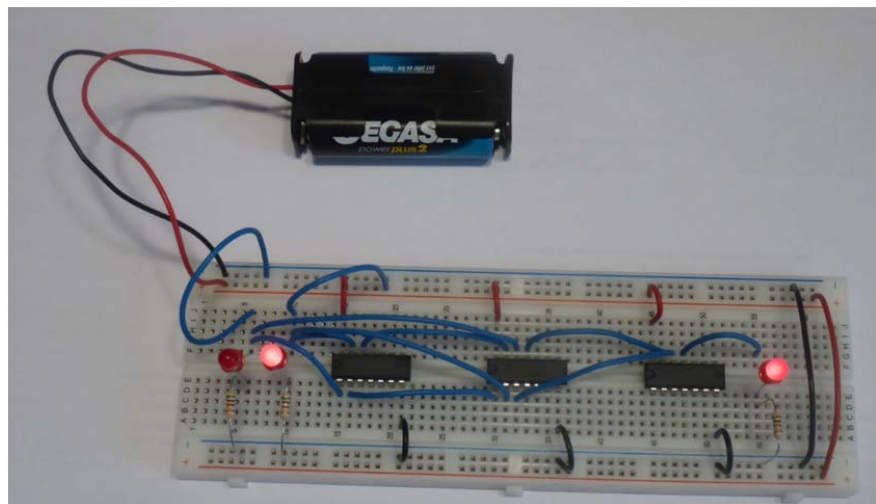


APLICACIÓN DE LOS CIRCUITOS INTEGRADOS CMOS DE LA FAMILIA 74HCXX

PRÁCTICA 1



Introducción a los Computadores 1º Grado Ingeniería Informática

Natalia Ayuso, Luis M. Ramos, Juan Segarra y Víctor Viñals
nayuso@unizar.es luisma@unizar.es jsegarra@unizar.es victor@unizar.es



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza



Departamento de
Informática e Ingeniería
de Sistemas
Universidad Zaragoza

1 RESUMEN

En esta práctica montaremos un prototipo de circuito digital con circuitos integrados comerciales de poca escala de integración. El objetivo es entender la relación entre tensiones (0V y 3V en nuestro caso) y valores lógicos ("0" y "1") y la dificultad de diseñar, construir y verificar el buen funcionamiento de un circuito real.

Para poder realizar la práctica hay que enseñar al responsable de la clase de laboratorio el Estudio Previo de los Apartados 3.2, 4.1 y 4.5 RESUELTO.

La práctica finaliza cuando el circuito funciona correctamente, se toman las medidas de potencia y se resuelve el Apartado 4, solicitando el visto bueno al responsable de la clase de laboratorio.

2 COMPONENTES

En el contexto de la electrónica y la informática "digital" es un adjetivo que se aplica a una magnitud que sólo puede tomar un conjunto finito de valores. Si hablamos de dos valores, añadimos otro adjetivo: lógico o binario.

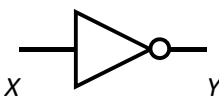
En nuestro prototipo vamos a usar componentes con funciones muy diferentes, pero en todos los casos en nuestro circuito solo veremos dos niveles de tensión: 0 V y 3 V, que se corresponden con los niveles lógicos "0" y "1". Muchos de los primeros computadores eléctricos o electromecánicos manejaban diez valores posibles, pero luego la tecnología electrónica se fue imponiendo, constatando que era mucho más fácil y fiable trabajar únicamente con circuitos que funcionaban con dos niveles de tensión, llamados *circuitos digitales binarios*, o lo que es lo mismo, *circuitos digitales lógicos*.

Muchas veces quitamos la palabra "digital" y nos quedamos solo con "circuito binario" o "circuito lógico".

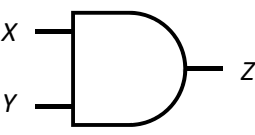
2.1 PUERTAS LÓGICAS

Como veremos en el curso cualquier circuito lógico puede construirse conectando puertas lógicas de la forma apropiada. Las puertas que hemos escogido para esta práctica se llaman NOT, AND y OR. Su combinación inteligente permite lograr cualquier funcionalidad: una unidad aritmética, una memoria o incluso un procesador. Veamos su funcionamiento.

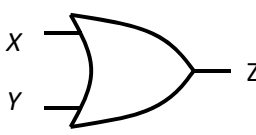
2.1.1 Puerta NOT, o inversor

	<table><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	X	Y	0	1	1	0	La tabla de verdad de la izquierda explica la función NOT: la salida de la puerta NOT (Y) cambia el valor de la entrada (X). $Y = \text{NOT}(X) = \bar{X}$ Se representa con una barra encima.
X	Y							
0	1							
1	0							
Símbolo	Tabla	Comentario						

2.1.2 Puerta AND

	<table border="1"> <thead> <tr> <th>X</th><th>Y</th><th>Z</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	X	Y	Z	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<p>La salida Z solo vale 1 cuando entrada X y entrada Y valen 1</p> $Z = \text{AND}(X, Y) = X \cdot Y$ <p>Se representa con el operador “.”, o producto lógico.</p>
X	Y	Z															
0	0	0															
0	1	0															
1	0	0															
1	1	1															
Símbolo	Tabla	Comentario															

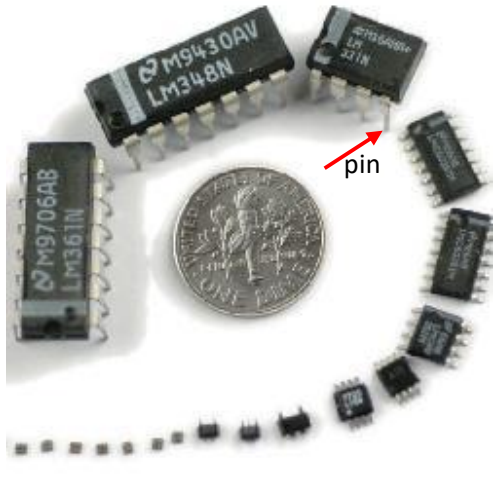
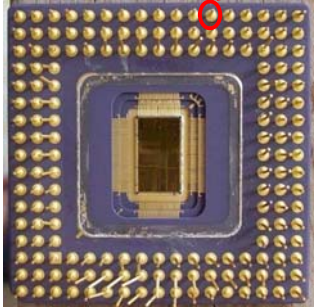

2.1.3 Puerta OR

	<table border="1"> <thead> <tr> <th>X</th><th>Y</th><th>Z</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	X	Y	Z	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<p>La salida Z vale 1 cuando entrada X o entrada Y, o ambas, valen 1</p> $Z = \text{OR}(X, Y) = X + Y$ <p>Se representa como el operador “+”, o suma lógica.</p>
X	Y	Z															
0	0	0															
0	1	1															
1	0	1															
1	1	1															
Símbolo	Tabla	Comentario															

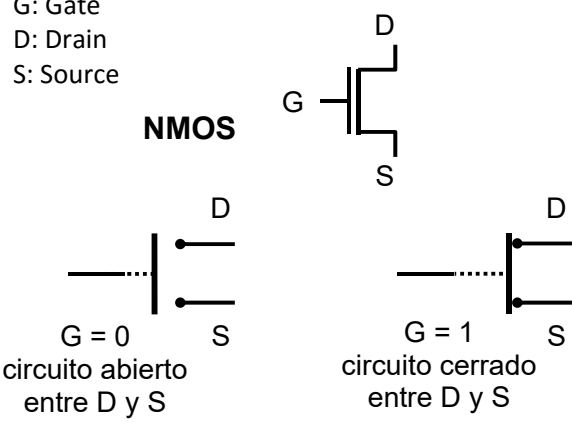
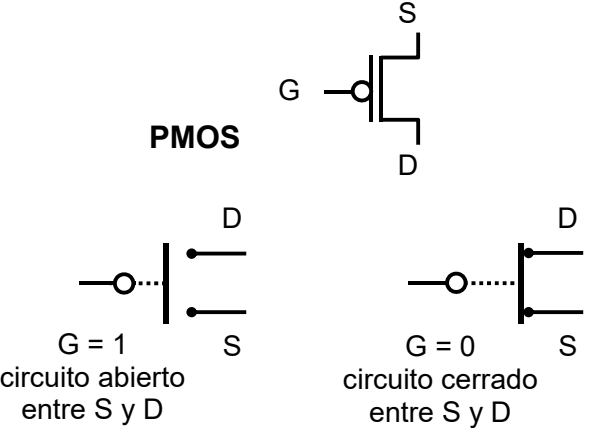
2.2 CIRCUITOS INTEGRADOS DIGITALES



En el exterior un circuito integrado (CI) es una cápsula de plástico o cerámica con pines metálicos. En el interior tiene transistores que actúan como interruptores y cables que conectan señales y alimentación entre el interior y los pines exteriores.

	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Por detrás (tapa quitada)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Por delante</p> </div> </div>
Evolución en la escala de integración	<p>Microprocesador Intel 486DX2. Año 1989. 50MHz. La parte más interna es el chip de silicio (12mm x 6,75mm = 81 mm²) que tiene 1,2 millones de transistores.</p>

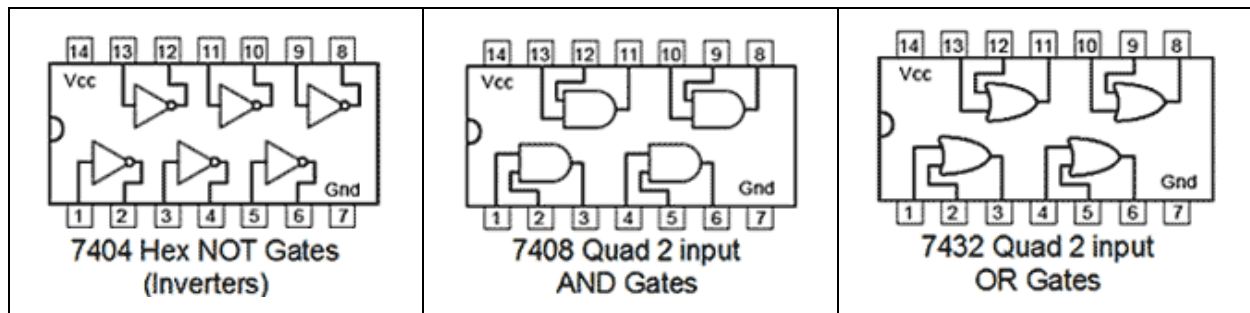
Los transistores que se utilizan para CIs digitales se llaman MOS (Metal-Oxide Semiconductor) y tienen la gran ventaja de realizar su función de interruptor consumiendo muy poca energía eléctrica. Estudiaréis su funcionamiento el próximo cuatrimestre, pero el siguiente dibujo explica el símbolo y la función de los dos tipos de transistores MOS que utilizan los diseñadores de CIs para fabricar puertas lógicas.

<p>G: Gate D: Drain S: Source</p> <p>NMOS</p> 	<p>PMOS</p> 
<p>El transistor NMOS es un interruptor controlado por el valor de G. Mientras G=0 los contactos D y S están “abiertos”, es decir, forman un circuito eléctrico de resistencia infinita. G=1 es el caso contrario.</p>	<p>El transistor PMOS es un interruptor controlado por el valor de G. Mientras G=0 los contactos D y S están “cerrados”, es decir, forman un circuito eléctrico de resistencia cero. G=1 es el caso contrario.</p>

En este curso no estudiaremos el funcionamiento del transistor ni cómo combinarlos para conseguir puertas lógicas. Por ejemplo, la lógica CMOS consiste en formar puertas lógicas combinando transistores PMOS y NMOS. Es más, conseguiremos buenos diseños sin bajar al nivel del transistor, únicamente conociendo las reglas lógicas de cada puerta. Ahora bien, si nuestro diseño necesita funcionar muy rápido (reloj a gran frecuencia) o consumir muy poco (p.e. alimentación a batería) *algo* tendremos que saber del nivel físico. En este curso hablaremos bastante de la frecuencia y poco del consumo.

2.3 CIRCUITOS INTEGRADOS DE LA SERIE 74HCXX

Los circuitos integrados de la serie 74CHxx se dice que están fabricados con una “pequeña escala de integración, SSI”, en contraste con los actuales microprocesadores, como el Intel Core i7, que se fabrican con una “escala de integración muy grande, VLSI”. La serie 74HCxx empezó a fabricarse hace unos 30 años y en la actualidad todavía se usa para fabricar circuitos sencillos o reparar viejos productos. En esta práctica vamos a utilizar tres CIs diferentes. Veamos.



Los CIs de La familia 74HC que vamos a utilizar funcionan correctamente si su tensión de alimentación está en el rango 2 V - 6 V. Esto significa que si entre los pines 14 y 7 aplicamos una diferencia de potencial (tensión) apropiada, las puertas funcionarán como se ha explicado antes¹.

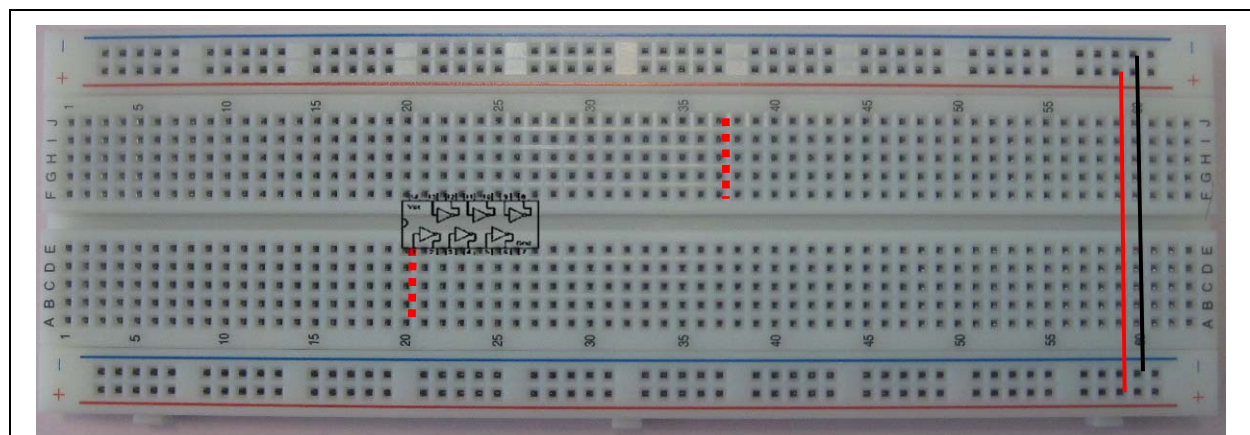
Nosotros conectaremos en serie dos pilas LR06 de 1,5 V para conseguir una tensión de 3 V.

Así, en esta práctica, el “0” lógico se corresponde con 0 V, y el “1” lógico con 3 V.

Los fabricantes proporcionan información muy detallada del comportamiento de estos circuitos integrados, explicando muchas características eléctricas y temporales que no nos interesan. Podéis curiosear en la WEB² de *Texas Instruments*, uno de los grandes fabricantes de CIs.

2.4 ¿DÓNDE COLOCAMOS LAS PUERTAS Y COMO LAS CONECTAMOS ELÉCTRICAMENTE?

Usaremos una placa de prototipado. La separación entre contactos coincide con la distancia entre pines de los circuitos integrados. Colocando cables y el resto de componentes construiremos el circuito.



Placa de prototipado con 830 puntos de conexión. Por dentro hay conexiones que simplifican el número de cables externos: los cinco contactos de cada columna ABCDE (FGHIJ) están conectados (ver líneas rojas de puntos). Además los contactos de las filas rojas y azules forman cuatro conductores independientes: Fila- arriba, Fila+ arriba, Fila- abajo y Fila+ abajo. Podemos conectar la alimentación (+3V, 0V) a las dos filas superiores, después conectar un par de cables (rojo *positivo*, negro *negativo*) a las dos filas inferiores, y así tenemos alimentación arriba y abajo.

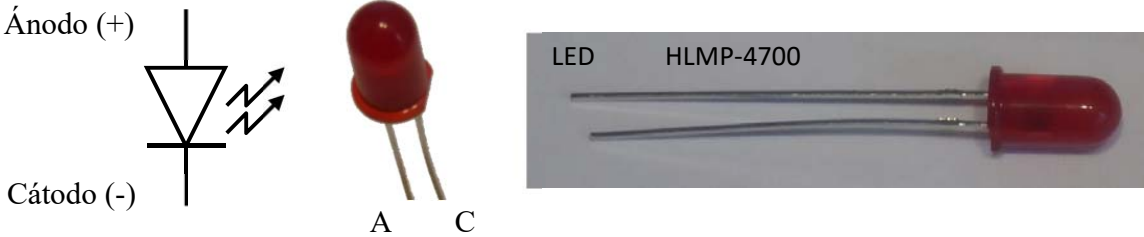
¹ <http://www.learnabout-electronics.org/Digital/dig21.php>

² <http://www.ti.com/lscs/ti/logic/gate-products.page#p1512=HC>


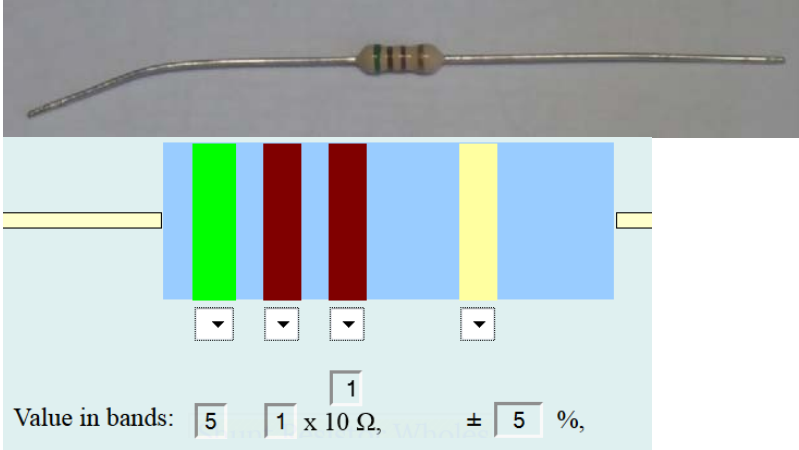
Hay que aprovechar la conectividad disponible para lograr un diseño “limpio” que facilite el montaje y la localización de errores.

2.5 ¿CÓMO VISUALIZAREMOS LOS NIVELES LÓGICOS 1 Y 0?

Los niveles lógicos son tensiones. En nuestro circuito un “1” son 3V, y un “0” son 0V. Podemos utilizar un multímetro para medir directamente la tensión en cada punto de interés. En las tiendas de electrónica e incluso en los bazares se venden realmente baratos. Nosotros usaremos un diodo emisor de luz, LED (Light-Emitting Diode). El LED es un dispositivo semiconductor que únicamente permite el paso de la intensidad eléctrica en un sentido (como todos los diodos). El diodo LED se fabrica para conseguir emitir luz cuando conduce electricidad. Así, cuando lo conectemos a un punto que está a 3 V (1 lógico) se iluminará.


<p>El terminal del LED que se conecta a tensión positiva se llama ánodo. El otro terminal se llama cátodo y se distingue por un ligero aplanamiento. Si se conecta al revés no conduce y por tanto no se iluminará.</p>

Para que circule la intensidad apropiada hay que colocar una resistencia en serie con el LED de unos 500Ω. Si se conecta sin resistencia, directamente a la pila, el LED puede romperse por calentamiento.

	
<p>Circuito para conectar un LED a un punto de medida</p>	<p>Aspecto de la resistencia y código de colores que permite leer su valor http://www.searchingtabs.com/rcolor/rescolor.htm</p>

3 EL CIRCUITO

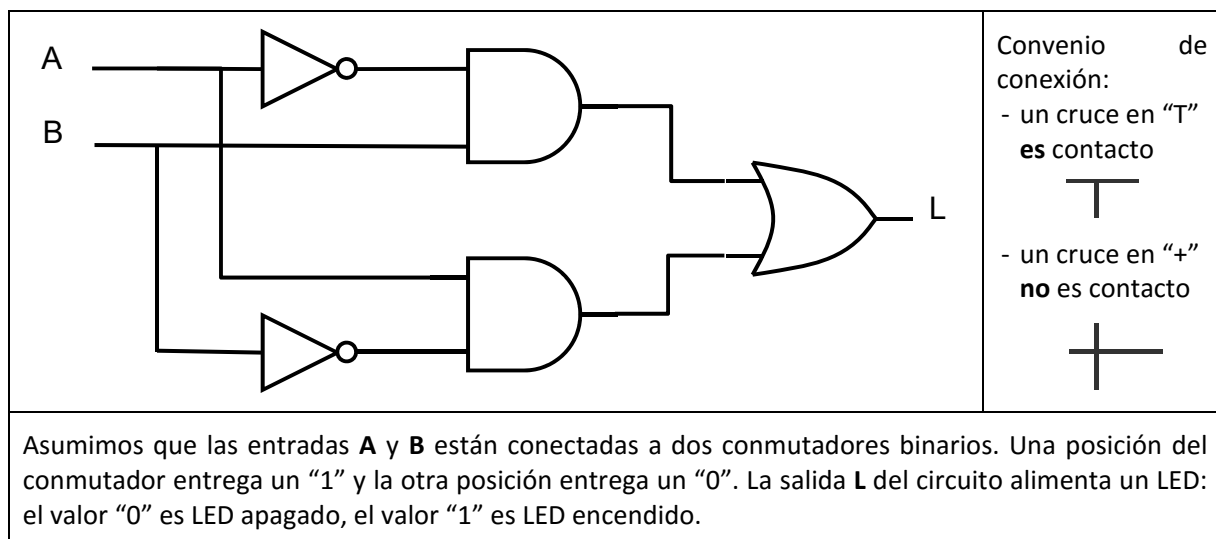
El prototipo que vamos a construir sirve para controlar el encendido de una luz desde los dos extremos de un pasillo. Hay un conmutador en cada extremo.

Al cambiar de posición cualquiera de ellos, la luz cambia de estado: si está encendida se apaga y viceversa³.

El siguiente circuito es una solución con puertas lógicas.

3.1 CIRCUITO LÓGICO

El circuito lógico no tiene en cuenta la tecnología. No nos preocupamos de la alimentación, ni de la velocidad ni del consumo. Podemos razonar sobre la corrección del diseño y es el paso previo imprescindible antes de cualquier implementación.



3.2 ESTUDIO PREVIO, REALIZAR ANTES DE LA SESIÓN DE LABORATORIO

A partir de las reglas del apartado 2.1 completa la tabla de verdad de este circuito, examinando las cuatro posibilidades que pueden darse en las entradas A y B.

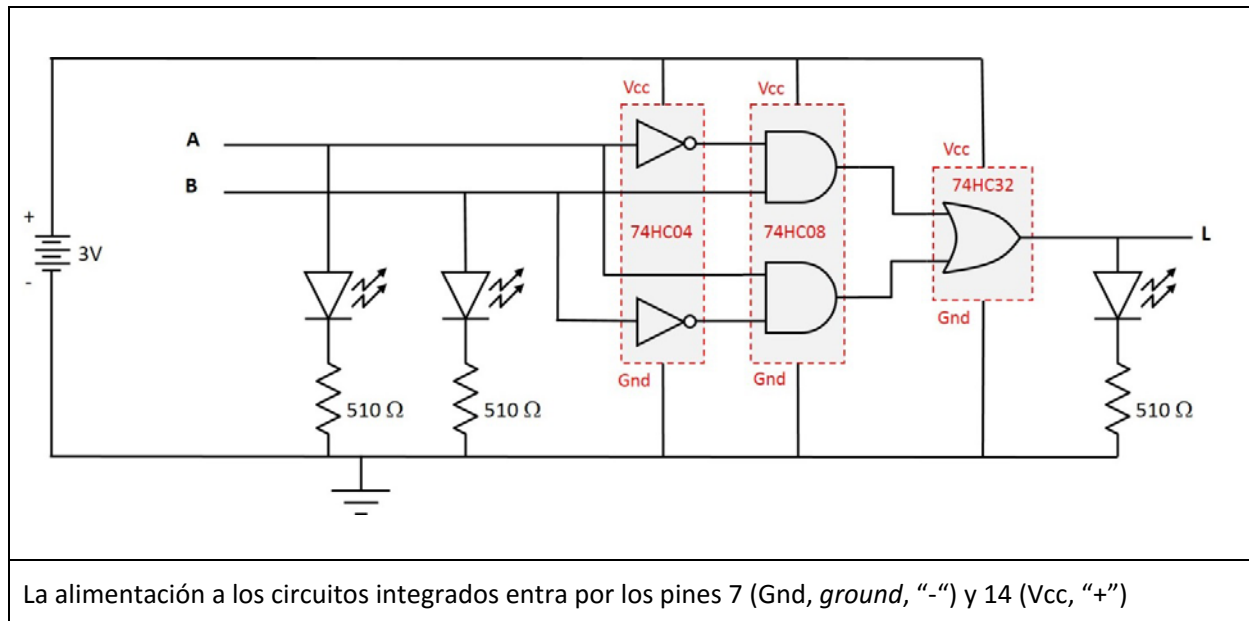
A	B	L
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Tabla de verdad del circuito que montaremos.

³ Si no lo tenéis claro, ver el primer minuto de <https://youtu.be/EjoAU0Ly3es>

3.3 CIRCUITO ELÉCTRICO

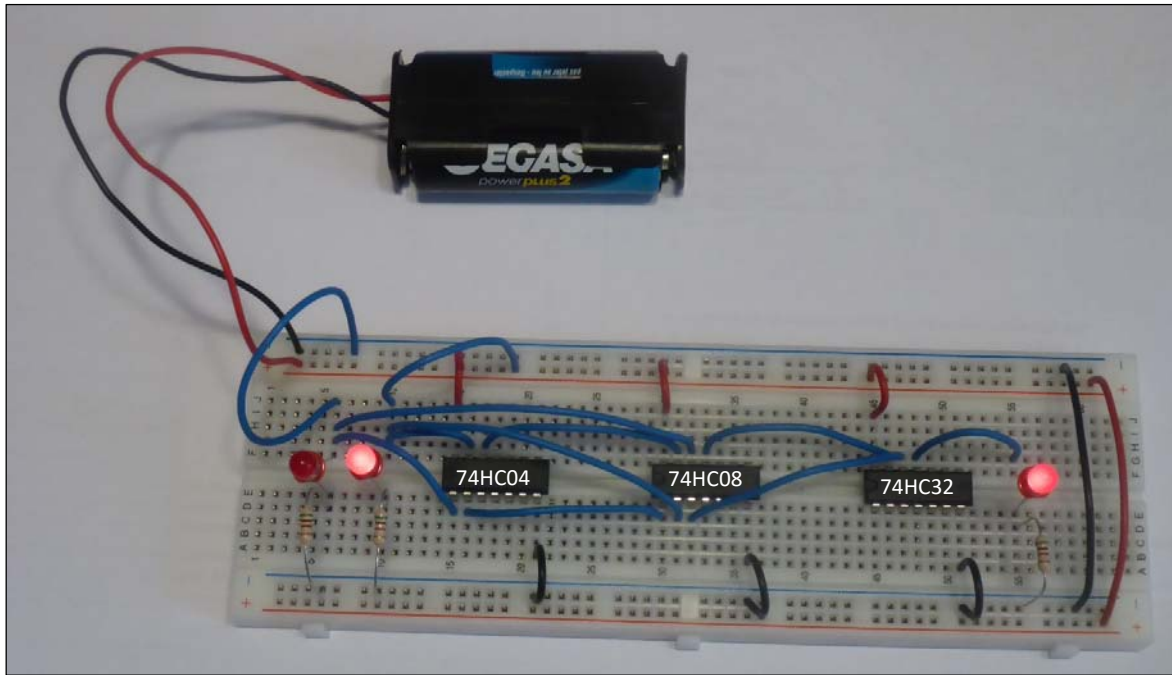
El circuito eléctrico tiene en cuenta la alimentación y los componentes reales utilizados, incluyendo LEDs y resistencias y la alimentación a pilas (+3V y tierra)



3.4 CIRCUITO FÍSICO

Hay que pinchar los componentes en la placa de prototipado y realizar las conexiones que falten con trozos de cable de cobre aislado y pelado en los extremos. En la figura de abajo mostramos una solución, que no es la única. El convenio habitual es utilizar color negro para masa (Gnd, tierra, polo negativo) y color rojo para el polo positivo (Vcc). El resto de señales se ha cableado con color azul.

La alimentación discurre por las dos filas superiores e inferiores.



Se han utilizado: los dos primeros inversores de la izquierda (arriba y abajo del 74HC04); las dos primeras puertas AND de la izquierda (arriba y abajo del 74HC08) y la primera puerta OR de la izquierda (arriba del 74HC32).

4 NUESTRO TRABAJO

En el laboratorio tendréis todo el material necesario para el montaje, incluyendo el portapilas. Tendréis cables pelados de diferentes longitudes y colores.

4.1 ESTUDIO PREVIO, REALIZAR ANTES DE LA SESIÓN DE LABORATORIO

Dibujad una disposición de componentes y cables sobre la placa de prototipado que se corresponda con el circuito eléctrico. La única restricción es que los tres circuitos integrados ya estarán colocados en las posiciones del dibujo anterior. La disposición del resto es libre.

Usa el dibujo del Apéndice A.

4.2 DURANTE LA PRÁCTICA: MONTAJE

Pues eso. Coloca los cables, resistencias y diodos LED. Recuerda, diseño “limpio”.

Conecta la alimentación al circuito.

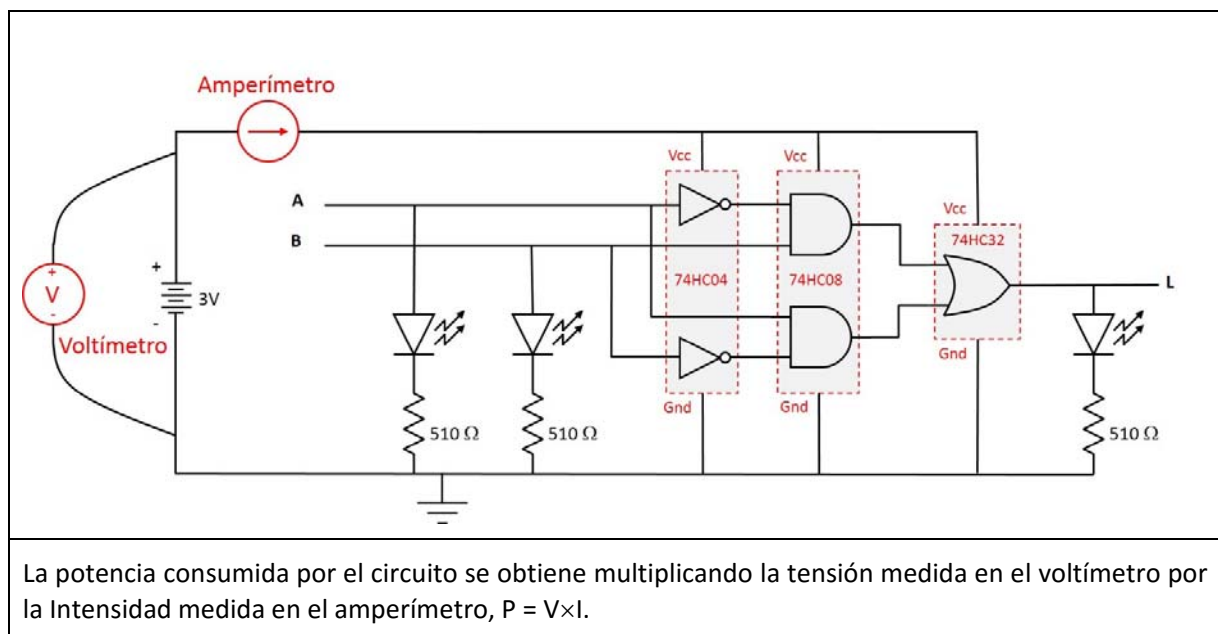
4.3 DURANTE LA PRÁCTICA: VERIFICAR Y SOLUCIONAR ERRORES

Verifica la tabla de verdad esperada. Para ello, prueba las cuatro posibilidades de las entradas A y B, conectando alternativamente a 0 (Gnd) y a 1 (+3V) y observa el encendido de los LEDs.

Si no funciona alguna posibilidad repasa el circuito e insiste: diodos al revés, alimentación al revés o mal conectada, pilas agotadas, ...

4.4 DURANTE LA PRÁCTICA: MEDIR POTENCIA Y AUTONOMÍA DE LAS PILAS

Cuando el circuito funcione correctamente vamos a usar un multímetro para conocer la potencia consumida. Como se indica en la figura, usaremos un multímetro para medir la intensidad (miliamperios, mA) y la tensión (Voltios, V). Hay que hacer una medida para cada una de las combinaciones de entrada. Anota las cuatro potencias en la tabla de verdad.



Por último vamos a calcular la autonomía de las pilas en días, asumiendo un funcionamiento continuo cuyo consumo fuese la media de los cuatro consumos. Una forma de hacerlo es calcular el cociente entre la Energía almacenada en las pilas (E, en Julios) y la Potencia media (P, en Vatios):

$$T_{\text{segundos}} = E/P \rightarrow T_{\text{días}} = T_{\text{segundos}} / (3600 \times 24)$$

Ahora bien, la forma habitual de expresar la energía almacenada en las pilas y baterías recargables pequeñas es en miliamperios-hora (mAh). Por ejemplo, una pila de 1,5 V de 2600 mAh podría

suministrar 260 mA durante 10 horas, manteniendo una diferencia de potencial de 1,5 V. Este ejemplo es optimista, pero lo vamos a utilizar para calcular la energía en Julios.

4.5 ESTUDIO PREVIO, REALIZAR ANTES DE LA SESIÓN DE LABORATORIO

Buscar y razonar la fórmula que convierte la energía expresada en (mAh, voltios) en Kilo Julios ($\text{kJ} = \text{Julios}/10^3$).

$E \text{ (kJ)} =$

4.6 POTENCIA, ENERGÍA Y AUTONOMÍA

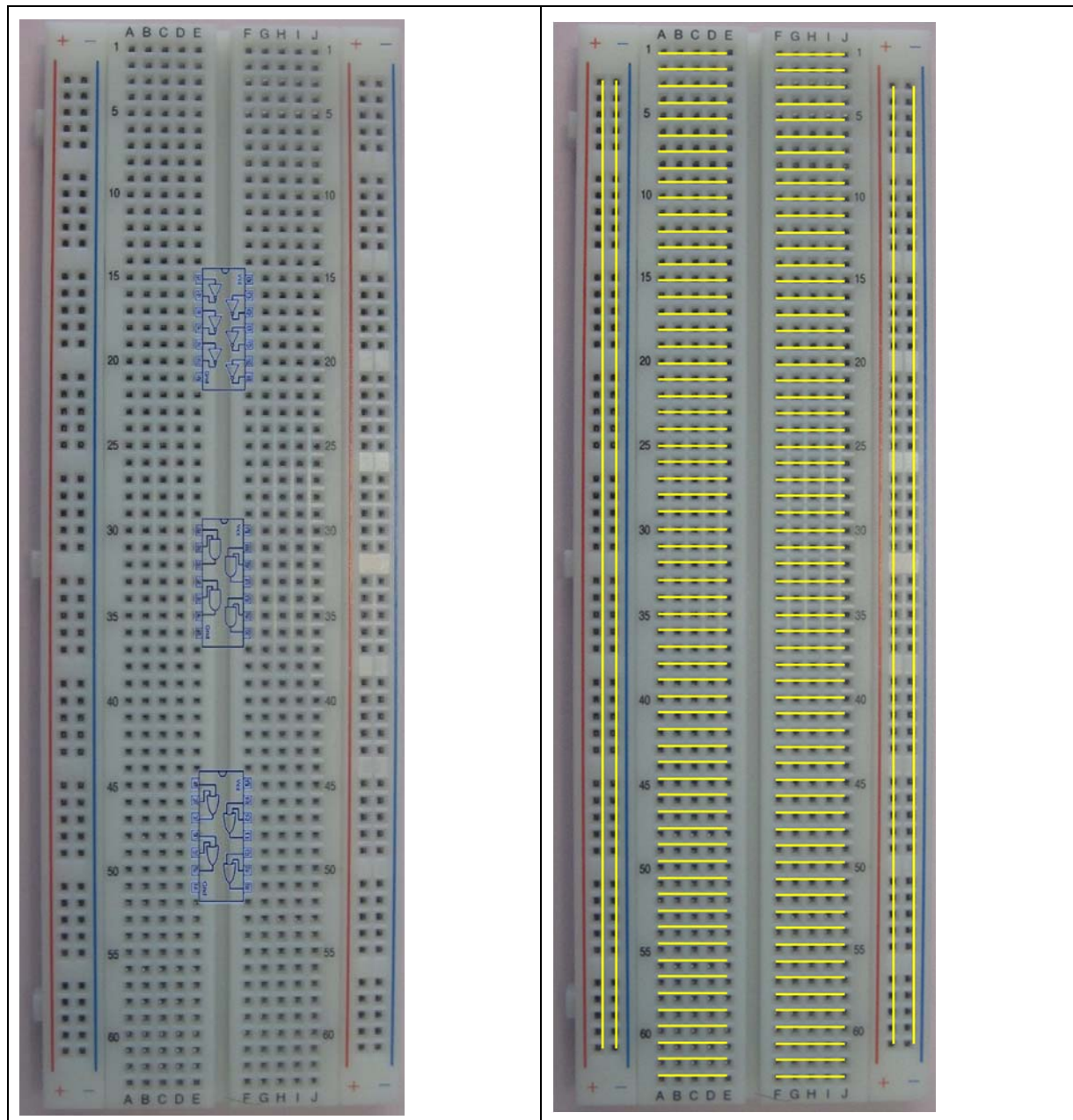
Resumiendo, hay que calcular lo siguiente:

- $P_{\text{media}} \text{ (mW)} =$
- $E_{2 \text{ pilas}} \text{ (kJ)} =$
- Autonomía $_{2 \text{ pilas}} \text{ (días)} =$

5 APÉNDICE A. VISTA AMPLIADA DE LA PLACA DE PROTOTIPADO

En la imagen de la izquierda aparece la placa de prototipado con la colocación de los CIs (pines 1 y 14 de cada CI en las filas de cableado 15, 30 y 45, respectivamente).

En la imagen de la derecha aparece el patrón de conexionado interno que podemos aprovechar para minimizar el número de cables a conectar.



6 APÉNDICE B. EXTRACTO DE LA FACTURA

Compra efectuada en Junio de 2015 en una tienda de electrónica con venta a través de Internet.

En Zaragoza hay varias tiendas físicas que suministran este material.

CANTIDAD	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO	TOTAL
2.00	74HC04	C.I. CMOS HEX 6 INVERSORES	0.1600	0.32
2.00	74HC08	HS-CMOS 4X2-INPUT AND GATE	0.1800	0.36
2.00	74HC32	HS-CMOS 4X2-INPUT OR GATE	0.1800	0.36
5.00	HLMP4700	LED 5MM ROJO ALTA EFICIENCIA	0.1300	0.65
5.00	5615025	RESISTENCIA 560H 5% 1/4W	0.0200	0.10
1.00	EIC102	PROTOBOARD PROFESIONAL MINI	4.5000	4.50
1.00	33017/BT	P.PILAS 2 PILAS R6 AA CON HILO	0.7500	0.75
=====				
Total:				7.04
Portes:				6.50
Total Neto:				13.54
21.00 % I.V.A.				2.84
Importe Total:				16.38