INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

22.12 - Electrónica III

Trabajo Práctico $N°1$

Grupo 4

Bertachini, Germán	58750
Dieguez, Manuel	56273
Galdeman, Agustín	59827
Laguingue, Juan Martín	57430

Profesores:
Dewald, Kevin
Wundes, Pablo

Presentado el 5 de Septiembre de 2019

Índice

1. Algebra booleana y compuertas lógicas **2**

1.1. Primera Expresión: suma de productos 2

1.1.1. Simplificación mediante álgebra booleana 2

1.1.2. Simplificación mediante mapas de Karnaugh 4

1.1.3. Implementación mediante compuertas AND, OR y NOT . . 8

1.1.4. Implementación mediante compuertas NAND 10

1.2. Segunda expresión: producto de sumas 11

1.2.1. Simplificación mediante álgebra booleana 11

1.2.2. Simplificacioón mediante mapas de Karnaugh 12

1.2.3. Implementación mediante compuertas AND, OR y NOT . . 12

1.2.4. Implementación mediante compuertas NAND 12

2. Implementación de módulos en verilog **14**

2.1. Demultiplexor de 4 salidas 14

2.2. Codificador de 4 entradas 15

3. Ejercicio 4 - Conversor a codigo de Gray **16**

1. Algebra booleana y compuertas lógicas

En el álgebra booleana se conoce como término canónico de una función lógica a todo producto o suma en la cual aparecen todas las variables en su forma directa o inversa. Cualquier función lógica puede expresarse de forma canónica utilizando los conceptos de min y maxtérminos. El primero, se refiere a todas las filas para las cuales la función lógica es igual a uno en la tabla de verdad correspondiente, mientras que el segundo se corresponde con todos los valores para los cuales la función es igual a cero.

En el siguiente ejercicio se simplificarán dos funciones lógicas aplicando ambos conceptos. Luego se utilizarán mapas de Karnaugh para llegar a la misma expresión. A continuación se dibujará el circuito lógico resultante utilizando compuertas AND, OR y NOT, y por último, se usarán compuertas NAND exclusivamente.

1.1. Primera Expresión: suma de productos

1.1.1. Simplificación mediante álgebra booleana

La expresión de la cual se parte está dada por la siguiente fórmula:

$$f(e,d,c,b,a) = \sum m(0,2,4,7,8,10,12,16,18,20,23,24,25,26,27,28) \tag{1}$$

La ecuación 1 nos indica cuales entradas en la tabla de verdad son iguales a uno. A partir de ella podemos plantear la siguiente ecuación, la cual se trabajará para llegar a su respectiva expresión canónica.

$$\bar{e}\cdot\bar{d}\cdot\bar{c}\cdot\bar{b}\cdot\bar{a}+\bar{e}\cdot\bar{d}\cdot\bar{c}\cdot b\cdot\bar{a}+\bar{e}\cdot\bar{d}\cdot c\cdot\bar{b}\cdot\bar{a}+\bar{e}\cdot\bar{d}\cdot c\cdot b\cdot a+\bar{e}\cdot d\cdot\bar{c}\cdot\bar{b}\cdot\bar{a}+\bar{e}\cdot d\cdot\bar{c}\cdot b\cdot\bar{a}+\bar{e}\cdot d\cdot c\cdot\bar{b}\cdot\bar{a}+e\cdot\bar{d}\cdot\bar{c}\cdot\bar{b}\cdot\bar{a}+$$
$$e\cdot\bar{d}\cdot\bar{c}\cdot b\cdot\bar{a}+e\cdot\bar{d}\cdot c\cdot\bar{b}\cdot\bar{a}+e\cdot\bar{d}\cdot c\cdot b\cdot a+e\cdot d\cdot\bar{c}\cdot\bar{b}\cdot\bar{a}+e\cdot d\cdot\bar{c}\cdot\bar{b}\cdot a+e\cdot d\cdot\bar{c}\cdot b\cdot\bar{a}+e\cdot d\cdot\bar{c}\cdot b\cdot a+e\cdot d\cdot c\cdot\bar{b}\cdot\bar{a} \tag{2}$$

La expresión anterior puede parecer complicada en un principio, pero esta ordenada según cada mintermino correspondiente. Para comenzar el proceso de simplificación, gracias a la ley de idempotencia se puede sumar términos ya presentes en la ecuación anterior. So procederá a duplicar los mintérminos 2, 18 y 26 y a ordenar la fórmula para facilitar la simplificación.

$$\bar{e}\cdot\bar{d}\cdot\bar{c}\cdot\bar{b}\cdot\bar{a}+\bar{e}\cdot\bar{d}\cdot\bar{c}\cdot b\cdot\bar{a}+e\cdot\bar{d}\cdot\bar{c}\cdot\bar{b}\cdot\bar{a}+e\cdot\bar{d}\cdot\bar{c}\cdot b\cdot\bar{a} \tag{3}$$

$$\bar{e}\cdot d\cdot\bar{c}\cdot b\cdot\bar{a}+e\cdot d\cdot\bar{c}\cdot b\cdot\bar{a}+\bar{e}\cdot\bar{d}\cdot\bar{c}\cdot b\cdot\bar{a}+e\cdot\bar{d}\cdot\bar{c}\cdot b\cdot\bar{a} \tag{4}$$

$$\bar{e}\cdot\bar{d}\cdot c\cdot\bar{b}\cdot\bar{a}+\bar{e}\cdot d\cdot c\cdot\bar{b}\cdot\bar{a}+e\cdot\bar{d}\cdot c\cdot\bar{b}\cdot\bar{a}+e\cdot d\cdot c\cdot\bar{b}\cdot\bar{a} \tag{5}$$

$$e\cdot d\cdot\bar{c}\cdot\bar{b}\cdot\bar{a}+e\cdot d\cdot\bar{c}\cdot\bar{b}\cdot a+e\cdot d\cdot\bar{c}\cdot b\cdot\bar{a}+e\cdot d\cdot\bar{c}\cdot b\cdot a \tag{6}$$

$$e \cdot \bar{d} \cdot c \cdot b \cdot a + \bar{e} \cdot \bar{d} \cdot c \cdot b \cdot a \tag{7}$$

Las sumas de productos anteriores pueden trabajarse si se factorizan por los términos apropiados:

$$\bar{d} \cdot \bar{c} \cdot \bar{a} \cdot (\bar{e} \cdot \bar{b} + \bar{e} \cdot b + e \cdot \bar{b} + e \cdot b) \tag{8}$$

$$\bar{c} \cdot b \cdot \bar{a} \cdot (\bar{e} \cdot b + e \cdot d + \bar{e} \cdot \bar{d} + e \cdot \bar{d}) \tag{9}$$

$$c \cdot \bar{b} \cdot \bar{a} \cdot (\bar{e} \cdot \bar{d} + \bar{e} \cdot d + e \cdot \bar{d} + e \cdot d) \tag{10}$$

$$e \cdot d \cdot c \cdot (\bar{b} \cdot \bar{a} + \bar{b} \cdot a + b \cdot \bar{a} + b \cdot a) \tag{11}$$

$$\bar{d} \cdot c \cdot b \cdot a \cdot (\bar{e} + e) \tag{12}$$

Luego aplicando la propiedad de combinación en todos los productos:

$$\bar{d} \cdot \bar{c} \cdot \bar{a} \cdot (\bar{e} \cdot \bar{b} + \bar{e} \cdot b + e \cdot \bar{b} + e \cdot b) \tag{13}$$

$$\bar{c} \cdot b \cdot \bar{a} \cdot (\bar{e} \cdot b + e \cdot d + \bar{e} \cdot \bar{d} + e \cdot \bar{d}) \tag{14}$$

$$c \cdot \bar{b} \cdot \bar{a} \cdot (\bar{e} \cdot \bar{d} + \bar{e} \cdot d + e \cdot \bar{d} + e \cdot d) \tag{15}$$

$$e \cdot d \cdot c \cdot (\bar{b} \cdot \bar{a} + \bar{b} \cdot a + b \cdot \bar{a} + b \cdot a) \tag{16}$$

$$\bar{d} \cdot c \cdot b \cdot a \cdot (\bar{e} + e) \tag{17}$$

En 13, 14, 15 y 16 se puede aplicar la propiedad de combinación, mientras que en 12 se utiliza la ley del complemento:

$$\bar{d} \cdot \bar{c} \cdot \bar{a} \cdot (\bar{e} + e) \tag{18}$$

$$\bar{c} \cdot b \cdot \bar{a} \cdot (d + \bar{d}) \tag{19}$$

$$c \cdot \bar{b} \cdot \bar{a} \cdot (\bar{e} + e) \tag{20}$$

$$e \cdot d \cdot c \cdot (\bar{b} + b) \tag{21}$$

$$\bar{d} \cdot c \cdot b \cdot a \tag{22}$$

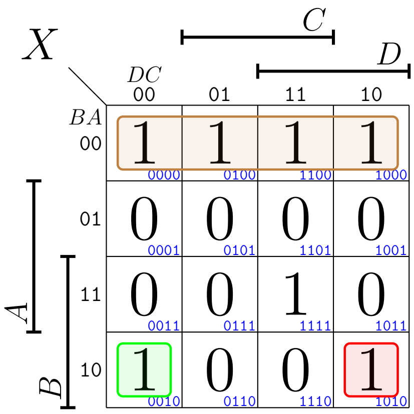
Sumando 18, 19, 20, 21 y 22:

$$\bar{d}\cdot\bar{c}\cdot\bar{a}\cdot(\bar{e}+e)+\bar{c}\cdot b\cdot\bar{a}\cdot(d+\bar{d})+c\cdot\bar{b}\cdot\bar{a}\cdot(\bar{e}+e)+e\cdot d\cdot c\cdot(\bar{b}+b)+\bar{d}\cdot c\cdot b\cdot a \tag{23}$$

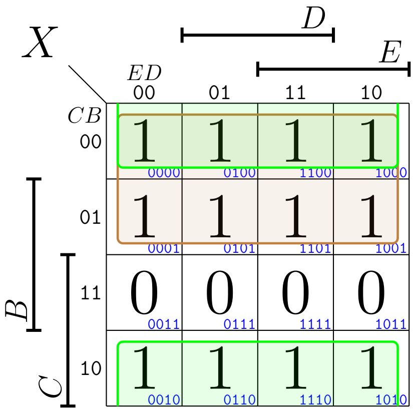
Finalmente se aplica nuevamente la ley del complemento en los cuatro primeros productos y se llega a la expresión final:

$$\boxed{\bar{d}\cdot\bar{c}\cdot\bar{a}+\bar{c}\cdot b\cdot\bar{a}+c\cdot\bar{b}\cdot\bar{a}+e\cdot d\cdot c\cdot+\bar{d}\cdot c\cdot b\cdot a} \tag{24}$$

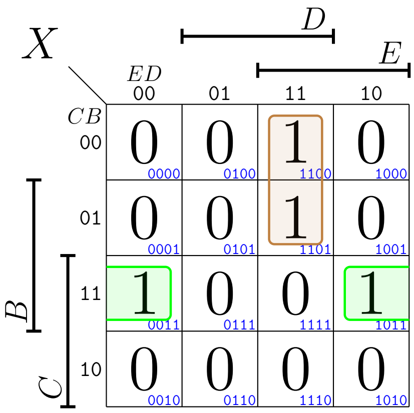
1.1.2. Simplificación mediante mapas de Karnaugh



$\overline{B}\,\overline{A} + \overline{D}\,\overline{C}\,B\,\overline{A}$



$A = 0 / \overline{B} + \overline{C}$



$A = 1/\,\underline{C\,B\,\overline{D}} + \underline{E\,D\,\overline{C}}$

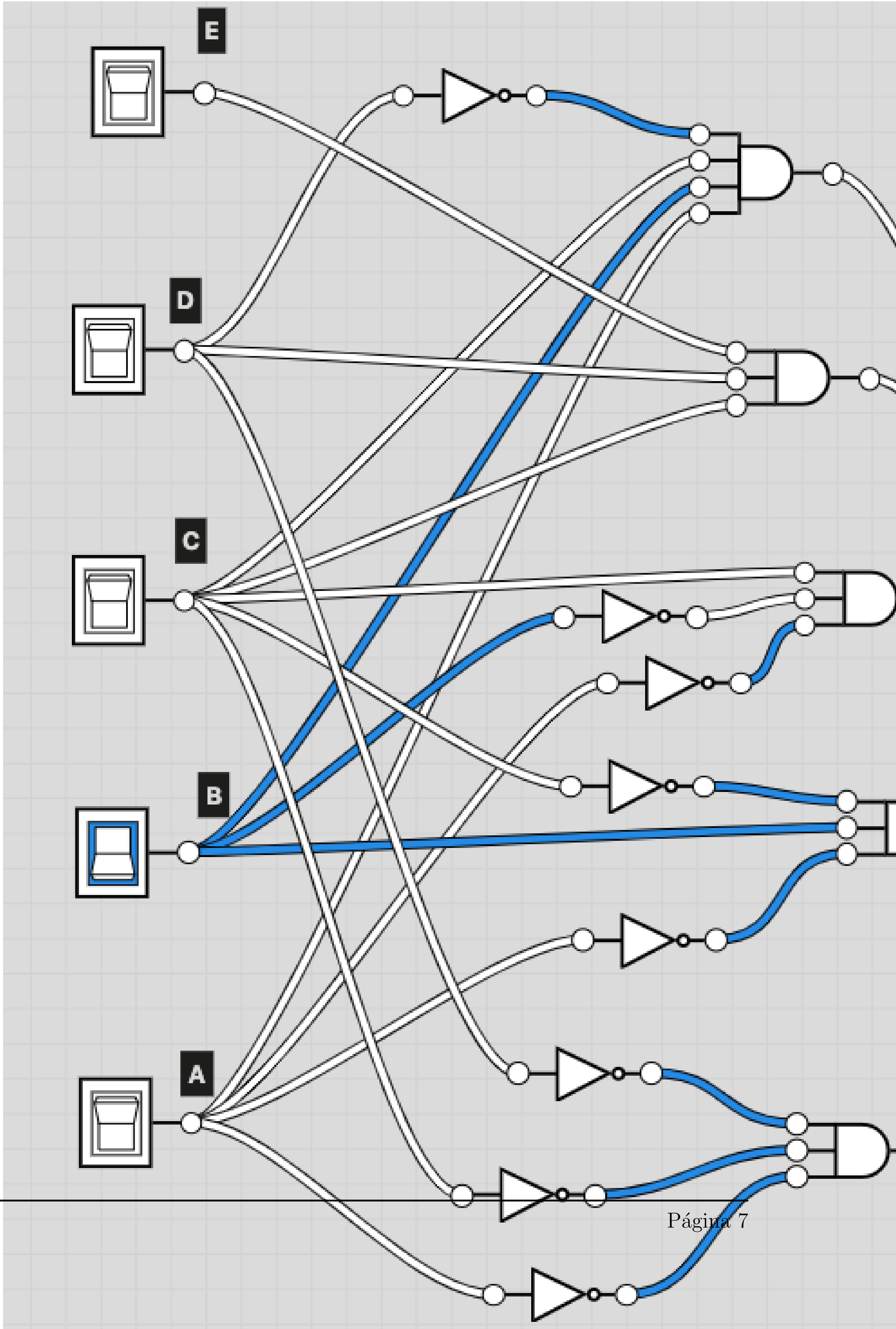
(0,2,8,10,16,18,24,26)	$\bar{C}\bar{E}$
(0,4,8,12,16,20,24,28)	$\bar{D}\bar{E}$
(24,25,26,27)	$AB\bar{C}$
(7,23)	$\bar{B}CDE$

	$\bar{D}\bar{E}$	$\bar{D}E$	$D\bar{E}$	DE
$\bar{A}\bar{B}\bar{C}$	1	0	0	1
$\bar{A}\bar{B}C$	1	0	1	0
$\bar{A}BC$	1	0	0	0
$\bar{A}B\bar{C}$	1	0	0	1
$A\bar{B}\bar{C}$	1	0	0	1
$A\bar{B}C$	1	0	1	0
ABC	1	0	0	0
$AB\bar{C}$	1	1	1	1

	$\bar{D}\bar{E}$	$\bar{D}E$	$D\bar{E}$	DE
$\bar{A}\bar{B}\bar{C}$	0	1	3	2
$\bar{A}\bar{B}C$	4	5	7	6
$\bar{A}BC$	12	13	15	14
$\bar{A}B\bar{C}$	8	9	11	10
$A\bar{B}\bar{C}$	16	17	19	18
$A\bar{B}C$	20	21	23	22
ABC	28	29	31	30
$AB\bar{C}$	24	25	27	26

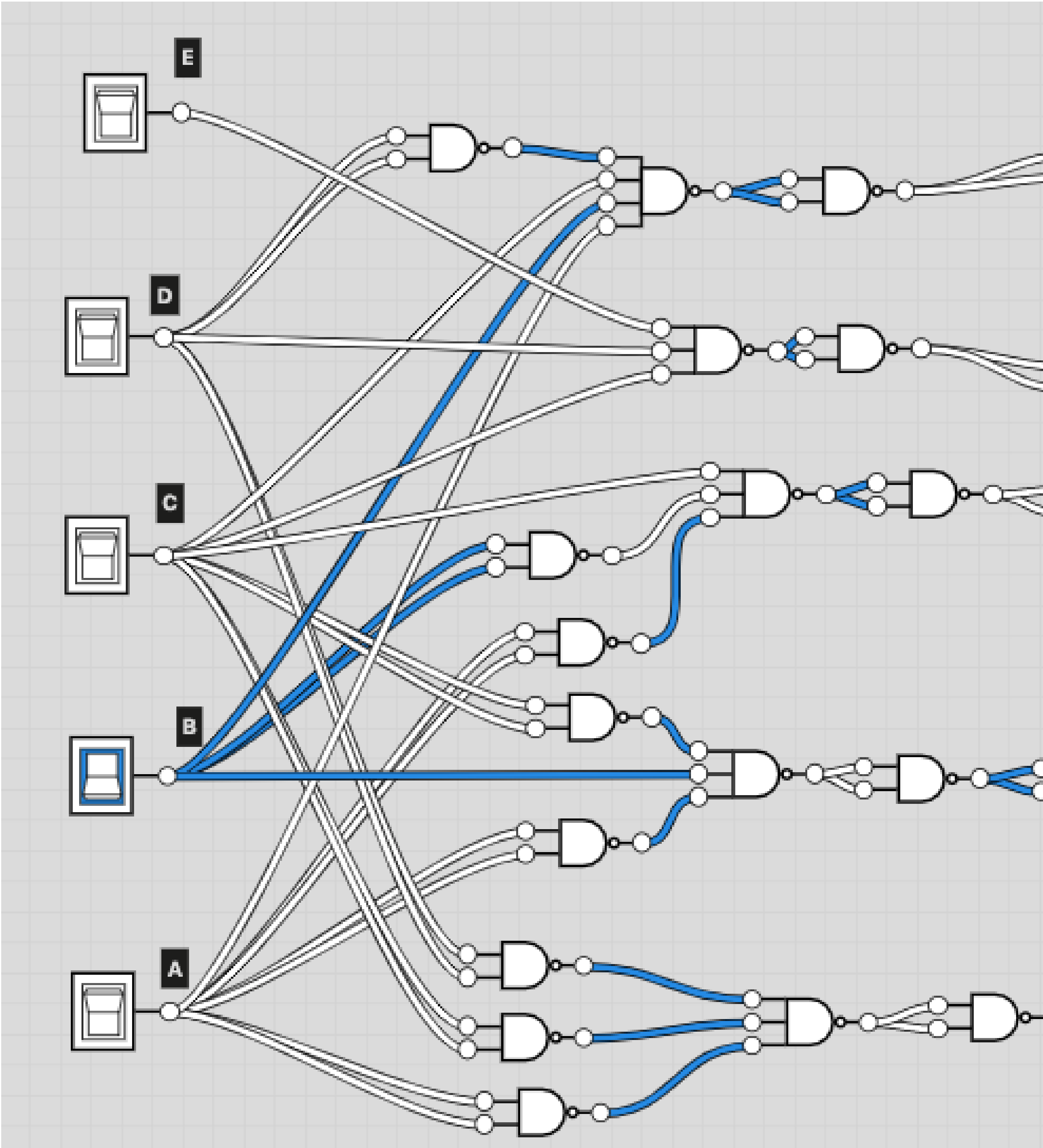
1.1.3. Implementación mediante compuertas AND, OR y NOT

La expresión obtenida en 24 puede ser implementada mediante compuertas lógicas facilmente:


E
D
C
B
A

1.1.4. Implementación mediante compuertas NAND

A su vez el circuito anterior implementado mediante compuertas nand queda de la siguiente manera:



1.2. Segunda expresión: producto de sumas

1.2.1. Simplificación mediante álgebra booleana

Para la segunda parte del ejercicio, se comienza a partir del siguiente producto de sumas:

$$f(d,c,b,a) = \prod M_0, M_2, M_4, M_7, M_8, M_10, M_12) \tag{25}$$

A a partir de 25 se define la siguiente expresion:

$$(d{+}c{+}b{+}a)\cdot(d{+}c{+}\bar{b}{+}a)\cdot(d{+}\bar{c}{+}b{+}a)\cdot(d{+}\bar{c}{+}\bar{b}{+}\bar{a})\cdot(\bar{d}{+}c{+}b{+}a)\cdot(\bar{d}{+}c{+}\bar{b}{+}a)\cdot(\bar{d}{+}\bar{c}{+}b{+}a) \tag{26}$$

En este caso se usa nuevamente la propiedad de idempotencia, en este caso para un producto, para duplicar el mintermino número 8 y 0 y así facilitar el trabajo algebraico. Luego se separan los productos en tres grupos para su posterior factorización:

$$(d+c+b+a)\cdot(d+c+\bar{b}+a)\cdot(\bar{d}+c+b+a)\cdot(\bar{d}+c+\bar{b}+a) \tag{27}$$

$$(d+c+b+a)\cdot(d+\bar{c}+b+a)\cdot(\bar{d}+c+b+a)\cdot(\bar{d}+\bar{c}+b+a) \tag{28}$$

$$(d+\bar{c}+\bar{b}+\bar{a}) \tag{29}$$

Tanto en 27 como en 28 es posible usar la propiedad de combianción para el producto entre los primeros dos y los últimos dos términos para simplificar las expresiones. 29 esta expresado en forma canóncia.

$$(d+c+a)\cdot(\bar{d}+c+a) \tag{30}$$

$$(d+b+a)\cdot(\bar{d}+b+a) \tag{31}$$

Luego se utiliza la propiedad de combianción para el producto nuevamente, en ambas ecuaciones:

$$(c+a) \tag{32}$$

$$(b+a) \tag{33}$$

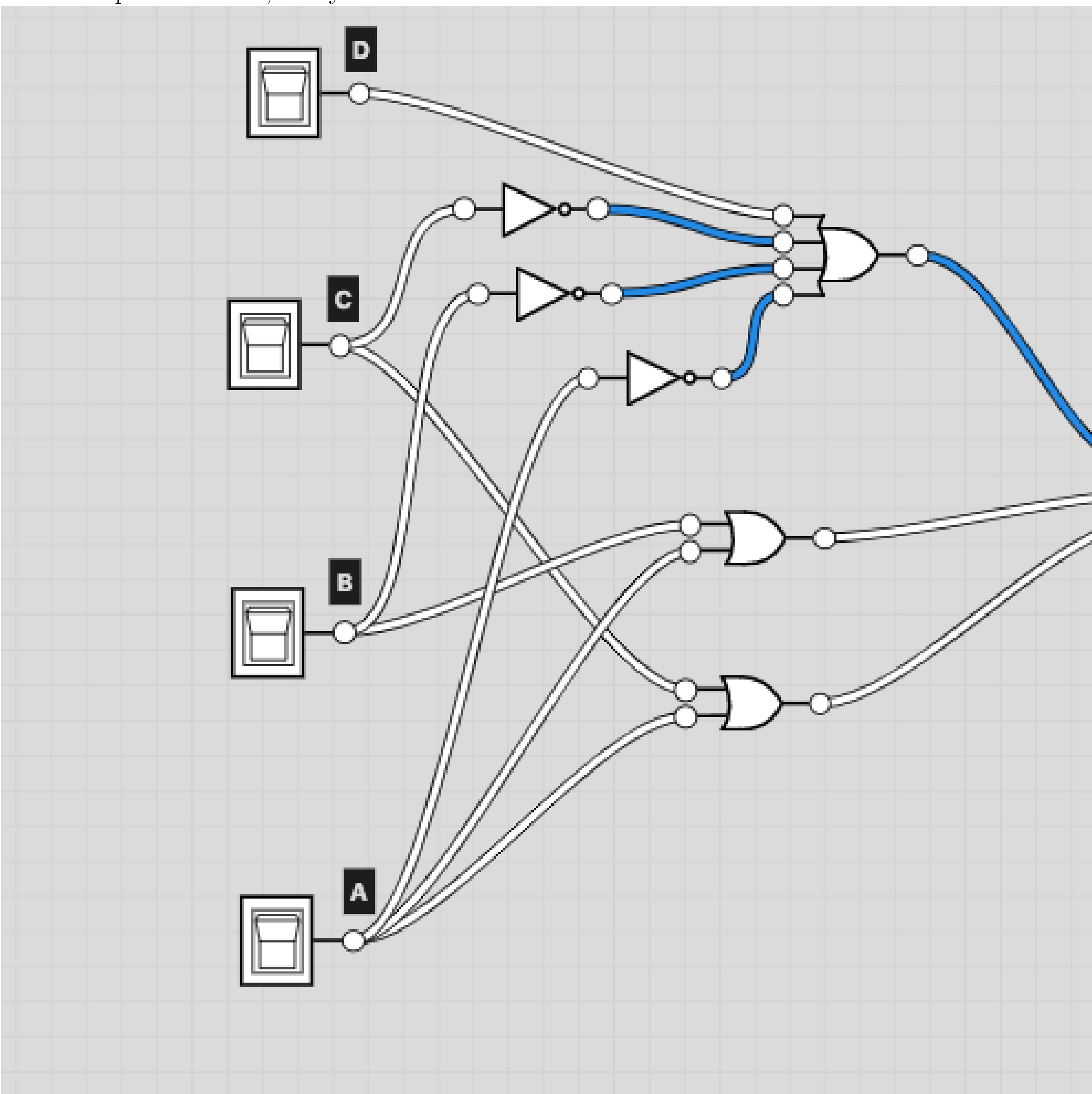
Por último se unen 32, 33 y 29 para llegar a una expresión final:

$$\boxed{(c+a)\cdot(b+a)\cdot(d+\bar{c}+\bar{b}+\bar{a})} \tag{34}$$

1.2.2. Simplificacioón mediante mapas de Karnaugh

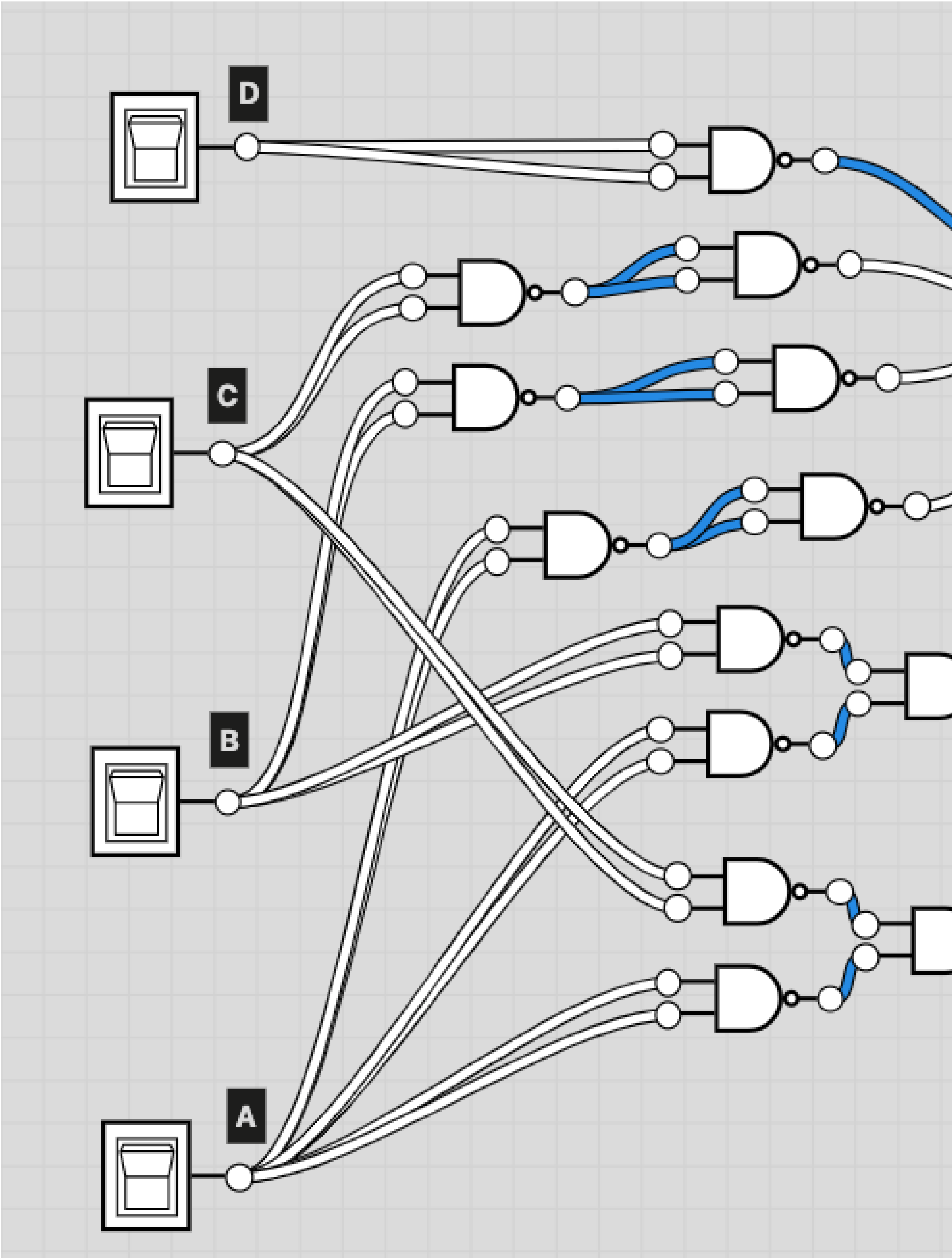
1.2.3. Implementación mediante compuertas AND, OR y NOT

Al igual que con la expresion anterior se implementó la función obtenida en 34 mediante compuertas AND, OR y NOT:



1.2.4. Implementación mediante compuertas NAND

Por último se realizó el circuito anterior solamente con compuertas nand:


D
C
B
A

2. Implementación de módulos en verilog

2.1. Demultiplexor de 4 salidas

A continuación, se analiza la tabla de verdad de un multiplexor de 4 salidas:

I	S_1	S_0	A	B	C	D
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	1	0	0
1	1	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1

Tabla 1: Tabla de verdad del Demultiplexor

Cada salida distinta nos permitirá diagramar un mapa de Karnaugh propio, los mismos se presentan a continuación:

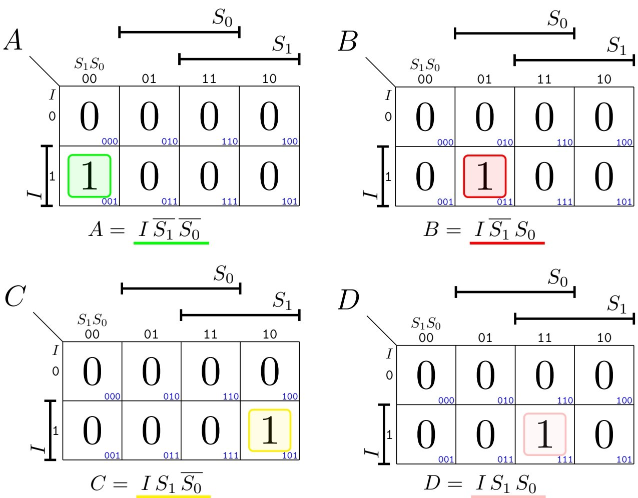


Figura 1: Mapas de Karnaugh de las salidas del Demultiplexor

Se procede a implementar el circuito hallado mediante los mapas:

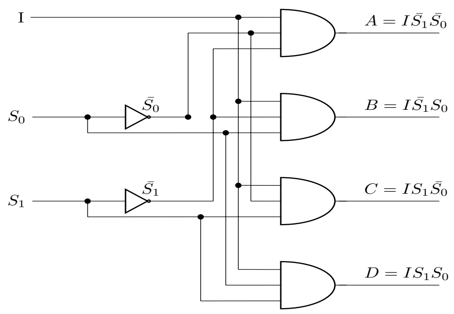


Figura 2: Circuito Demultiplexor de 4 salidas

Respecto del diseño en verilog,

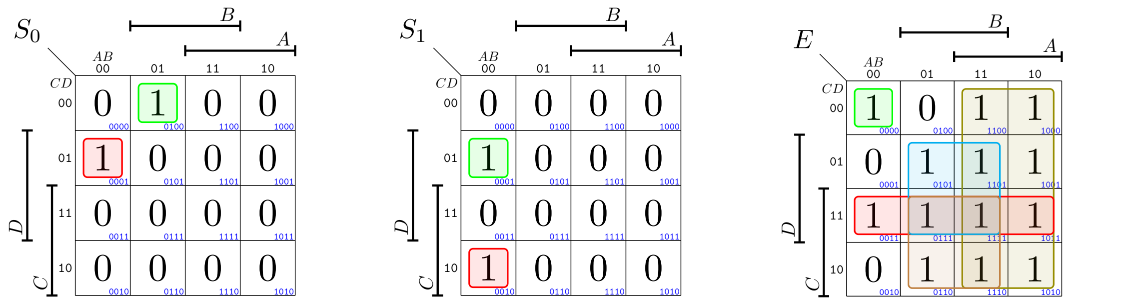
2.2. Codificador de 4 entradas

A continuación, se analiza la tabla de verdad de un codificador de 4 entradas:

A	B	C	D	S_1	S_0	E
1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	0
0	0	0	1	1	1	0
X	X	X	X	X	X	1

Tabla 2: Tabla de verdad del Codificador

Cada salida distinta nos permitirá diagramar un mapa de Karnaugh propio. Se contempla el caso de un error cuando las entradas no sean propias a las de un codificador. Los mapas se presentan a continuación:



$S_0 = \overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C}\,D + \overline{A}\,B\,\overline{C}\,\overline{D}$ $S_1 = \overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C}\,D + \overline{A}\,\overline{B}\,C\,\overline{D}$ $E = A + \overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C}\,\overline{D} + C\,D + C\,B + D\,B$

Figura 3: Mapas de Karnaugh de las salidas del Codificador

Por claridad, se coloca, por un lado, el circuito propio al codificador, y por otro, el utilizado para detectar un error. Sin embargo, los mismos podrían estar integrados. Los circuitos propuestos son los siguientes:

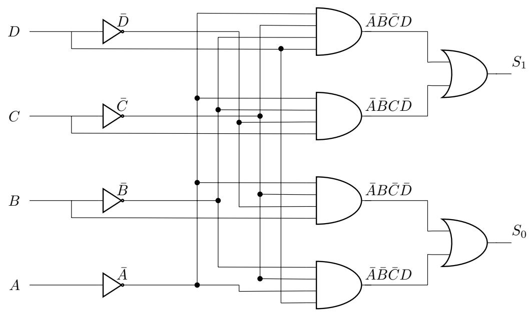


Figura 4: Circuito Codificador de 4 entradas

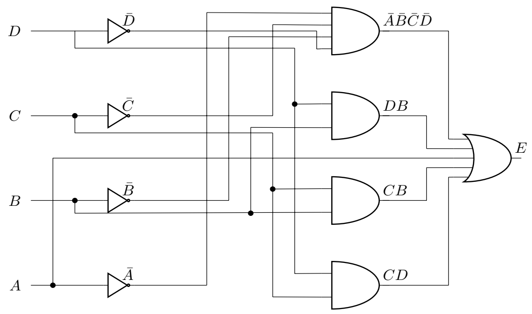


Figura 5: Circuito detector de error - Encoder

3. Ejercicio 4 - Conversor a codigo de Gray

Para esté ejercicio, realizamos el desarrollo de un circuito lógico capaz de convertir un número binario de 4 bits a su equivalente de código de Gray, esto resulta en la siguiente tabla de verdad:

Entrada				Salida			
X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	1
0	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1	1	0
0	1	0	1	0	1	1	1
0	1	1	0	0	1	0	1
0	1	1	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	1	0	0
1	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	0
1	1	0	0	1	0	1	0
1	1	0	1	1	0	1	1
1	1	1	0	1	0	0	1
1	1	1	1	1	0	0	0

De la tabla de verdad obtenemos las siguientes ecuaciones en función de los mintérminos:

$$Y_4 = m_1 + m_2 + m_5 + m_6 + m_9 + m_{10} + m_{13} + m_{14}$$
$$Y_3 = m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_{10} + m_{11} + m_{12} + m_{13}$$
$$Y_2 = m_4 + m_5 + m_6 + m_7 + m_8 + m_9 + m_{10} + m_{11}$$
$$Y_1 = m_8 + m_9 + m_{10} + m_{11} + m_{12} + m_{13} + m_{14} + m_{15}$$

Que al reemplazar cada mintérmino por su correspondiente expresión obtenemos:

$$Y_4 = \overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_3} \cdot X_4 + \overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \cdot X_3 \cdot \overline{X_4} + \overline{X_1} \cdot X_2 \cdot \overline{X_3} \cdot X_4 + \overline{X_1} \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot \overline{X_4} + X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_3} \cdot X_4 + X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot X_3 \cdot \overline{X_4} + X_1 \cdot X_2 \cdot \overline{X_3} \cdot X_4 + X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot \overline{X_4}$$
$$Y_3 = \overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \cdot X_3 \cdot \overline{X_4} + \overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \cdot X_3 \cdot X_4 + \overline{X_1} \cdot X_2 \cdot \overline{X_3} \cdot \overline{X_4} + \overline{X_1} \cdot X_2 \cdot \overline{X_3} \cdot X_4 + X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot X_3 \cdot \overline{X_4} + X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot X_3 \cdot X_4 + X_1 \cdot X_2 \cdot \overline{X_3} \cdot \overline{X_4} + X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot X_3 \cdot X_4$$
$$Y_2 = \overline{X_1} \cdot X_2 \cdot \overline{X_3} \cdot \overline{X_4} + \overline{X_1} \cdot X_2 \cdot \overline{X_3} \cdot X_4 + \overline{X_1} \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot \overline{X_4} + \overline{X_1} \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 + X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_3} \cdot \overline{X_4} + X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_3} \cdot X_4 + X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot X_3 \cdot \overline{X_4} + X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot X_3 \cdot X_4$$
$$Y_1 = X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_3} \cdot \overline{X_4} + X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_3} \cdot X_4 + X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot X_3 \cdot \overline{X_4} + X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot X_3 \cdot X_4 + X_1 \cdot X_2 \cdot \overline{X_3} \cdot \overline{X_4} + X_1 \cdot X_2 \cdot \overline{X_3} \cdot X_4 + X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot \overline{X_4} + X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$$

Tenemos unas funciones muy larga y como las tenemos expresadas en mintérminos podemos simplificarlas por medio del mapa de Karnaugh. Ésto nos da a lugar a los siguientes mapas de Karnaugh y funciones de salida simplificadas:

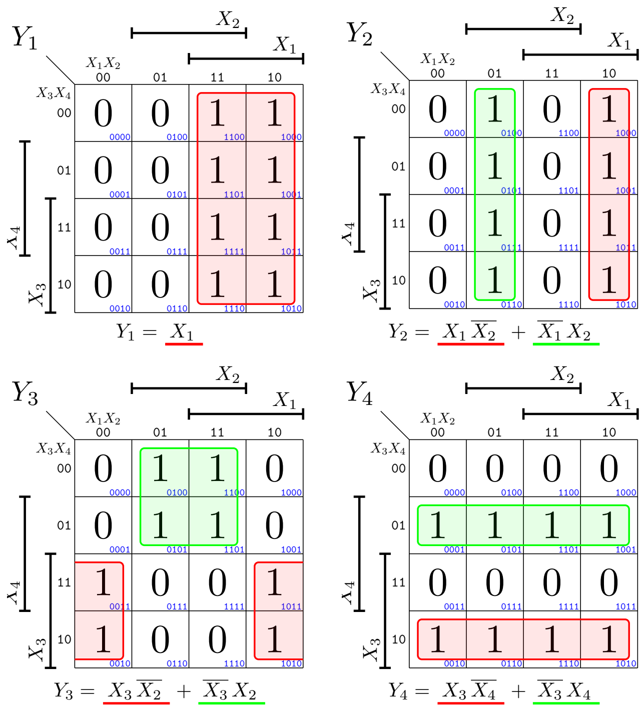


Figura 6: Mapas de Karnaugh de las salidas Y_1, Y_2, Y_3 e Y_4

De los valores obtenidos podemos realizar el siguiente circuito conformado por compuertas OR, AND y NOT:

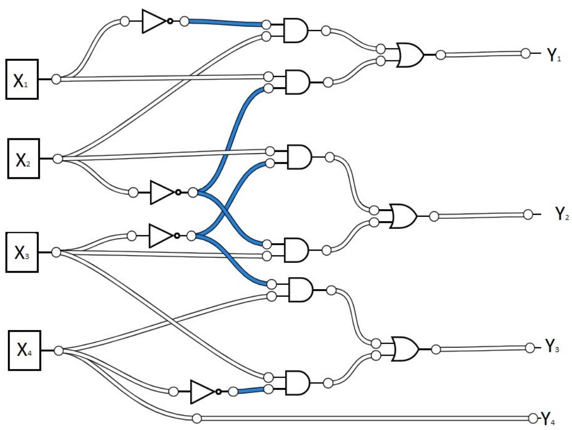


Figura 7: Implementación del conversor a código de Gray