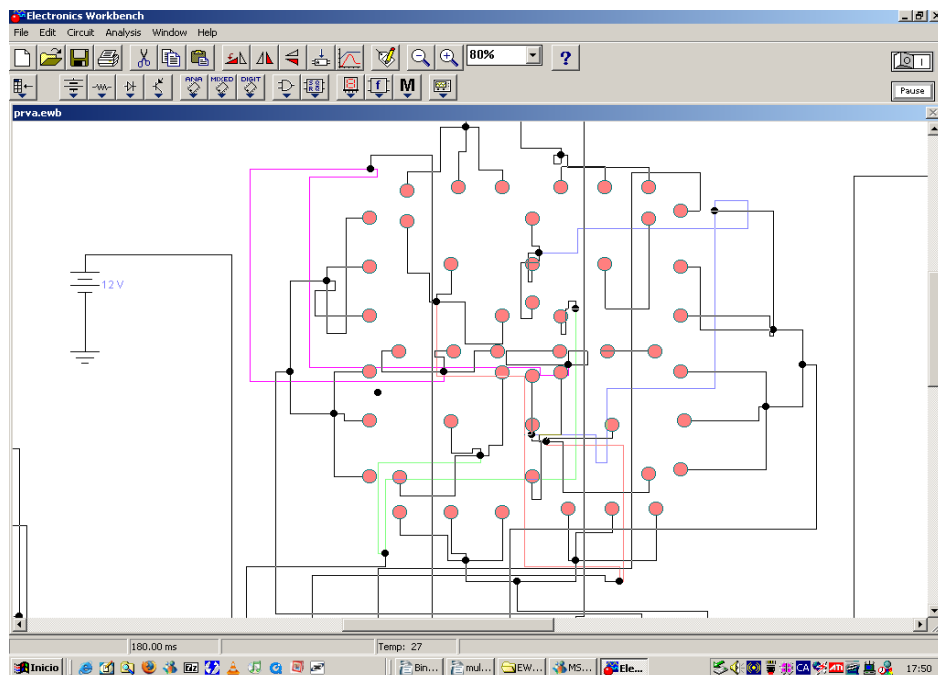


Figura 31: El display a Electronics Workbench

### 3.2.- La memòria

Ara que ja tinc com representar la informació, he de pensar quina quantitat en vull, i vaig decidir que un text de 16 lletres estava força bé, ja que 16 lletres a 16 dígits la lletra són 256 bits, que cal emmagatzemar en algun lloc.

Aquí és on entren els biestables, cadascun dels quals em permet guardar 1 bit i que trobo de dos en dos en l'integrat anomenat 7474.

El text que vull representar és I\_E\_S\_MAREMAR, i per tant l'estructura serà:

I = 11 00 11 00 11 00 00 00    \_\_ = 01 00 00 00 00 00 00 00

E = 11 11 11 00 10 00 00 00    \_\_ = 01 00 00 00 00 00 00 00

S = 11 01 11 01 11 00 00 00    \_\_ = 01 00 00 00 00 00 00 00

Espai: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 M = 00 11 00 11 00 00 10 01

A = 00 11 11 11 00 11 00 00 R = 00 11 11 10 00 10 01 00

E = 11 11 11 00 10 00 00 00 M = 00 11 00 11 00 00 10 01

A = 00 11 11 11 00 11 00 00 R = 00 11 11 10 00 10 01 00

I em sobren dues lletres que són tot 0.

Com que cada lletra està formada per 16 bits, les memòries les agrupo en blocs de 16 biestables i per motius que explicaré en el següent apartat, a cada bloc de 16 poso el primer número de cada lletra, al segon bloc de 16 biestables el segon número de cada lletra i així successivament.

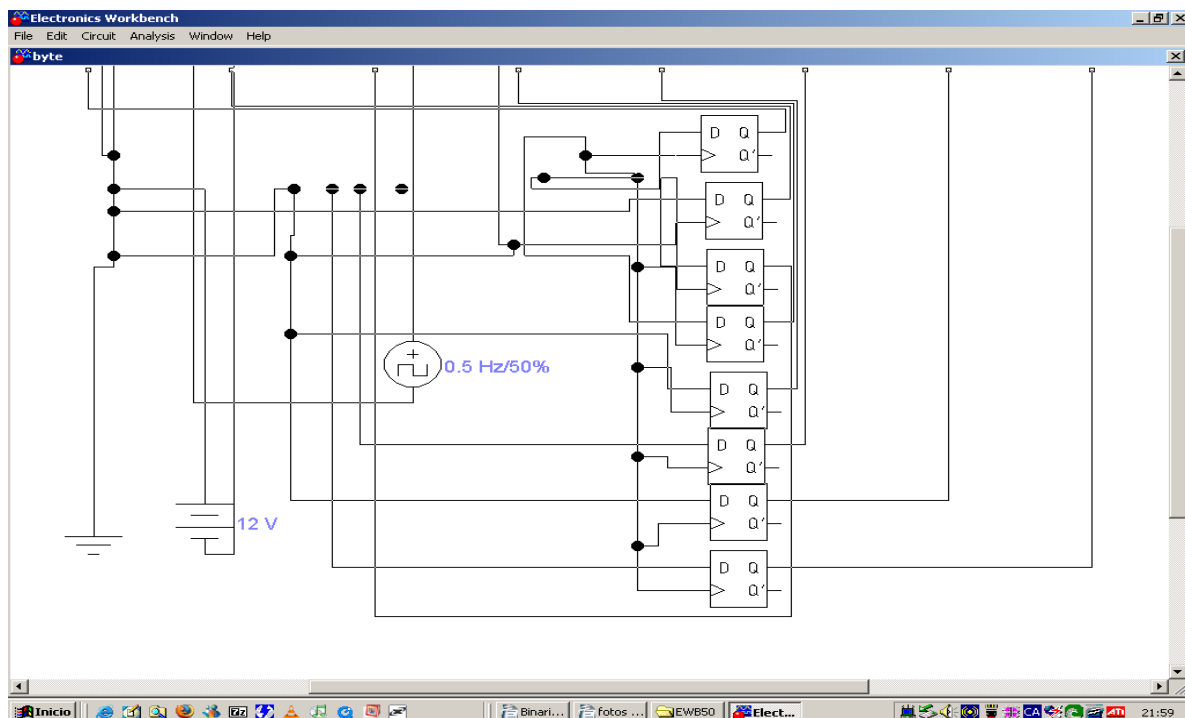


Figura 32: Grups de biestables

### 3.3.-La gestió de la memòria

El següent pas és pensar en un dispositiu que em permeti canviar d'alguna forma la informació que envio al display, i aquí entra en joc el multiplexor.

Si ens hi fixem bé, el multiplexor és el component ideal per a aquesta funció, ja que té diverses entrades i una sola sortida, i amb uns bits de control decideixo quina de les entrades surt.

Ara ho he d'aplicar al meu projecte, i per fer-ho poso 16 multiplexors de 16 entrades cadascun i quatre bits de control. En el muntatge físic, com que no disposava de multiplexors de 16 entrades, els vaig haver de fer jo combinant dos multiplexors de 8 entrades, anomenats 75151, amb un multiplexor de dues entrades, que s'aconsegueix combinant certes entrades dels xips 7404, 7408 i 7432.

Ara agafo els setze blocs de memòria i connecto els setze bits del primer bloc, que recordem que són el primer bit de cada lletra, al primer multiplexor i faig el mateix amb la resta seguint l'ordre dels blocs i també ajunto les entrades de control.

Ara el que he aconseguit és que quan jo introdueixi el número 1 en binari a l'entrada de control, els setze multiplexors em treuran els números que conformen la lletra en la posició 1, ja que a la entrada 1 de cadascun dels multiplexors hi ha posat un dels números que formen la lletra que ocupa el lloc 1 en la seqüència del text. Per exemple:

En la imatge el color lila correspondria als bits de la primera lletra, el blau a la segona, etc.

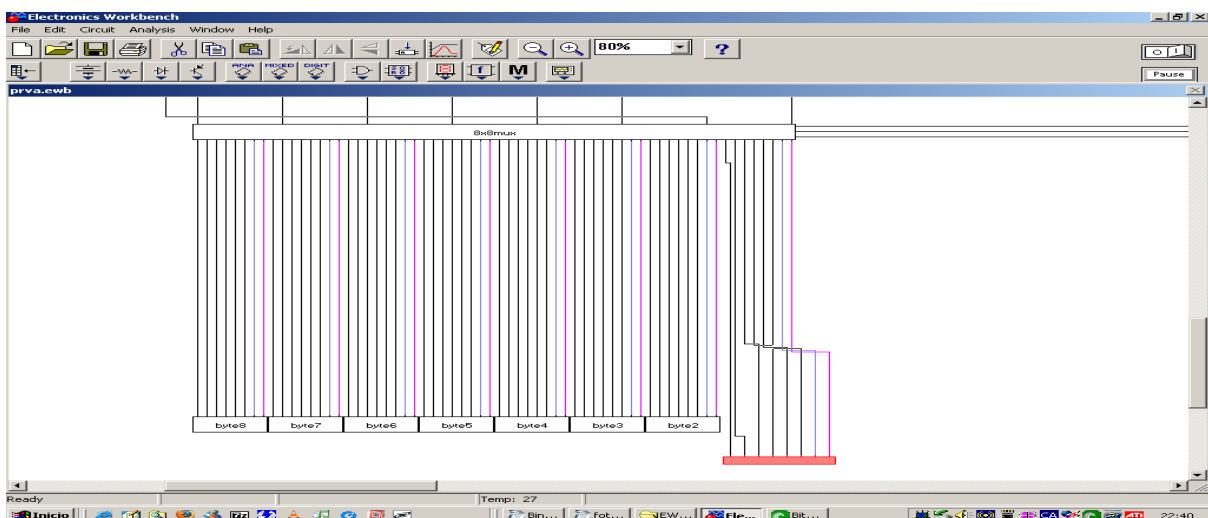


Figura 33: L'ordre dels bits

### 3.4.-El generador de paraules

Ara ja tindria tot el muntatge fet, però aquesta versió requeriria que algú anés canviant manualment les entrades de selecció de l'aparell. Per evitar això m'interessa crear algun circuit que em canviï automàticament i en ordre ascendent les entrades de control, i que ho faci en una pulsació regular de temps.

La pulsació regular de temps l'aconsegueixo amb un *rellotge* que és un component que té la següent estructura:

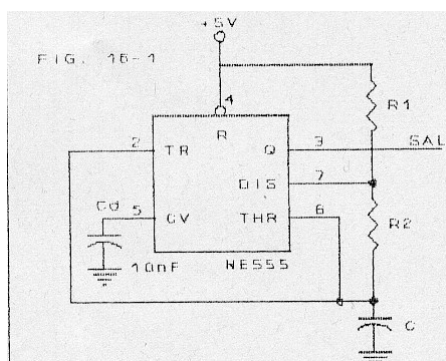


Figura 34: El rellotge

Aquest és un component el funcionament del qual és molt difícil d'explicar, però més o menys consisteix en la combinació de la propietat piezoelèctrica del quars, i la càrrega i descàrrega d'un condensador. El temps amb que vull que emeti pulsacions es calcula amb la següent fórmula:

Frecuència:

$$\frac{1.44}{(R_1 + 2R_2) C}$$

Figura 35: Fórmula per calcular la freqüència del rellotge

On R1 i R2 són resistors, que limiten el pas de corrent, i C un condensador. Ara només resta dissenyar un circuit que em generi una combinació de quatre bits que creixin amb el temps, és a dir, que per cada pulsació del rellotge augmentin en 1 el seu valor.

Per a això necessito un xip integrat anomenat 7483, que és un sumador de 4 bits, al qual fixaré la quantitat a sumar a 1. Les sortides d'aquest integrat aniran a parar a un biestable, on seràn emmagatzemades i, des d'aquí, enviades a les entrades de control dels multiplexors, a cada impuls

de rellotge, i un altre cop al sumador, creant un circuit tancat que es reinicia sol al arribar al número 1111, ja que quan es suma 1 a aquest numero obtenim 10000, però el sumador només treballa amb quatre bits, per tant compta com a 0000, i el cicle torna a començar.

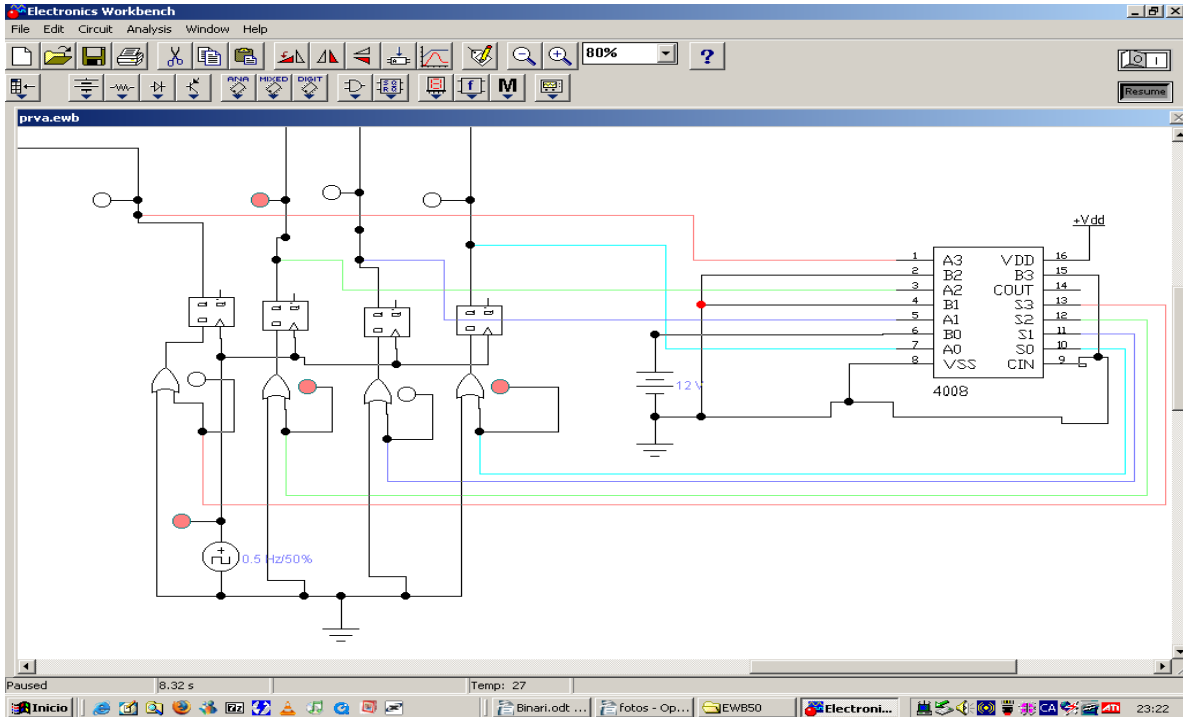


Figura 36: El generador de paraules

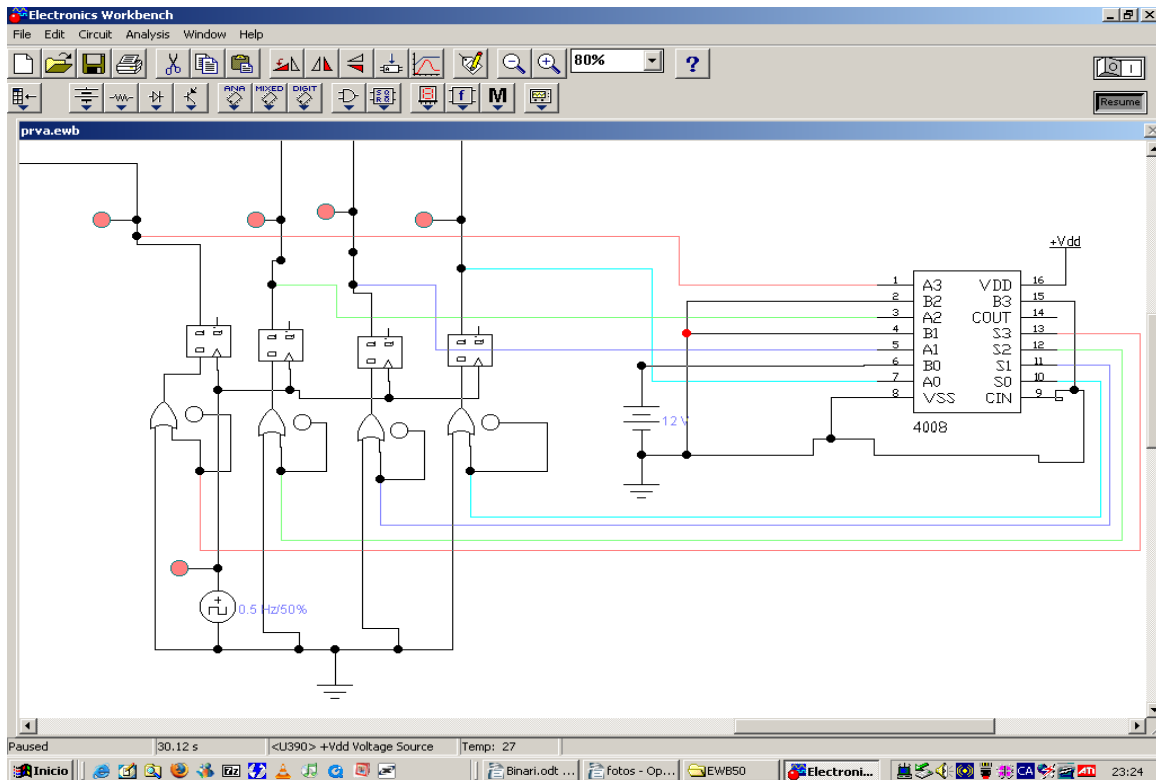


Figura 37: El generador de paraules

Com que vull que un dels dos displays em mostri la lletra que acabava de passar per l'altre, he de fer que les entrades de control d'aquesta part rebin el mateix número que l'altre menys u, és a dir, que si el primer rep 0011, l'altre ha de rebre 0010. Fer això és fàcil, només he d'agafar un altre 7483, el sumador, en el qual una de les entrades són els bits de control de l'altre multiplexor i l'altra entrada està fixada a 1. Això em fa la següent suma:  $0011+1111=10010$ . Aquest resultat no és el que busquem, ja que volem 0010, però, si ens hi fixem, les entrades de control només admeten 4 bits, i aquests serien (1)0010, i l'1 entre paréntesis s'ometria. Això ho anomenaré “efecte -1”.

Les principals dificultats que m'he trobat a l'hora de treballar amb el programa d'ordinador han sigut diverses, com per exemple que el programa utilitzat (electronics workbench 5.0) era una versió antiga i limitada en quant a alguns components més nous, que es penjava quan s'excedia una certa quantitat de components, cosa que en versions modernes no passa i que m'ha limitat una mica a l'hora de dissenyar el dispositiu, i que, per la quantitat de components utilitzats, a vegades m'equivocava en l'ordre dels cables i refer la feina comportava força estona, per la qual cosa he destinat a la part de disseny unes 40 hores més o menys.

Ara que tinc el circuit teòric dissenyat i he comprovat que funciona puc passar al muntatge real.

### 3.5.- El muntatge

Tot i que no formava part dels objectius inicials, em va interessar la idea de construir el dispositiu, per a la qual cosa disposava de les vacances de nadal. El fet de realitzar aquesta tasca durant les vacances em va impossibilitar d'accedir a certes eines de l'institut i de tenir suport del professorat, excepte del 8 al 12 de gener, en que em vaig adonar de que el muntatge havia tocat sostre.

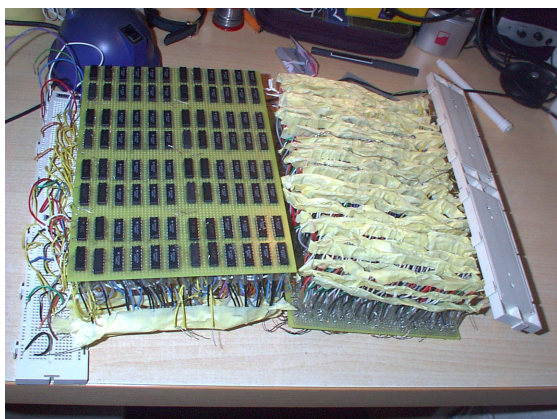


Figura 38: Muntatge general



Figura 39: Muntatge general revers

A part de tot això, durant la construcció em vaig trobar amb molts problemes, ja que m'havia confiat massa a l'hora de plantejar-ne les magnituds, i després, massa tard per rectificar, em vaig adonar que el que m'havia proposat era complicadíssim d'assolir i hi havia moltes possibilitats de que hi hagués mals contactes entre els cables que podrien provocar errors, que és el que ha acabat passant.

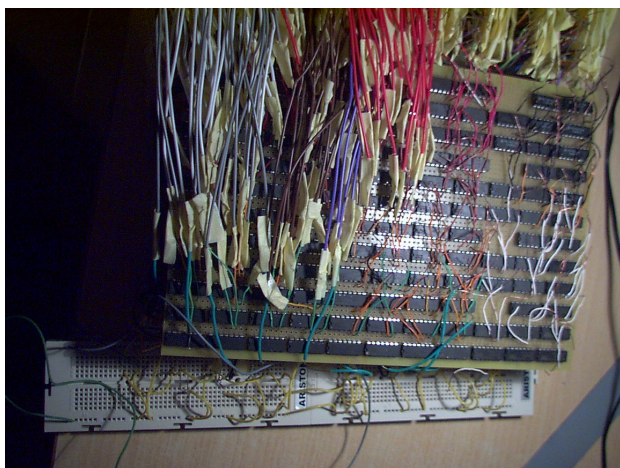


Figura 41: Bloc de memòria

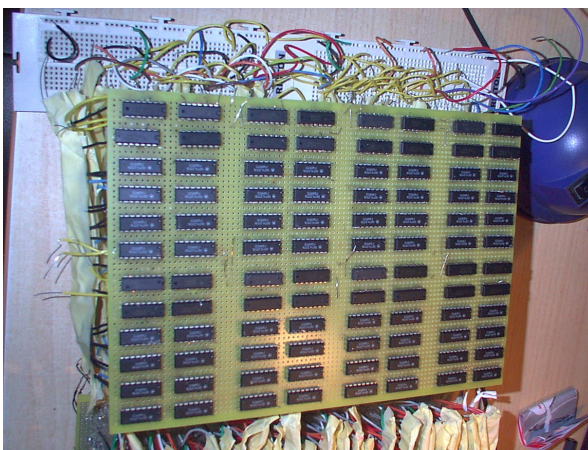


Figura 40: Bloc de multiplexió

El muntatge es completa amb dos displays com els que es poden veure a l'annex 4.2.



### 3.6- Procés, resultats i conclusions del muntatge

Per fer el muntatge, no només vaig haver de comprar totes les portes lògiques que necessitava, sinó també cable per a unir-les, estany per soldar les peces, i també plaques repro, que són una espècie de làmines perforades fetes per treballs d'aquest tipus, ja que s'hi poden posar molts xips.

En la part de la memòria, el procés ha consistit bàsicament en anar soldant cada xip a la placa corresponent, i al final ajuntar tots els cables que em convenia que tinguessin corrent per una banda i els que no per una altra, tenint també en compte una branca de cables que necessitaven corrent del rellotge.

A la part dels multiplexors el procés ha estat similar, amb l'inconvenient de que, al no disposar de multiplexors de setze entrades, me'ls he hagut de fer jo combinant dos multiplexors de vuit entrades amb un de dues, i això feia que hi hagués molt més cable pel mig, a més que a l'hora d'ajuntar-los, m'he trobat que havia de fer molts més grups de cablejat, ja que cada entrada de control dels multiplexors havia d'anar per separat, i això encara dificultava més les coses.

Per les proves fetes, la part de memòria funciona a la perfecció, ja que les sortides són les desitjades, però a la part de multiplexió hi ha força entrades que tenen algun error i van a parar a massa, cosa que anul·la el corrent, i a més les que funcionen no transmeten correctament la informació, com he dit abans, degut a la complexitat força superior d'aquest bloc.

Però tot i que el prototip físic no ha funcionat del tot, he après força coses fent aquest muntatge, com per exemple que s'ha de calcular tot molt bé: el nombre de peces, l'espai que ocuparan, l'envergadura del projecte, buscar components o eines que ens facilitin la feina, etc.; a més, cada soldadura s'ha de fer a la perfecció, ja que un sol error originaria un contacte no desitjat entre diferents parts d'un xip i no es pot fer cap cosa a la lleugera, per la qual cosa els muntatges grans requereixen molt de temps

En conclusió, un muntatge pràctic pot ser més complicat del que sembla quan es dissenya i no s'ha de fer a la lleugera, però tot i així és una experiència interessant en la que s'aprenen moltes coses útils.

## 4.-ANNEXOS

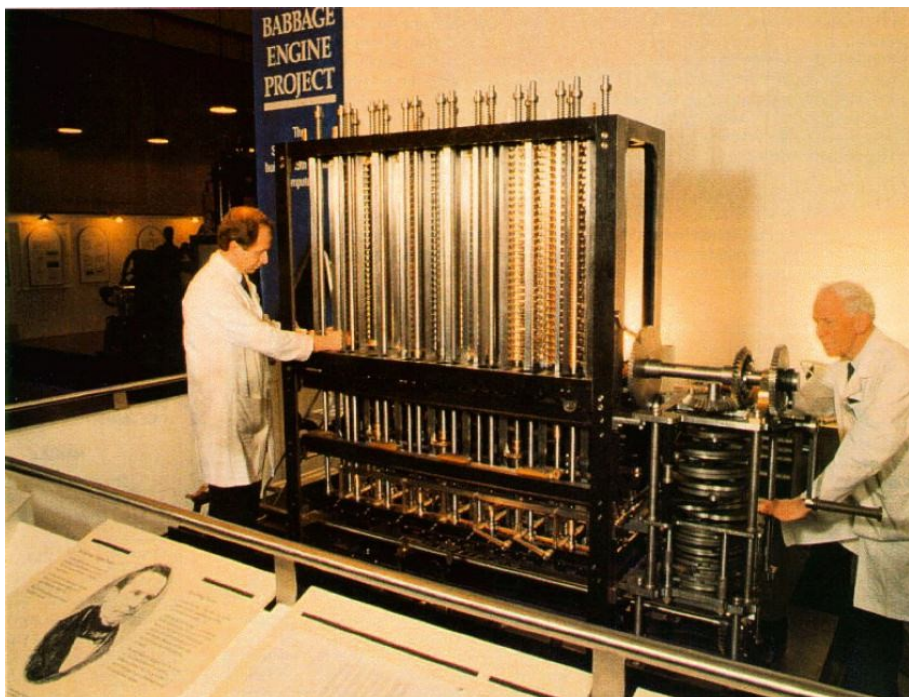
### 4.1.-Història dels ordinadors

Els ordinadors han evolucionat molt en poquíssim temps, i sempre és curiós veure com va començar tot.

#### 4.1.1.-Prehistòria

La informàtica va néixer en principi com a objectiu de l'home de mecanitzar el càlcul automàtic. Es considera com a predecessor de l'ordinador l'àbac, un conjunt de pedres mòbils emprades per calcular i és considerat l'instrument aritmètic per excel·lència.

El segueixen, en els 2.500 anys següents, el desenvolupament de les taules de càlcul i dels diferents sistemes de numeració, l'aparició de logaritmes i calculadors analògics, el descobriment de l'electricitat, de l'electromagnetisme, etc.



*Figura 42: Màquina de Babbage*

En aquest punt, ja arribats al segle XIX, apareix la figura de Charles Babbage.

Babbage, matemàtic anglès, va crear els fonaments teòrics de l'ordinador modern. Va ser el creador l'any 1822 de la *Difference engine* o màquina de diferències, que es pot veure a la figura 42. Aquest aparell permetia calcular taules de quadrats automàticament i va servir de base perquè creés la seva "màquina analítica", dissenyada per prendre decisions depenent dels resultats. Aquesta és la característica que començava a diferenciar els calculadors dels ordinadors: aquests darrers podien prendre decisions.

#### 4.1.2.-Era electrònica

S'inicia cap a finals del segle XIX i és l'època daurada de la informàtica, perquè veu néixer els primers grans ordinadors. Si havien passat més de 20 segles des de l'àbac fins a la primera calculadora automàtica creada per Babbage, ara comença l'època on els invents van a un ritme vertiginós gràcies al descobriment de l'electricitat.



Figura 43: Vàlvula de buit

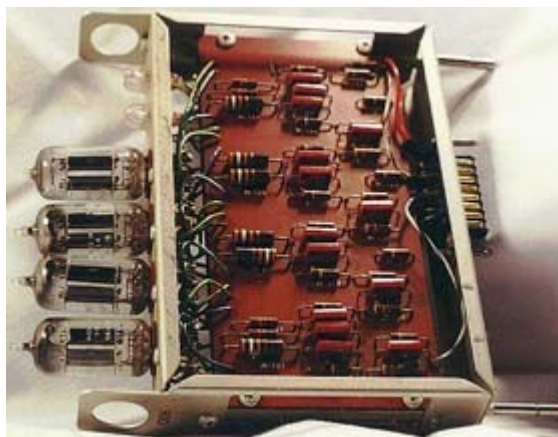


Figura 44: Comptador

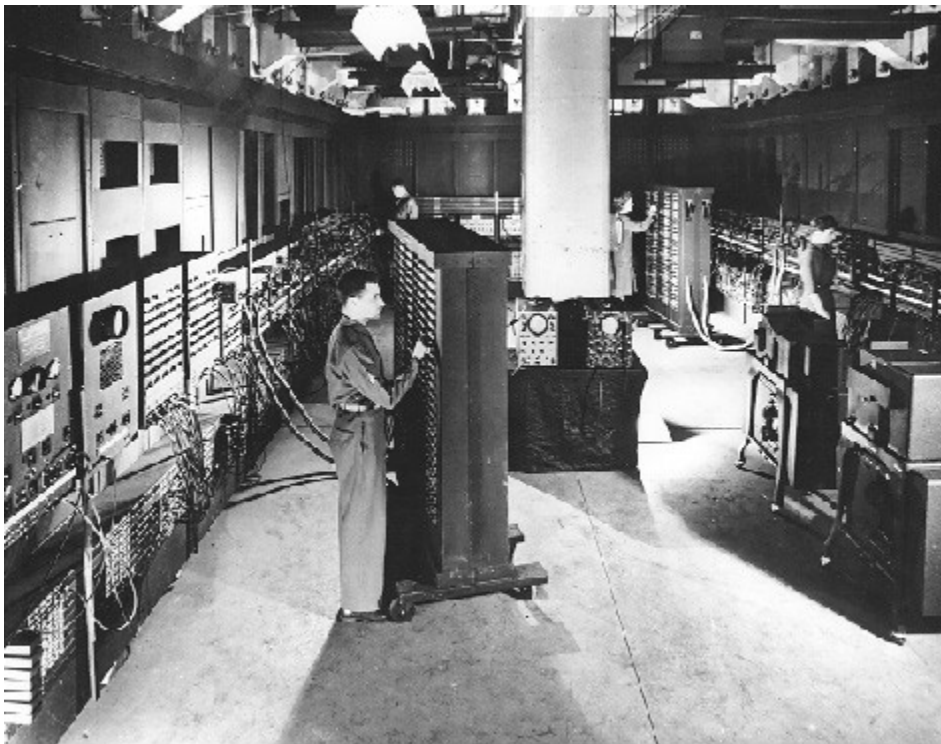
Els *vacuum tubes* o tubs de buit, creats a principis del segle XX, eren vàlvules electròniques desenvolupades a partir de la teoria dels electrons i van esdevenir el motor dels primers ordinadors

electrònics, ja que fins ara s'utilitzaven peces mecàniques (relés), i l'ús de tubs de buit feia possible un increment considerable de la velocitat.

A la figura 43 es veu un *power triode* similar als tubs emprats en els primers grans ordinadors. A la figura 44 es veu un comptador basat en tubs de buit (hi ha 4 triodes duals emprats per comptar i emmagatzemar els 4 bits necessaris per representar un dígit decimal).

A partir d'aquesta tecnologia de tubs buits es creen les primeres computadores, grans màquines que van marcar un pas important en el desenvolupament informàtic: noms propis com ENIAC, EDVAC, EDSAC, ORDVAC, Harvard Mark I, etc.

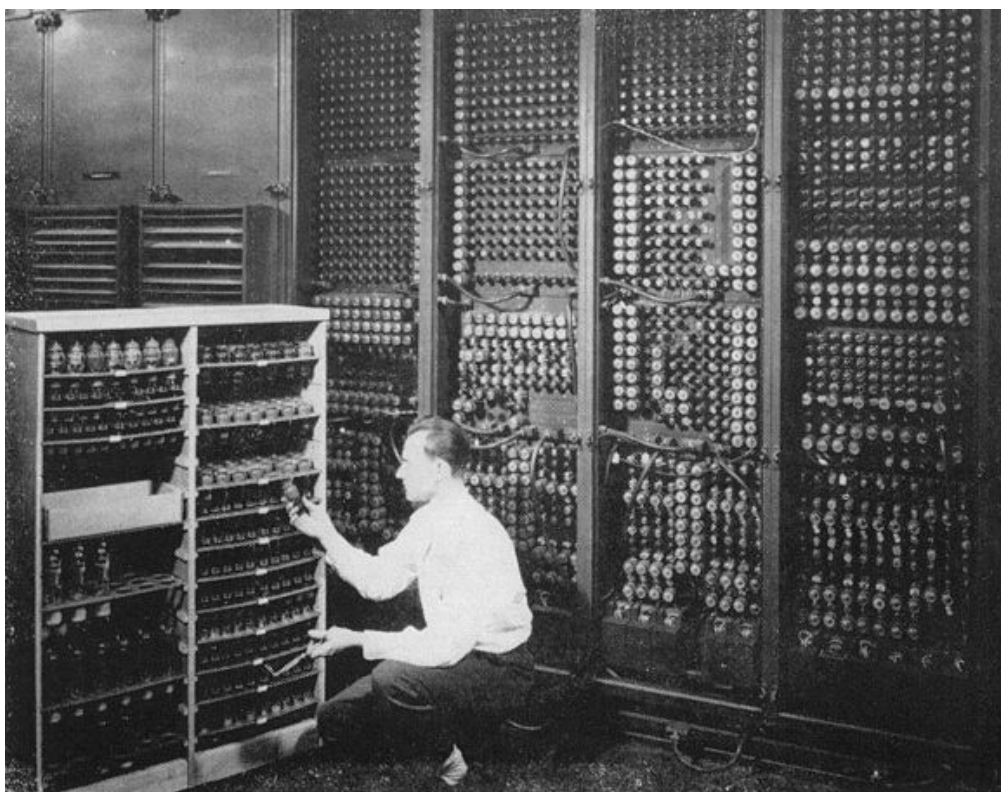
### **ENIAC (fotografies de 1946)**



*Figura 45: Eniac*

ENIAC és l'acrònim d'Electronic Numerical Integrator Analyzer and Computer. Desenvolupat en un principi per Ballistics Research Laboratory de Maryland per assistir en la preparació de taules de trets per a l'artilleria el 1942 (en plena II Guerra Mundial), va ser finalment comprat per la Moore

School of Electrical Engineering de la University of Pennsylvania i completat a finals de 1945. En aquella època va demostrar que l'alta velocitat digital informàtica era possible utilitzant la llavors disponible tecnologia de tubs buits. Ocupava 150 m<sup>2</sup>, tenia un pes de 30 tones, consumia 150.000 watts i tenia, més o menys, 6.000 interruptors i 18.000 tubs de buit. Era, literalment, una màquina gegant i és considerat el primer ordinador.



Replacing a bad tube meant checking among ENIAC's 19,000 possibilities.

*Figura 46: Eniac*

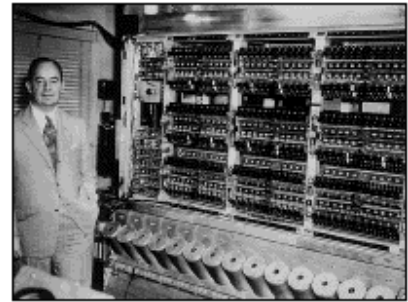
## **EDVAC**

L'EDVAC, Electronic Discrete Variable Computer, va ser construït a partir de l'EDVAC l'any 1952. Es basa en les idees de John von Neumann, matemàtic que assentà les bases de l'ordinador modern: utilitza l'aritmètica binària en comptes de la decimal i inclou, per primera vegada, el programa emmagatzemat en la memòria de l'ordinador, proporcionant així més velocitat i la presa de decisions lògiques internes de la màquina.

Instaurà per primer cop l'organització interna dels ordinadors tal i com la coneixem actualment: unitat central de processos (CPU), memòria i entrada-sortida de dades.

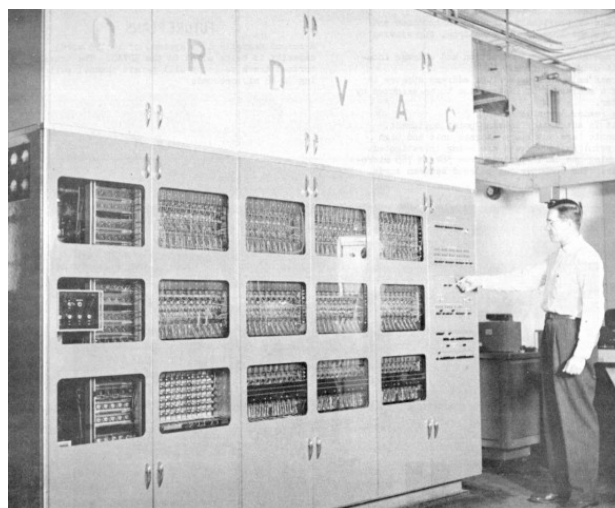


*Figura 47: Edvac*



*Figura 48: Von Neumann*

## **ORDVAC**

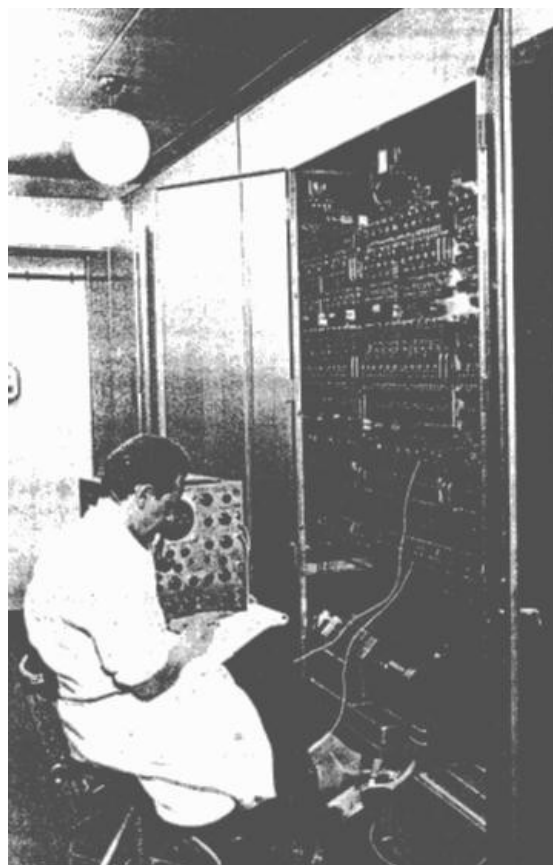


*Figura 49: Ordvac*

L'ORDVAC, Ordnance Variable Automatic Computer, va ser construït per la University of Illinois (1951-1952), que pretenia crear una computadora per a ús

universitari, copiant el disseny de la màquina de Von Neumann. L'exèrcit nord-america subvencionà el projecte amb la condició de construir dues màquines, una per a l'exèrcit (l'ORDVAC) i l'altra per a la universitat (resultà l'ILLIAC).

**SMIL** (fotografia de 1956)

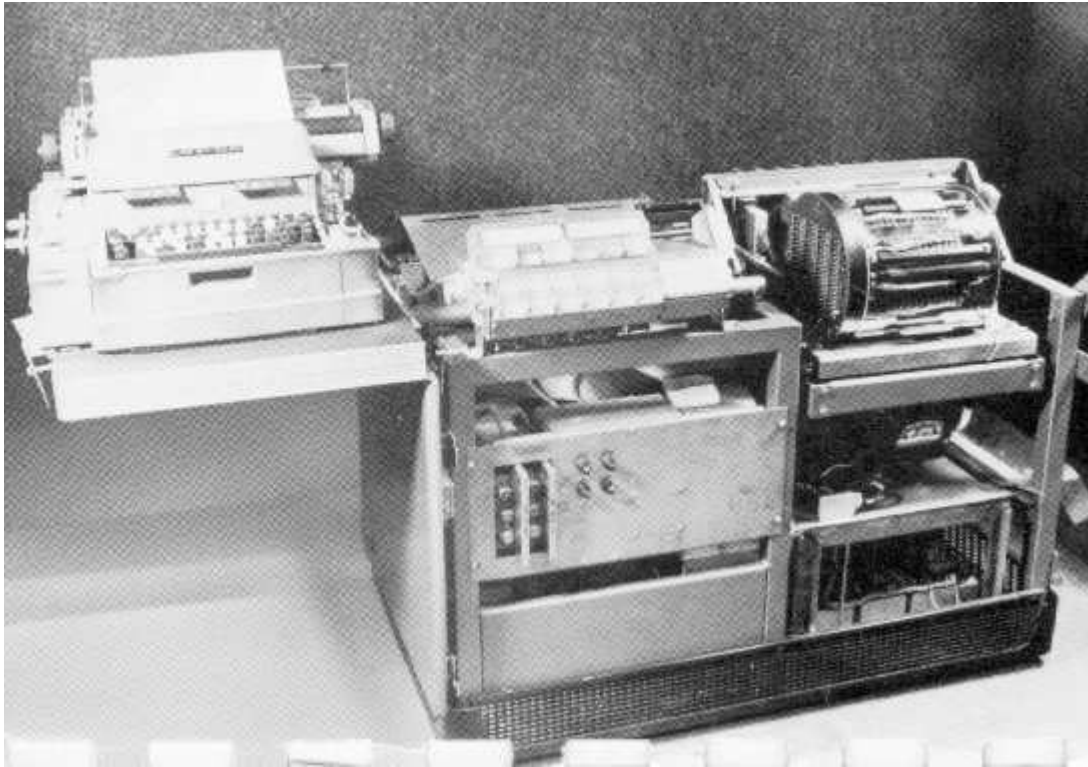


*Figura 50: Smil*

L'ordinador SMIL va ser un dels primers computadors suecs, construït a Lund University al voltant dels anys 50 i va ser l'ordinador principal de la universitat més de 15 anys, fins que va ser reemplaçat el 1972 per l'Univac 1108. L'original SMIL tenia prop de 2000 tubs de buit; comparat amb els 18.000 tubs de buit que tenia l'ENIAC es pot comprovar que la tecnologia informàtica avançava a passos de gegant: es reduïen les dimensions de la màquina i s'ampliaven les prestacions.



## LGP-30 (fotografia de 1960)



*Figura 51: LGP-30*

L'empresa Royal McBee Corporation of Port Chester, de Nova York, el venia al preu de 40.000 dòlars (any 1957). Consistia en una consola-màquina d'escriure flexo, una mena de màquina d'escriure modificada electrònicament. Tenia memòria magnètica d'emmagatzematge que permetia operacions internes binàries a partir de la programació, que es donava en llenguatge màquina utilitzant codis amb 16 instruccions. Fou descrita per l'empresa Librascope, creadora de la família d'ordinadors LGP, com una de les primeres microcomputadores; i, de fet, la mida ja havia disminuït molt des dels primers prototipus d'ordinadors.

## PDP1 (fotografia de 1960)

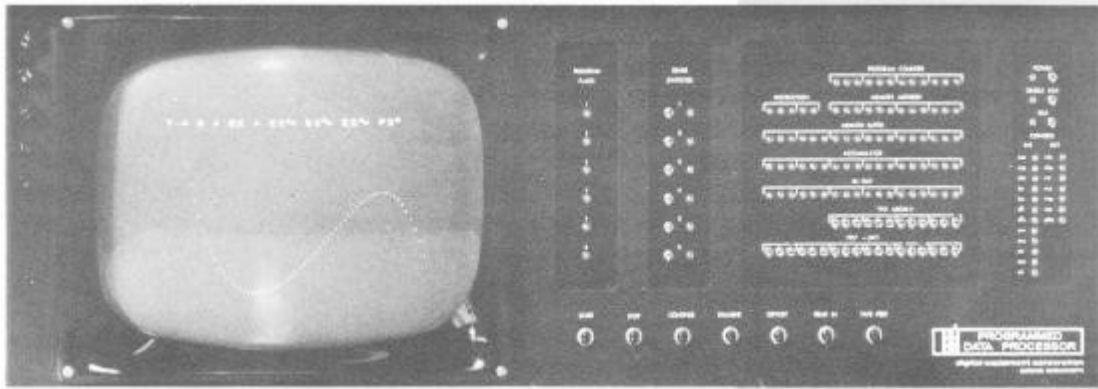


Figura 52: PDP1

PDP1 va ser el primer ordinador de la Digital Equipment Corporation (DEC). Aquesta empresa pretenia produir mòduls d'ordinadors electrònics que poguessin interconnectar-se per portar a terme diferents funcions lògiques. PDP1 (Programmable Data Processor-1) fou el seu primer ordinador, creat el 1959. Es va vendre per \$ 120.000 en una època on la majoria d'ordinadors valien més de \$ 1.000.000 per la qual cosa va obtenir un gran èxit al mercat.

## UNIVAC

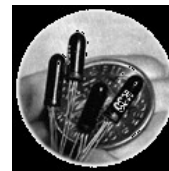


Figura 53: Univac

UNIVAC és l'acrònim de Universal Automatic Calculator. Va ser el primer ordinador de fabricació en cadena que es desenvolupà pensant en aplicacions comercials. El primer de la sèrie fou creat l'any 1951 i podia emmagatzemar 12.000 dígits en una memòria que permetia escriure, a més de

llegir: aquesta és una característica que tindran les memòries a partir d'aquest moment. A la figura 53 es pot veure l'UNIVAC 1107, un dels ordinadors de la sèrie UNIVAC (creat el 1962) .

#### 4.1.3.-Els miniordinadors i els microordinadors



*Figura 54:  
Transistors*

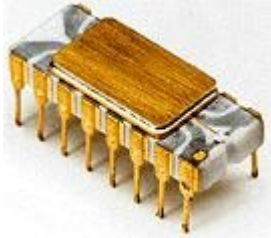
La tecnologia dels transistors (apareguts el 1947 als Laboratoris de Bell Telephone) permet fer la mateixa funció del tubs de buit i les vàlvules però en menys espai i amb un consum i un cost de fabricació inferior.

Poc a poc la miniaturització dels components es converteix en un dels principals objectius dels fabricants, en part motivats pel desig d'acceleració que marcava la necessitat d'un augment de la potència de càlcul per fer front a les noves necessitats de computació. Així, a finals dels 60 i com a conseqüència del circuit integrat sorgeix el microprocessador, definit com la integració dins d'un sol circuit de la unitat de control i de la ruta de dades d'un processador, i també s'esdevé el microordinador i miniordinador, una computadora físicament petita capaç de realitzar moltes de les funcions d'una unitat central o ordinador de gran tamany.

L'any 1971 l'empresa Intel posa a la venda el primer microprocessador, model 4004, i el 1972 el primer microprocessador de 8 bits, el 8008. Van ser els precursors de la família de microprocessadors per excel·lència, que dominà el mercat en els anys 80 i 90 i que ha culminat amb el Pentium en els seus darrers anys. Actualment són Intel i l'empresa AMD, la seva màxima competidora, les més importants del mercat.

## PRIMER MICROPROCESSADOR,

INTEL 4004 (1971)



*Figura 56: Intel 4004*

## MICROPROCESSADOR ACTUAL,

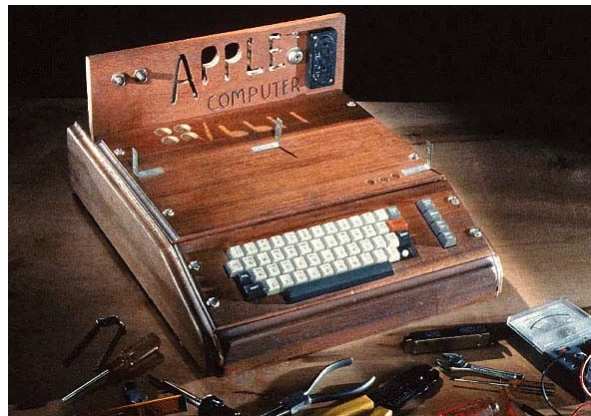
AMD ATHLON (1999)



*Figura 55: AMD Athlon*

## APPLE I

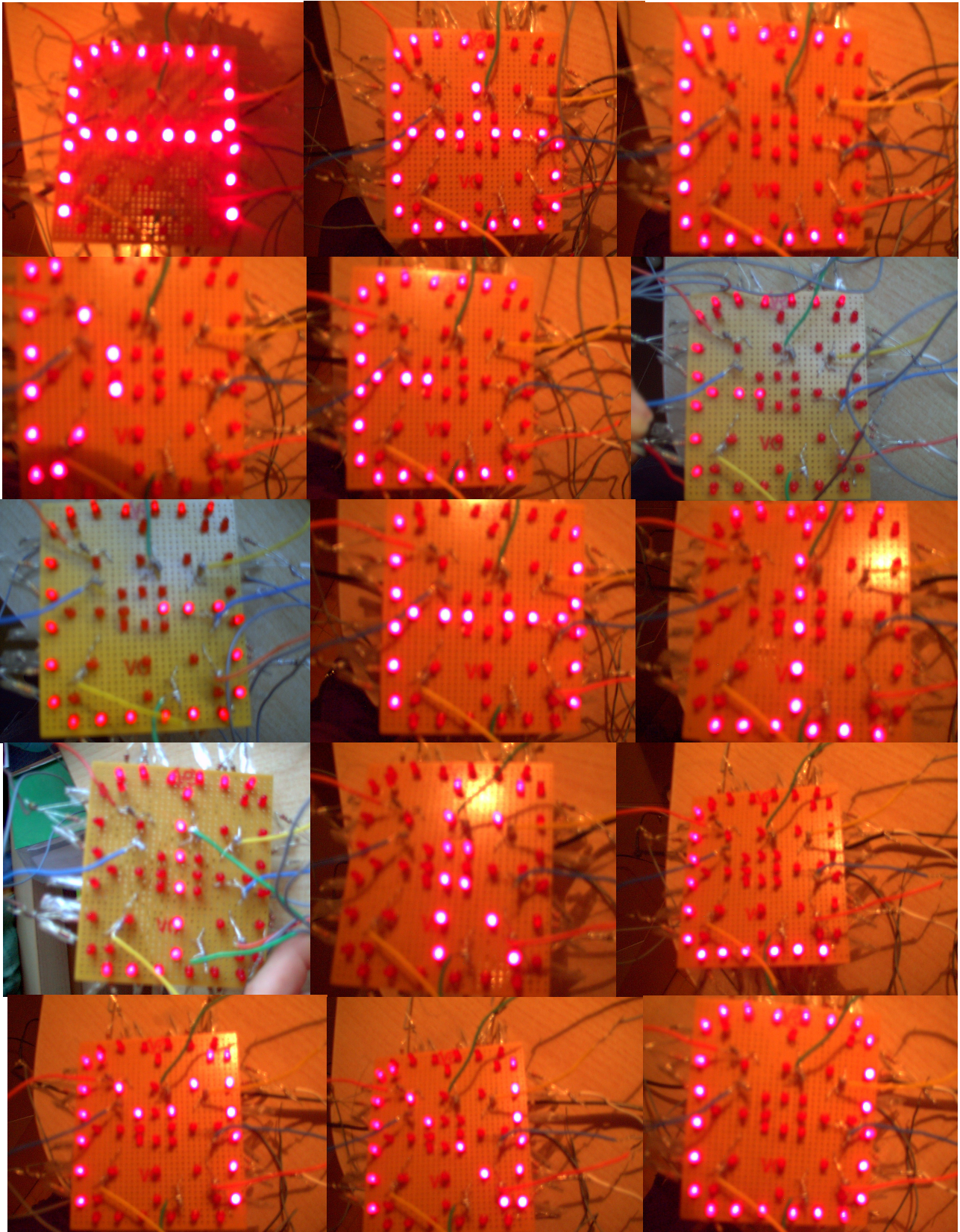
L'any 1976 Steve Jobs i Steve Wozniak (de 21 i 26 anys respectivament) creen, en un garatge, el primer ordinador Apple, que utilitzava tecnologia de transistors, microprocessador MOS 6502, i tenia 4K de memòria. Poc després naixeria la societat Apple Corporation.

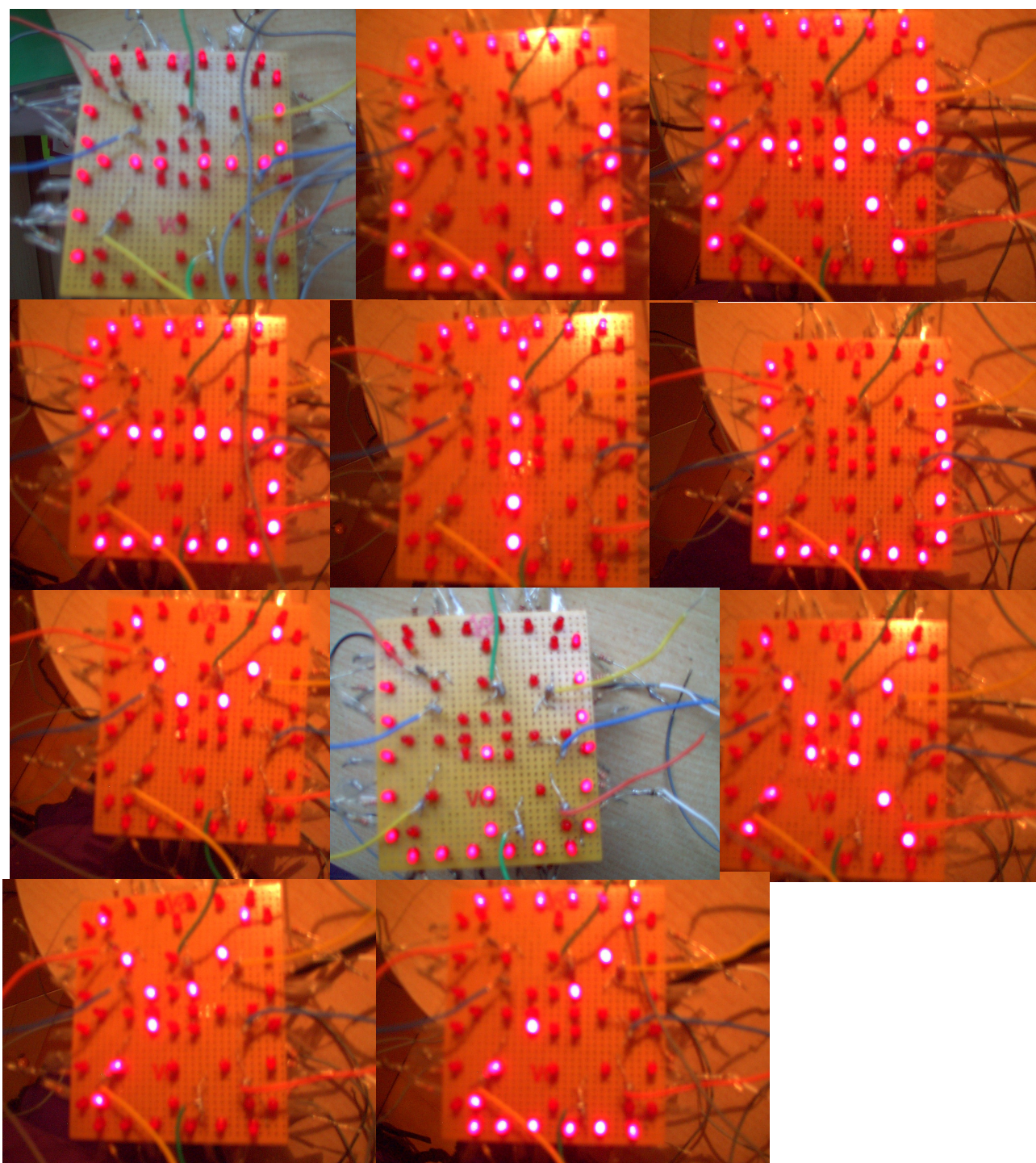


*Figura 57: Ordinador Apple*

## 4.2.- Abecedari del display

Alguns dels símbols que el meu display pot fer:





### 4.3.-Sumari de material

#### 1.-Display:

1.1.-Repro Placa Stan CT-4 78x90 1mm	x2
1.2.-Leds Vermells de 3mm 2V 20MA 60°	x96
1.3.-Resistències 220 ohms	x96

#### 2.-Memòria:

2.1.-74HC74: Biestables duals	x128
2.2.-Placa repro 160x232	x1

#### 3.-Multiplexor:

3.1.- Placa repro 160x232	x1
3.2.-74LS151: Multiplexors 8 entrades	x64
3.3.-74LS32: Portes OR	x8
3.4.--74LS08: Portes AND	x16
3.5.-74LS04: inversors (NOT)	x8

#### 4.-Generador de paraules:

4.1.-74LS83: Binary full adder	x2
4.2.-74HC74: Biestables duals	x2

#### 5.-Rellotge:

5.1.-NE555: Precision Timer (part del rellotge)	x1
5.2.-Condensador de 220UF	x1

5.3.-Resistència 10 KOhms	x1
5.4.-Resistència 1 KOhm	x1
5.5.--Condensador 10 pF	x1

6.-General:

6.1.-Diversos metres de cable groc, taronja, vermell, verd, blau, lila, blanc, marró i gris.

6.2.-Soldador x1

6.3.-Rotlle d'estany d'1mm x2

6.4.-Cinta de paper x1



## 4.4.-Els Xips

### 74151

Multiplexor de 8 entrades

+-----+			
D3	1	+--+	16  VCC
D2	2		15  D4
D1	3		14  D5
D0	4	74	13  D6
Y	5	151	12  D7
/Y	6		11  S0
/EN	7		10  S1
GND	8		9  S2
+-----+			

### 7474

Biestable dual amb set i reset.

+-----+				+-----+						
/1RST	1	+--+	14  VCC	D	CLK	/SET	/RST	Q	/Q	
1D	2		13  /2RST	---	---	---	---	---	---	---
1CLK	3		12  2D	X	X	0	0	1	1	
/1SET	4	7474	11  2CLK	X	X	0	1	1	0	
1Q	5		10  /2SET	X	X	1	0	0	1	
/1Q	6		9  2Q	0	/	1	1	0	1	
GND	7		8  /2Q	1	/	1	1	1	0	
+-----+				X	!/	1	1	-	-	

### 7404

Portes Not

+-----+				+-----+		$/Y = \bar{A}$
1A	1	+--+	14  VCC	A	/Y	
/1Y	2		13  6A	---	---	
2A	3		12  /6Y	0	1	
/2Y	4	7404	11  5A	1	0	
3A	5		10  /5Y	+-----+		
/3Y	6		9  4A			
GND	7		8  /4Y			
+-----+						

## 7483

Sumador binari de 4 bits.

+-----+			
A4	1	+--+	16   B4
S3	2		15   S4
A3	3		14   COUT
B3	4		13   CIN
VCC	5	7483	12   GND
S2	6		11   B1
B2	7		10   A1
A2	8		9   S1
+-----+			

S=A+B+CIN

## 7432

Portes OR

+-----+			
1A	1	+--+	14   VCC
1B	2		13   4B
1Y	3		12   4A
2A	4	7432	11   4Y
2B	5		10   3B
2Y	6		9   3A
GND	7		8   3Y
+-----+			

+-----+			
A	B	Y	
---+---+---			
0	0	0	
0	1	1	
1	0	1	
1	1	1	
+-----+			

Y = A+B

## 7408

Portes And

+-----+			
1A	1	+--+	14   VCC
1B	2		13   4B
1Y	3		12   4A
2A	4	7408	11   4Y
2B	5		10   3B
2Y	6		9   3A
GND	7		8   3Y
+-----+			

+-----+			
A	B	Y	
---+---+---			
0	0	0	
0	1	0	
1	0	0	
1	1	1	
+-----+			

Y = AB

## BIBLIOGRAFIA

-GUASCH, Miquel/BORREGO, Marina:*Electrònica*. Credits 1 i 2. Editorial McGrawHill,2000.

-ACHA, Santiago/A.CASTRO, Manuel/PÉREZ, Julio/A.RIOSERAS,Miguel:*Electrónica Digital*.

*Introducción a la lógica digital*, Editorial Ra-Ma, 2002.

Història dels ordinadors

<http://www.bib.uab.es/socials/binfannex.htm>

Multiplexor (imatge)

<http://encuentro.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2000477/lecciones/images/030601.gif>

Wikipedia. Alan Turing

[http://ca.wikipedia.org/wiki/Alan\\_Turing](http://ca.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing)

[http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina\\_de\\_Turing](http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_de_Turing)

Wikipèdia. Charles Babbage

[http://en.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Babbage](http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Babbage)

[http://ca.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Babbage](http://ca.wikipedia.org/wiki/Charles_Babbage)

Wikipedia. Màquina de Turing

[http://ca.wikipedia.org/wiki/M%C3%A0quina\\_de\\_Turing](http://ca.wikipedia.org/wiki/M%C3%A0quina_de_Turing)

Wikipedia. Tubs de buit

[http://ca.wikipedia.org/wiki/V%C3%A0lvula\\_de\\_buit](http://ca.wikipedia.org/wiki/V%C3%A0lvula_de_buit)

# Índex d'imatges

Figura 1: Interruptor.....	7
Figura 2: Propietat commutativa.....	10
Figura 3: Propietat associativa.....	10
Figura 4: Propietat distributiva.....	11
Figura 5: Taula de la veritat.....	12
Figura 6: Propietats, lleis i teoremes de Morgan.....	12
Figura 7: Taula de la veritat.....	13
Figura 8: Funció inversió NO (NOT).....	13
Figura 9: Funció I (AND).....	14
Figura 10: Funció O (OR).....	14
Figura 11: Funció O-Exclusiva (EXOR).....	14
Figura 12: Funció composta NO I (NAND).....	15
Figura 13: Funció composta NO O (NOR).....	15
Figura 14: Funció composta NO O-Exclusiva (EXNOR).....	15
Figura 15: Minterms i maxterms.....	16
Figura 16: Circuit obtingut.....	17
Figura 17: La rèplica de la màquina diferenciadora dissenyada per Babage, del Museu de Ciència de Londres.....	19
Figura 18: Màquina de Turing.....	21
Figura 19: Polarització directa.....	27
Figura 20: Polarització directa.....	27
Figura 21: Polarització indirecta.....	28
Figura 22: Esquema general.....	28
Figura 23: Porta NOT.....	29
Figura 24: Esquema, símbol i taula de la veritat d'un biestable RS.....	30
Figura 25: Esquema, taula de la veritat i símbol d'un biestable D.....	31
Figura 26: Taula de la veritat d'un multiplexor de dues entrades.....	32
Figura 27: Multiplexor 2 a 1.....	32
Figura 28: Símbol del display.....	34
Figura 29: El display.....	34
Figura 30: El display a Electronics Workbench.....	34
Figura 31: Grups de biestables.....	36
Figura 32: L'ordre dels bits.....	37
Figura 33: El rellotge.....	38
Figura 34: Fòrmula per calcular la freqüència del rellotge.....	38
Figura 35: El generador de paraules.....	39
Figura 36: El generador de paraules.....	39
Figura 37: Muntatge general revers.....	41
Figura 38: Muntatge general.....	41
Figura 39: Bloc de memòria.....	41
Figura 40: Bloc de multiplexió.....	41
Figura 41: Màquina de Babbage.....	44
Figura 42: Vàlvula de buit.....	45
Figura 43: Comptador.....	45
Figura 44: Eniac.....	46
Figura 45: Eniac.....	47
Figura 46: Edvac.....	48

Figura 47: Von Neumann.....	48
Figura 48: Ordvac.....	48
Figura 49: Smil.....	49
Figura 50: LGP-30.....	50
Figura 51: PDP1.....	51
Figura 52: Univac.....	51
Figura 53: Transistors.....	52
Figura 54: AMD Athlon.....	53
Figura 55: Intel 4004.....	53
Figura 56: Ordinador Apple.....	53