



**Universidad
Europea**

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

Circuitos Digitales

© Todos los derechos de propiedad intelectual de esta obra pertenecen en exclusiva a la Universidad Europea de Madrid, S.L.U. Queda terminantemente prohibida la reproducción, puesta a disposición del público y en general cualquier otra forma de explotación de toda o parte de la misma.

La utilización no autorizada de esta obra, así como los perjuicios ocasionados en los derechos de propiedad intelectual e industrial de la Universidad Europea de Madrid, S.L.U., darán lugar al ejercicio de las acciones que legalmente le correspondan y, en su caso, a las responsabilidades que de dicho ejercicio se deriven.



Índice

Presentación	4
Circuito digital	5
Sistemas digitales	6
Módulos combinacionales básicos	7
Modulo decodificador	9
Codificador	11
Multiplexores	13
Sumador	14
Creación de circuitos	17
Circuitos con multiplexores	21
Resumen	23

Presentación

En este recurso se describe qué es un **circuito combinacional** y se muestran los circuitos de uso más extendidos y qué son fuente para la construcción de **diseños más complejos**.

Se recuerda qué es un circuito digital convencional, sin entrar en las demostraciones de circuito mínimo, simplificación de funciones, etc. Partiendo ya del diseño modular utilizando decodificadores y multiplexores para la resolución de problemas digitales simples.

Según se avance se irá aumentando la dificultad, hasta llegar a los circuitos secuenciales, que permiten implementar circuitos de mayor complejidad.

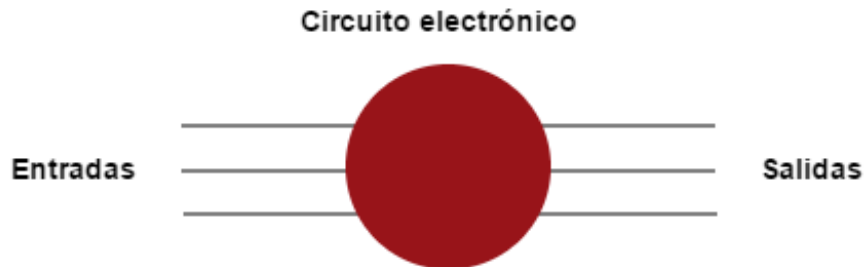
Los **objetivos** que se pretenden alcanzar en este tema son los siguientes:

- Recordar qué es un **circuito combinacional**.
- Relacionar los contenidos con **bases de la Informática**.



Circuito digital

Un circuito digital es, en resumen, un circuito electrónico, es decir, un circuito al que le entran señales eléctricas y en función de estas señales se generan señales de salida.



Matemáticamente, un **circuito eléctrico** se representa como una **función**. Dicha función toma información del exterior mediante **variables** (nuestras señales de entrada) y genera un resultado según los valores de entrada.

Por ejemplo: $f(x,y) = 2x^2 + 3xy - 5y^2 + 3$

Las señales que puede tomar un sistema digital serán **señales binarias** 0 ó 1. Por lo que se establecerá una lógica entre tensión eléctrica y valor lógico. Por ejemplo, en TTL lógica positiva, 5 voltios corresponderán con un 1 lógico y 0 voltios con un 0 lógico.

Los **sistemas electrónicos digitales**, se pueden categorizar en dos grupos:

- Sistemas digitales combinacionales.
- Sistemas digitales secuenciales.

Sistemas digitales

Los sistemas electrónicos digitales se dividen en **dos tipos** de sistemas o grupos:



Sistemas digitales
combinacionales

Un sistema digital combinacional se caracteriza porque a una **misma combinación** en las **entradas**, una **misma combinación** en la **salida**.

Por ejemplo, un sistema de riego en el que para determinar si se activan los aspersores, la decisión se toma con respecto a la hora y día actual, a la temperatura ambiental, a la humedad del terreno, etc. Cuando las condiciones son propicias, el sistema de riego se activará, indistintamente de cómo y cuándo se haya regado anteriormente.

Los circuitos digitales combinacionales, solo se construyen con **funciones lógicas** tales como AND, NAND, OR, NOR, NOT, etc.



Sistemas digitales
secuenciales

Por el contrario, un sistema digital secuencial, las **salidas** no solo **dependen** de las entradas actuales, sino también de la **secuencia de entradas anteriores**. Es decir, el sistema **tiene memoria** y toma una decisión teniendo en cuenta las entradas y el histórico de entradas.

Por ejemplo, un sistema de control de apertura de una caja fuerte, por teclado numérico. En este sistema. La puerta se abre al pulsar la tecla “#” al final de la combinación correcta. Pero no se abre siempre que se pulsa “#”, sino, cuando se pulsa dicha tecla, después de pulsar la secuencia correcta anteriormente. Por lo tanto, el sistema recuerda las teclas y su orden pulsadas en secuencia.

Este tipo de circuitos, se diferencian de los anteriores, que además de las funciones lógicas estándar, también necesitan de circuitos que permitan almacenar valores, o lo que es lo mismo, **tener memoria**.

Módulos combinacionales básicos

Existen varios circuitos combinacionales, que por su amplio uso, se fabrican ya **prediseñados** y que con muy pocas modificaciones permiten **resolver problemas fácilmente** y siguiendo unos sencillos pasos. Estos circuitos se pueden comprar en tiendas especializadas y son de uso muy común en circuitería.

A continuación, se presenta los **tipos** y los **modos** de funcionamiento de los módulos combinacionales básicos:

Tipos	<p>Estos circuitos son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Codificadores/decodificadores. • Conversores de código. • Multiplexores/demultiplexores. • Sumadores.
Modos de funcionamiento	<p>Tienen dos modos de funcionamiento, según lo que se consideres un 1 o un 0 lógico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trabajamos en lógica positiva cuando a la tensión eléctrica alta le corresponde un 1 lógico o a tensión baja un 0 lógico. • Trabajamos en lógica negativa cuando le corresponde un 0 lógico a la tensión alta y un 1 lógico a la tensión baja.

Es raro encontrar circuitos puramente diseñados en lógica positiva o negativa, siendo la más común encontrarnos **circuitos que mezclan** la lógica positiva y la negativa. En los esquemáticos de los circuitos es fácilmente discernible que entradas/salidas están en lógica negativa, porque estas presentan el dibujo de un pequeño círculo en la entrada, mientras que en lógica positiva, no está presente este círculo.

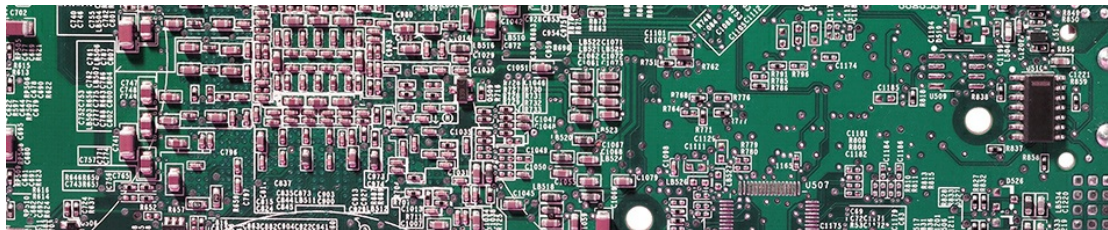
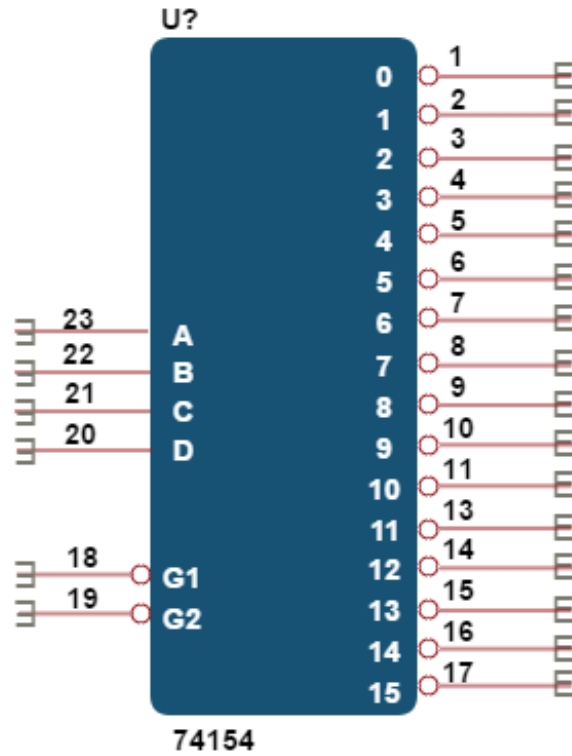


Ejemplo

Ejemplo de circuito

Ejemplo de circuito

A continuación, se presenta el ejemplo gráfico de un circuito:



Modulo decodificador

El decodificador es un circuito que consta de “n” entradas, y “m” salidas (donde $n < m$) que se activan de forma individual. Un decodificador muy **común** es el **decodificador binario**, que tiene “n” entradas y “ 2^n ” salidas.



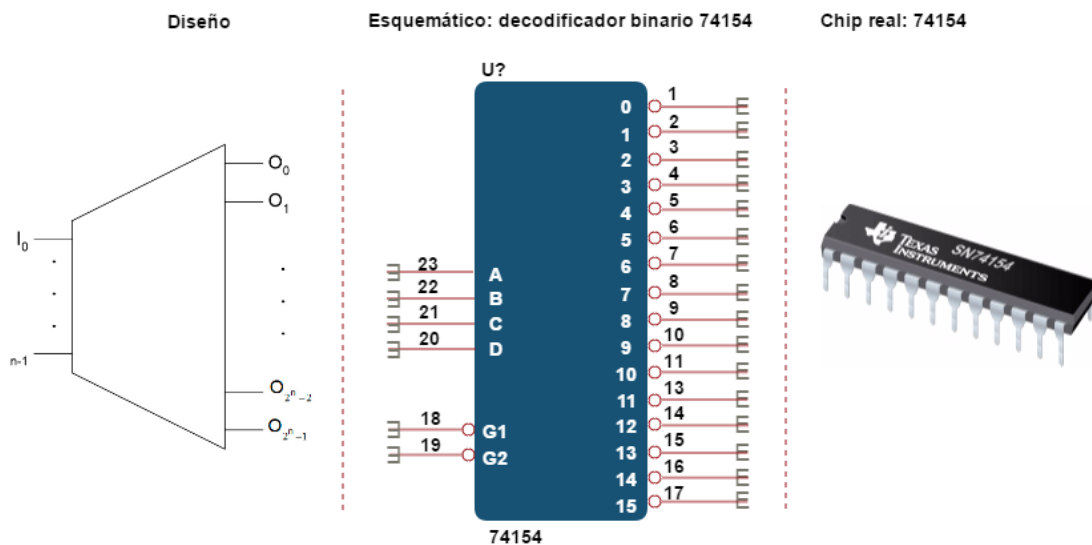
En detalle

¿Cuál es el funcionamiento de decodificador?

¿Cuál es el funcionamiento de decodificador?

Funcionamiento: el decodificador activa una y solo una señal de salida, correspondiente con la codificación de las entradas. Así, por ejemplo, si a la entrada se pone la codificación $I_x = "0101"$ se activará la salida O_5 , o para la entrada $I_x = "0110"$ se activará la señal O_3 , permaneciendo todas la demás a desactivadas.

A continuación, se presentan algunos ejemplos en imágenes:



Fuente del chip real: cortesía de Texas Instruments

Decodificadores con entrada habilitadora

Los decodificadores suelen incluir una **entrada** más que tiene como función **habilitar el decodificador**, denotada usualmente como E (Enable) o CS (Chip Select). Si la entrada habilitadora está desactivada, todas las salidas del decodificador se mantienen desactivadas. Por el contrario si la entrada habilitadora está activada se activa la salida seleccionada por el valor de las entradas de control.

En el **ejemplo** 74154 anterior, las entradas G1 y G2 son entradas habilitadores activas a nivel bajo.

Codificador

Un codificador es un **dispositivo combinacional** de “ m ” entradas y “ n ” salidas (donde $m > n$).

Su funcionamiento responde a:

- Solo **una** de las entradas puede estar **activa** en cada momento.
- A **cada entrada** le corresponde una **palabra** en las “ n ” líneas de salida. No se activa una sola salida, sino un conjunto que codifica la entrada correspondiente.
- Esta correspondencia establece un **código** que permite **identificar** qué entrada está activa en función de la combinación de valores de las salidas.



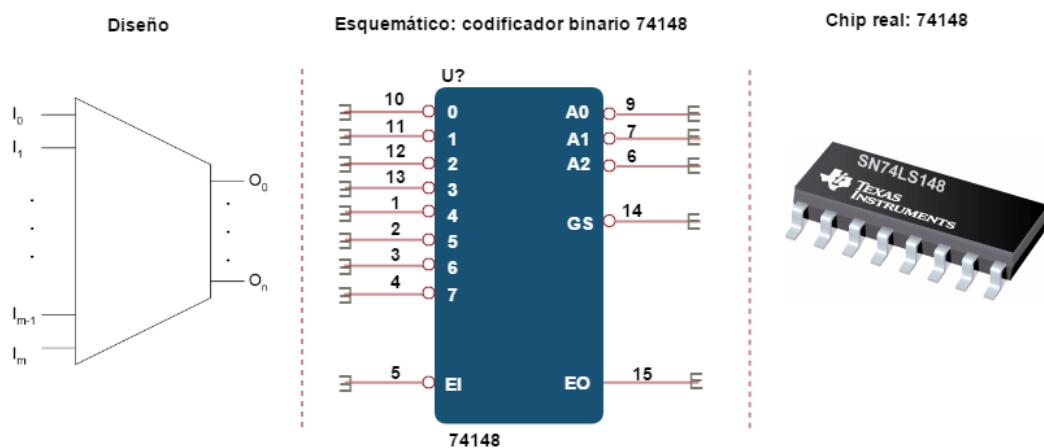
Ejemplo

Ejemplo

Ejemplo

Si se activa la entrada I_4 , en la salida tendremos codificada la salida $O_x = “0100”$ o si a la entrada se activa la entrada I_9 a la salida tendremos $O_x = “1001”$

Los decodificadores más típicos son los **decodificadores binarios**, que constan de $m = 2^n$ entradas y n salidas. El decodificador binario, codifica en binario sobre sus n salidas cuál de las 2^n entradas se ha activado.



Fuente del chip real: cortesía de Texas Instruments

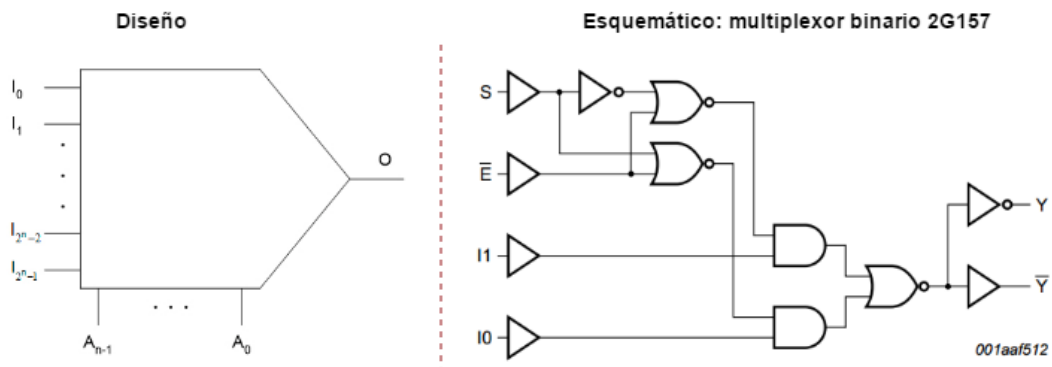
A continuación, se definen **dos partes** relacionadas con los codificadores:

Codificador con prioridad	El codificador con prioridad permite activar más de una entrada simultáneamente . Cada entrada tiene asignada una prioridad distinta de forma que el codificador sólo tiene en cuenta la entrada activa de mayor prioridad, descartando las demás entradas.
Convertidores de código	<p>Los dispositivos convertidores de código permiten la comunicación entre dispositivos que manejan la misma información pero codificada de distinta forma.</p> <p>Un ejemplo es el convertidor de dígitos decimales en BCD a su representación en el código que maneja el <i>display</i> de 7 segmentos.</p>

Multiplexores

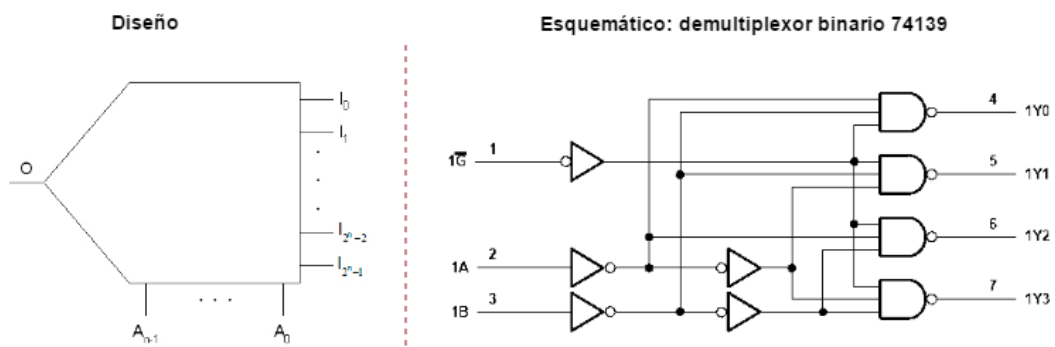
Los multiplexores son dispositivos que tienen “ 2^n ” entradas de datos y una única salida. Su función consiste en **conectar** de forma controlada la **una y solo una entrada de datos a la salida**. Para determinar la entrada de datos que está conectada a la salida se emplean “ n ” entradas de control (dirección). Dependiendo del valor que tomen las entradas de control A_{n-1}, \dots, A_0 se conectará una u otra entrada a la salida. La entrada de datos seleccionada será aquella cuyo subíndice coincide con el valor numérico de las entradas de control.

A **diferencia** del decodificador, en este dispositivo no se pone una 1 lógico en la salida correspondiente, sino que se pone lo que la entrada indique. Si la entrada es un 1, en la salida se pone un 1 y si es un 0, se pone un 0.



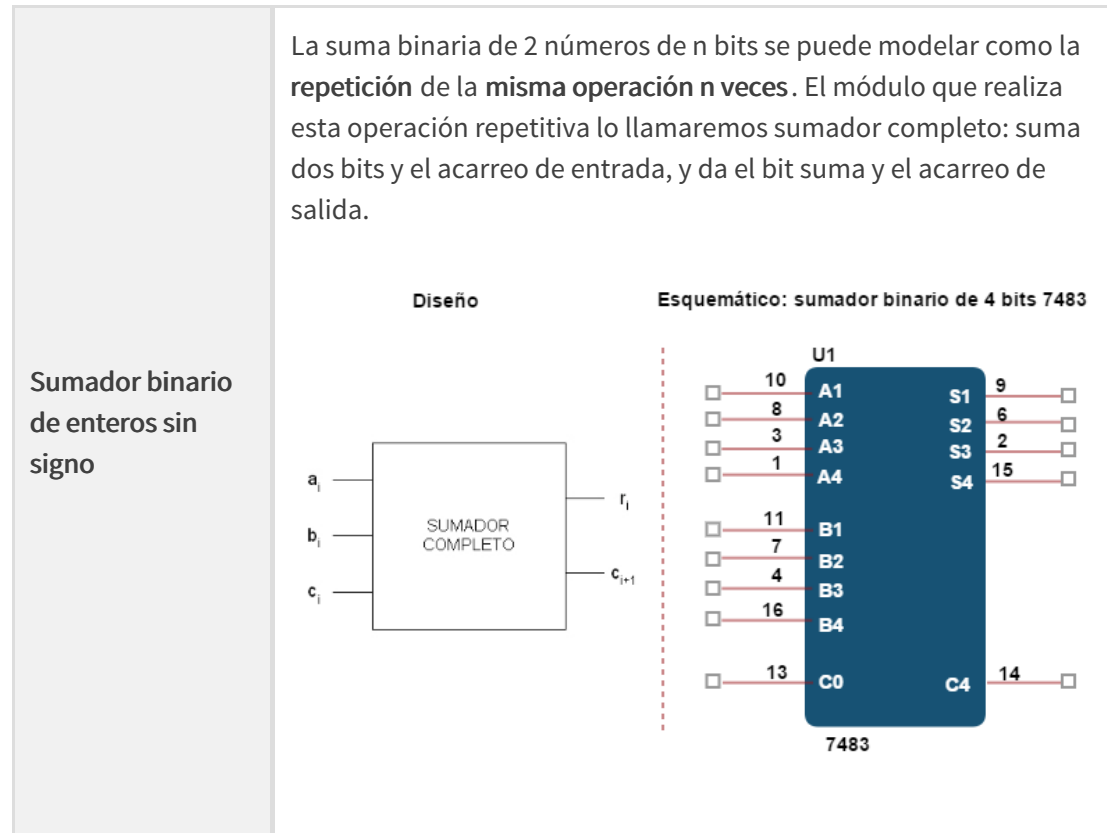
Demultiplexores

Un demultiplexor es un dispositivo que permite direccionar una entrada a una de sus 2^n salidas. Para controlar a qué salida se dirige la entrada, se utilizan n **entradas de control**.



Sumador

A continuación, hablamos de dos tipos de sumadores y de sus diferencias:

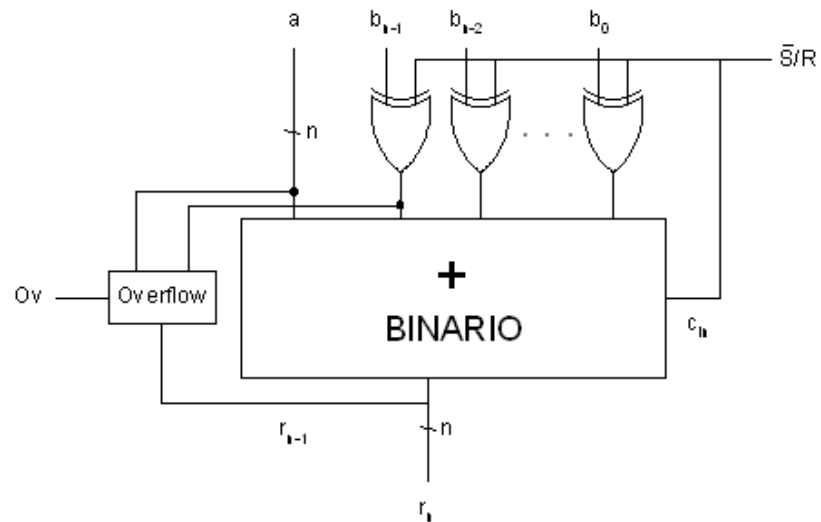


Sumador/restador
en Complemento
a 2 (Ca2)

Circuito que permite realizar **sumas y restas de números en Ca2** utilizando como base un sumador simple de binario puro.

El sumador restador tiene una entrada de control extra "S/R" que permite seleccionar el tipo de operación. Cuando S/R es un 0, el circuito se comporta como un sumador estándar, por el contrario, cuando esta señal es un 1, las puertas XOR de la entrada b_i se invierten, haciendo el Ca_1 de "b", al tiempo que por el C_{in} inicial también se pone un 1, lo que incrementa la suma en una unidad, Combinando estas dos acciones, lo que se consigue es el Ca_2 de B.

Por tanto, se convierten las **restas en sumas** donde el sustrayendo se transforma en negativo. Así la operación $3 - 5$ se convierte en $3 + (-5)$.





Creación de circuitos

Ahora toca hacer una serie de preguntas para hacer útil la creación de los circuitos.

¿Para qué podemos utilizar estos circuitos prediseñados?

Supongamos que queremos automatizar la iluminación de una sala de reuniones en la cual se han instalado los sensores de:

- **Sensor PIR:** sensor infrarrojo, que detecta si hay personas en la sala. En caso de que haya personas, devuelve 5v por la señal de presencia.
- **Sensor de iluminación:** este sensor informa si el nivel de luz diurna es suficiente para trabajar sin necesidad de encender la iluminación artificial. Además, se **monitoriza** cuando el **proyector** de sala está **funcionando**. Teniendo una señal que está a valor 5v cuando el proyector está en uso. Pero también se dispone de un **interruptor manual** que al accionarlo, la luz permanece encendida constantemente, saltándose los demás sensores.

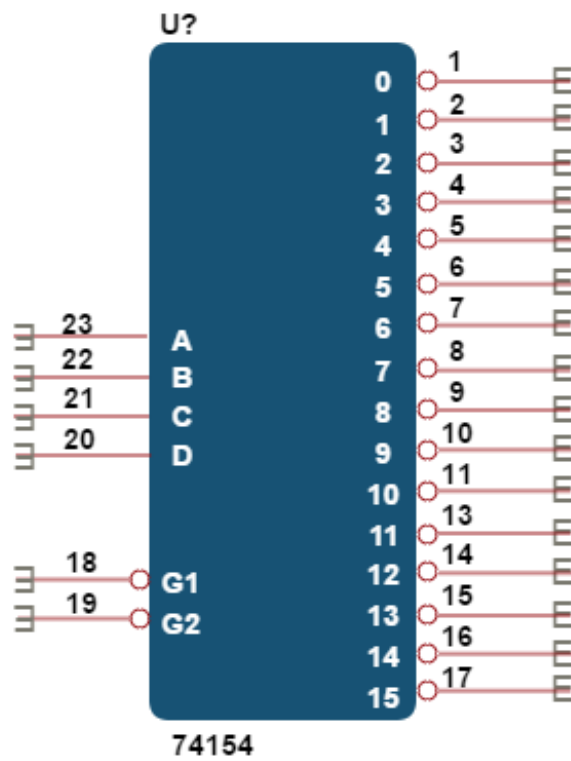
¿Cómo podemos hacer este sistema “inteligente”?

A continuación, se siguen una serie de **pasos** para hacer este sistema de iluminación inteligente:

Fase de especificación	<p>Inicialmente hacemos las especificaciones de cuando queremos que la iluminación artificial este encendida. Para ello, se encenderán las luces solo en los casos de:</p> <ul style="list-style-type: none">• El interruptor manual está activado.• Con el interruptor manual en automático (valor 0 lógico) se encenderá la luz si hay personas dentro de la sala y la iluminación diurna no es suficiente.• Pero si el proyector esta encendido, entonces la iluminación artificial se apagará, para facilitar una mejor visualización de las presentaciones.
------------------------	---

Fase de creación	<p>Crearemos un esquema en forma de tabla de verdad, que especificará para todas las posibles combinaciones de los sensores, en qué estado tendría que estar la iluminación.</p> <p>La nomenclatura sería la siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none">● Interruptor: 0 lógico = Modo automático, 1 lógico = Modo Manual = siempre encendido.● S. Presencia: 1 lógico = Sala ocupada, 0 lógico = Sala desocupada.● S. Luz Diurna: 1 lógico = hay suficiente luz, 0 lógico = No hay suficiente luz● Proyector: 1 lógico = proyector en funcionamiento, 0 lógico = Proyector apagado.● ¿Encender luz?: 0 lógico = No encender, 1 lógico = Encender luz.
	<p>Ya tenemos representado como queremos que sea el funcionamiento de nuestro sistema. Ahora, solo hay que construirlo, y para ello vamos a utilizar un decodificador 4^a16, es decir, de 4 entradas y 16 salidas.</p> <p>Si a nuestro decodificador, conectamos directamente las señales de los sensores a las entradas, ¿Qué ocurriría cuando estas señales representan el caso “0, 1, 0, 1 (caso 5)”? Es decir, el interruptor está en automático, hay presencia en la sala, la luz diurna no es suficiente y el proyector esta encendido.</p> <p>El decodificador decodificaría estas entradas, seleccionaría a la salida 5 como la salida a activar. Pero justamente esta combinación no provoca encender la luz artificial de la sala.</p> <p>Por el contrario, si el caso fuese la combinación “0, 1, 0, 0”, es decir, el interruptor está en automático, hay presencia en la sala, la luz diurna no es suficiente y el proyector está apagado. En este caso, el decodificador decodificaría estas entradas, seleccionaría a la salida 4 como la salida a activar. Y justamente, esta combinación debería encender la luz artificial de la sala.</p>

Fase de construcción



En detalle

Representación en tabla del funcionamiento

Representación en tabla del funcionamiento

Casos	Entradas				Salida
	Interruptor	S. Presencia	S. Luz diurna	Proyector	¿Encender luz?
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	1
5	0	1	0	1	0
6	0	1	1	0	0
7	0	1	1	1	0
8	1	0	0	0	1
9	1	0	0	1	1
10	1	0	1	0	1
11	1	0	1	1	1
12	1	1	0	0	1
13	1	1	0	1	1
14	1	1	1	0	1
15	1	1	1	1	1

Circuitos con multiplexores

El decodificador no es la única manera de hacer circuitos combinacionales rápidamente, el **multiplexor**, es si cabe, **más simple** aún, ya que no necesita ningún otro componente, ni la OR del ejemplo anterior.

Supongamos el mismo caso anterior, por lo que empezamos con la tabla de funcionamiento (llamada tabla de verdad) y un multiplexor de 16a1, es decir, 16 entradas, 1 salida y 4 señales de control.

Implementación

Conectemos los sensores a las señales de control (no a las entradas) ¿Qué pasará en el multiplexor cuando las señales de control sean “0, 1, 0, 1” o “0, 1, 0, 0”?

Señales de control “0, 1, 0, 1”	Pues para este caso, nos interesaría que la luz se apagara. Ya que el multiplexor coloca a la salida la información que está a la entrada , bastaría con forzar un 0 lógico a la entrada de dicha combinación (entrada 5).
Señales de control “0, 1, 0, 0”	Si las señales de control fuesen “0, 1, 0, 0”, nos interesaría que la luz se encienda . Para ello, se fuerza un 1 lógico a la entrada 4 del multiplexor.

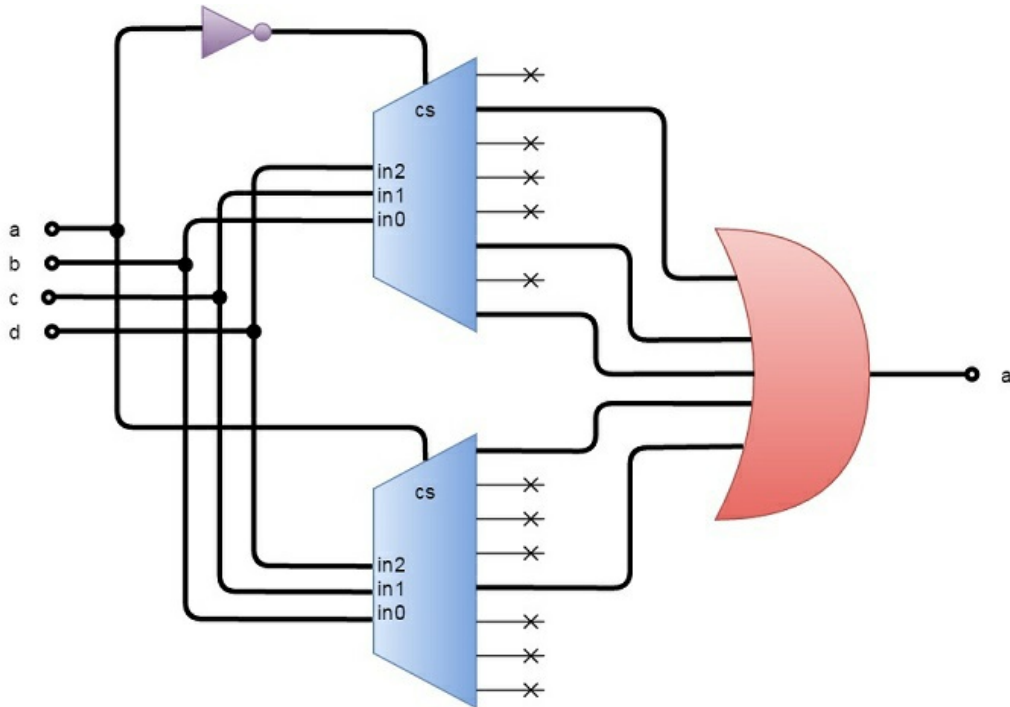
Si se hace esto para cada una de las entradas, nos daremos cuenta que tan solo hay que colocar los valores de la columna de la tabla de verdad “¿encender luz?” como entrada al multiplexor. De esta manera el circuito ya está completo. Además, utilizando multiplexores, podemos hacer circuitos grandes con circuitos más reducidos.



¿Podemos hacer el mismo circuito anterior con multiplexores 8a1?

¿Podemos hacer el mismo circuito anterior con multiplexores 8a1?

Fíjate en la siguiente solución:



Resumen

En este tema hemos visto qué es un **circuito combinacional**, y los **tipos** estándar que se fabrican y que se resumen en los siguientes:

- **Codificador:** dada una entrada, genera su codificación en binario de la entrada.
- **Decodificador:** dado un número codificado en binario en sus entradas, activa la salida correspondiente a dicha combinación.
- **Multiplexor** o selector múltipl: coloca en la salida la entrada que representan sus señales de control.
- **Demultiplexor:** o distribuidor, coloca en una de las salidas seleccionada por la señales de control la información que entra por su única señal de entrada.
- **Sumador/restador.**

Además, se ha establecido la **relación entra lógica y potencial eléctrico**, que es el puente que permite relacionar el mundo teórico de la circuitería con el mundo de la implementación física en sistemas autónomos.

Y para terminar, cómo utilizar estos circuitos estándar para implementar soluciones a **problemas de automatización** muy simples, utilizando decodificadores u multiplexores.

¡Enhorabuena! Has finalizado con éxito.