

Primeras Tres Clases

Presentación

Como vimos en Sistemas de Computación I, los sistemas de computación están contruidos con un área de la electrónica denominada Circuitos Lógicos. Esta electrónica utiliza circuitos que toman fundamentalmente dos valores que nosotros asociamos al cero y uno de la codificación binaria.

En la primera unidad del programa de la asignatura estudiaremos los fundamentos de estos circuitos, para poder construir con ellos estructuras más complejas.

En las primeras tres clases del curso estudiaremos la circuitería de los sistemas. Las denominadas compuertas lógicas. Aprenderemos con ellas a:

- Analizar el funcionamiento de un circuito
- Construir circuitos que se ajusten a un determinado comportamiento
- Abordar los circuitos de Decodificadores y Multiplexores
- Construir un circuito sumador de un dígito binario
- Diseñar una Unidad Aritmético Lógica con el sumador de un dígito
- Comprender los circuitos biestables (Flip-Flops) y su capacidad de almacenamiento
- Entender el funcionamiento interno de Memorias No Volátiles y Volátiles
- E interpretar como funcionan los Registros de un Procesador

Desarrollaremos estos temas desde cero, a partir de la comprensión del funcionamiento de cada una de las compuertas básicas

Y luego de comprender cada uno de los contenidos de esta clase, estaremos en condiciones de construir en las clases subsiguientes un Procesador básico, con capacidad de ejecutar distintos tipos de instrucciones y analizar qué ocurre dentro del procesador con cada una de ellas.

La bibliografía que utilizaremos para su estudio será por una parte el cuadernillo denominado "De la Compuerta al Computador". Éste es un texto claro, sencillo de complejidad progresiva. Es utilizado por alumnos de esta universidad y de otras, quienes han puesto de relieve su y parte del borrador un nuevo libro editado por la Universidad Abierta Interamericana sobre estos contenidos.

Al finalizar cada tema se plantearán preguntas y ejercicios para transferir la teoría a la práctica.

La primer Unidad de la asignatura se ejercita mediante el Trabajo Práctico N°1.

A continuación, le presentamos un detalle de los contenidos y actividades que integran esta unidad. Usted deberá ir avanzando en el estudio y profundización de los diferentes temas, realizando las lecturas requeridas y elaborando las actividades propuestas, algunas de desarrollo individual y otras para resolver en colaboración con otros estudiantes y con su profesor tutor.

A continuación, le presentamos la bibliografía utilizada.

Contenidos y Actividades

1. Compuertas lógicas

1.1 Señales y Variables digitales



Lectura requerida

- Ginzburg, M.; Compuertas lógicas y circuitos del computador. En su: **De la compuerta al computador**, 1ª ed. Buenos Aires: Biblioteca Técnica Superior, 2007, p. 1-2.

1.2 Compuertas lógicas



Lectura requerida

- Ginzburg, M.; Compuertas lógicas y circuitos del computador. En su: **De la compuerta al computador**, 1ª ed. Buenos Aires: Biblioteca Técnica Superior, 2007, p.2-10

2. Construcción de circuitos necesarios para la UCP

2.1 Circuito decodificador



Lectura requerida

- Ginzburg, M.; Compuertas lógicas y circuitos del computador. En su: **De la compuerta al computador**, 1ª ed. Buenos Aires: Biblioteca Técnica Superior, 2007, p. 10-12.

2.2 Circuito multiplexor



Lectura requerida

- Ginzburg, M.; Compuertas lógicas y circuitos del computador. En su: **De la compuerta al computador**, 1ª ed. Buenos Aires: Biblioteca Técnica Superior, 2007, p. 18-20.

2.3 Circuitos de la UAL



Lectura requerida

- Ginzburg, M.; Compuertas lógicas y circuitos del computador. En su: **De la compuerta al computador**, 1ª ed. Buenos Aires: Biblioteca Técnica Superior, 2007, p. 12-17

2.4. Circuito memorizador de un bit



Lectura requerida

- Ginzburg, M.; Compuertas lógicas y circuitos del computador. En su: **De la compuerta al computador**, 1ª ed. Buenos Aires: Biblioteca Técnica Superior, 2007, p.20-22.

2.5 Registros con N flip flops



Lectura requerida

- Ginzburg, M.; Compuertas lógicas y circuitos del computador. En su: **De la compuerta al computador**, 1ª ed. Buenos Aires: Biblioteca Técnica Superior, 2007, p.24-28

3. Operación general de un registro del modelo



Lectura requerida

- Ginzburg, M.; Compuertas lógicas y circuitos del computador. En su: **De la compuerta al computador**, 1ª ed. Buenos Aires: Biblioteca Técnica Superior, 2007, p.32-34.
- Douce, E.; Apunte sobre Modelo de Procesador, 2019, p. 6-8

BIBLIOGRAFÍA OBLIGATORIA

- Ginzburg, Mario; **La PC por Dentro** 6ª ed. Buenos Aires: Biblioteca Técnica Superior, 2012.
- Douce, Enrique; **Apunte sobre el Modelo de Procesador**, Buenos Aires: UAI, 2019.
- Ginzburg, Mario; **De la compuerta al computador 1ª ed.** Buenos Aires: Biblioteca Técnica Superior, 2007.

Comencemos a desarrollar los contenidos de esta clase..

1. Compuertas lógicas

1.1 Señales y Variables digitales

Llamamos señal digital o variable digital o booleana, a aquellas que pueden tomar solo dos valores.






Dentro de los circuitos, esto puede representarse mediante niveles de tensión (mínimo y máximo), niveles de corriente (mínimo y máximo) que suelen asociarse a los valores 0 y 1, que utilizamos en los sistemas binarios.

Las entradas y salidas de las compuertas lógicas, las asociamos a valores 0 y 1, sin embargo, físicamente se asocian a niveles de tensión propias de la tecnología que estamos usando.

1.2 Compuertas lógicas

Una compuerta es un dispositivo que realiza electrónicamente una operación lógica definida por su tabla de funcionamiento, que a su vez también puede expresarse mediante una expresión con símbolos del álgebra Boole.

Cada una de las compuertas lógicas se puede representar mediante un símbolo con cables de entradas y salida que sintetiza visualmente la operación lógica que realiza. En la tabla a continuación se describen las características básicas de las compuertas que utilizaremos.

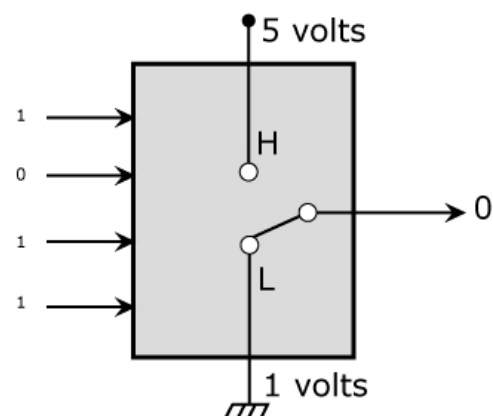
Compuerta:	OR			AND			NOT		XOR			Tri-State		
Gráfico:														
Tabla de Verdad:	A B		Z	A B		Z	A	Z	A B		Z	A	B	Z
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	Sin Conexión
	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0
	1	0	1	1	0	0			1	0	1	1	0	Sin Conexión
	1	1	1	1	1	1			1	1	0	1	1	1
Expresión:	Z=A+B			Z=A.B			Z=¬A		Z=A⊕B			No tiene		

La combinación binaria presente en las entradas de una compuerta determina el valor 1 ó 0 que tendrá su línea o cable de salida Z conforme, a su tabla de funcionamiento. Siempre que las entradas reciban una misma combinación binaria, el valor de la salida será el mismo. Por ejemplo si una compuerta de cuatro entradas fue construida para que cuando reciba la combinación 1011 resulte su salida 0, cada vez que dicha combinación esté presente en sus entradas, la salida resultará 0.

Esto sucede porque el cable o línea de salida -que puede estar en 0 volts (0) o en 5 volts (1)- está conectada a una llave de dos posiciones. La posición en que se encuentra la llave depende de la combinación presente en las cuatro líneas de entrada de la compuerta.

El gráfico ejemplifica que todas las veces que la combinación 1011 está en las entradas, la llave siempre está en la posición que hace contacto con 0 volts (0).

Al nivel de tensión alto de un cable se le asigna el "valor lógico 1", y al nivel bajo el "valor lógico 0", en correspondencia con los valores verdadero y falso de lógica tradicional.



Como lo mencionamos existen 4 tipos de compuertas básicas: **AND**, **OR**, **XOR** y **NOT**, que se corresponden en castellano con Y, O, O exclusiva e Inversor.

- **Compuerta AND:** el único caso que presenta el valor lógico 1 en su salida es cuando todas sus entradas tienen **simultáneamente** el valor 1.
- **Compuerta OR:** su salida toma el valor 1 para cualquier combinación en sus entradas que tenga al menos un 1, menos para la combinación con todos 0. Es decir, salvo esta última, la salida vale 1 para **todas las alternativas** restantes.
- **Compuerta XOR:** su salida toma el valor 1 para cualquier combinación en sus entradas que tenga en forma excluyente un 0 y un 1. Se asocia al concepto "o" que usamos habitualmente en el lenguaje. "Vamos a la playa o a la montaña", pero no podemos ir a ambos lados al mismo tiempo.
- **Compuerta Negación:** su salida toma siempre el valor **opuesto** al de su entrada.

Los nombres de estas compuertas se deben a que mediante las partículas **y, o y no** de nuestra lengua, podemos expresar con palabras como opera cada uno de esos tipos de compuerta. Por ejemplo: en una compuerta AND (Y) de dos entradas A y B su salida es 1 solo si la entrada A y la entrada B están en 1.

Estos 4 tipos de compuertas son los "ladrillos" que nos permitirán construir cualquier circuito que necesitemos. Es por ello, que lo invitamos a realizar la siguiente lectura y focalizar particularmente en su funcionamiento.



Lectura requerida

Ginzburg, M.; Compuertas lógicas y circuitos del computador. En su: **De la compuerta al computador**, 1ª ed. Buenos Aires: Biblioteca Técnica Superior, 2007, p.1-10.

Guía de lectura

- Identifique los valores de tensión que puede tener un cable
- ¿Qué son las variables lógicas?
- ¿Qué es una compuerta lógica?
- Identifique el funcionamiento, el simbolismo circuital y la operación de las compuestas: OR, AND e Inversor.
- También, en el texto encontrará la tabla de la compuerta **OR exclusiva**, que hasta su tercer renglón es igual que la tabla de la OR, pero que *excluye* la posibilidad de que su salida valga 1 si sus dos entradas valen 1. Por tal motivo, su tabla se enuncia "la salida vale 1 si una entrada o bien la otra valen 1".

Luego de realizar la actividad de lectura requerida queremos compartir algunas consideraciones que usted debe tener en cuenta con respecto a las compuertas lógicas para seguir avanzando en el estudio de esta asignatura.

Observando las tablas podemos dar cuenta de la dualidad que siempre está presente en los circuitos lógicos entre los 1s y los 0s, por ejemplo, a la tabla de funcionamiento de una compuerta la podemos interpretar de dos maneras: si consideramos los casos en que la salida de una

compuerta **OR** vale 1, su tabla la podemos enunciar mediante la disyunción "o". En cambio, si vemos el caso en que su salida vale 0, podemos enunciar con el funcionamiento de una **OR** con las mismas palabras que empleamos para una compuerta **AND**.

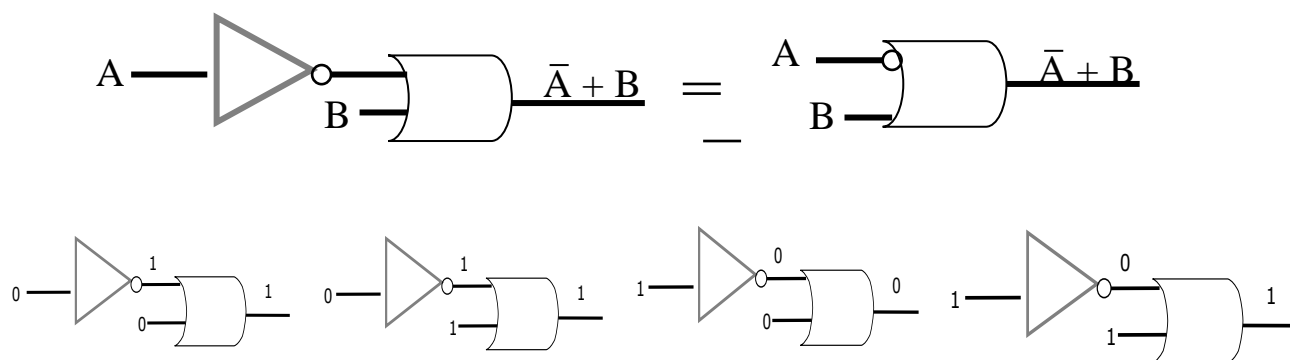
Vale decir que una compuerta **OR**, se comporta como tal, en los casos que su salida vale 1, y como **AND** en los casos que su salida vale 0 (ésta vale 0 sólo en la situación que una entrada y todas las restantes valen 0). Sin embargo, se acostumbra a definir el funcionamiento de una compuerta para los casos que su salida vale 1.

2. Construcción de circuitos necesarios para la UCP

Hasta ahora hemos visto en forma aislada la tabla de funcionamiento de distintas compuertas.

En este punto veremos la combinación compuertas **AND** y **OR** con inversores en sus entradas. Los inversores pueden estar en todas las entradas, en algunas, o en ninguna de ellas.

A continuación, analizaremos el comportamiento de un inversor conectado a una de las entradas de una AND.



Como indica la figura para que la salida de una AND tome el valor 1 sus dos entradas tiene que valer 1. Como en este caso la entrada A1 está conectado a un inversor es necesario que la entrada A del conjunto valga 0.

Ninguna de las restantes combinaciones (00, 10, 11) aplicadas en las entradas A y B producirá 1 en las entradas de la AND y por consiguiente su salida Z tomará el valor de 0 si se aplican dichas combinaciones.

Por lo tanto, la salida de una AND, con inversores o no en cada una de sus entradas, **solo vale 1 para una única combinación** aplicada al conjunto. En nuestro ejemplo 01.

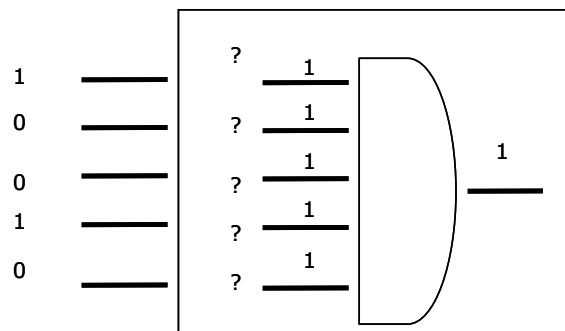
De manera recíproca, biunívocamente, si la salida de un conjunto Inversores-AND vale 1, es inmediato determinar qué combinación está presente en las entradas del conjunto: en las entradas con inversor debe haber un 0, y en las que no lo tienen un 1. Si esa salida vale 0, puede estar presente cualquiera de las combinaciones restantes posibles.

Lo invitamos realizar el siguiente ejercicio.



Actividades para la facilitación de los aprendizajes

Para el siguiente conjunto Inversor-AND determine en que entradas de la AND deben colocarse inversores para que su salida tome el valor 1, si al conjunto se aplica la siguiente combinación:



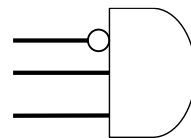
2.1 Circuito decodificador

Como anticipamos utilizaremos este circuito lógico para construir el modelo didáctico de UCP y lo empleamos en la etapa de decodificación de una instrucción.

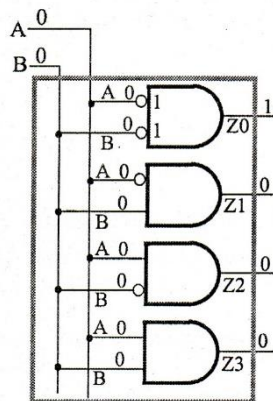
Cada instrucción tiene su código de operación, cada vez que una misma instrucción llega al registro de instrucciones (RI), su código estará presente en las entradas del decodificador. Entonces, conforme al funcionamiento de un decodificador uno sólo de sus cables o líneas de salida (siempre la misma) valdrá 1, y las restantes valdrán 0, cuando dicho código este en sus entradas.

Por lo tanto, cada vez que a RI, llegue una instrucción, su código de operación hará que una sola línea de salida del decodificador tome el valor 1, indicándole a la UC que debe realizar las acciones para ejecutar dicha instrucción, ahora representada por esa línea de salida que estará en 1.

Al código de operación de cada instrucción le corresponde una sola línea de salida del decodificador que toma valor 1 para el mismo, existiendo una correspondencia biunívoca entre cada código de operación y la línea de salida del decodificador que vale 1 para dicho código de operación.



El circuito del decodificador se basa en subconjuntos Inversor AND. Cada uno de estos subconjuntos tiene igual número de entradas que el decodificador. Cuando se aplica una combinación en las entradas del decodificador, esta combinación llega a las entradas de cada subconjunto mediante cables comunes de conexionado.



Para construir un decodificador entender su funcionamiento y construir su circuito es absolutamente necesario comprender que la salida de una AND con inversores en sus entradas sólo vale 1 para una única combinación binaria presente en las entradas del conjunto Inversores-AND.

Los detalles respecto a estos temas usted los podrá estudiar de la bibliografía requerida que le proponemos leer a continuación.



Lectura requerida

Ginzburg, M.; Compuertas lógicas y circuitos del computador. En su: **De la compuerta al computador**, 1ª ed. Buenos Aires: Biblioteca Técnica Superior, 2007, p. 10-12.

Luego de la lectura le proponemos la siguiente actividad.



Actividades para la facilitación de los aprendizajes

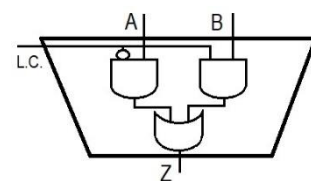
Por todo lo estudiado usted se encuentra en condiciones de realizar las consignas que le proponemos a continuación:

1. Construya un decodificador que para instrucciones de código de operaciones de 3 bits (000 a 111) detecte qué código de operación está presente en las entradas del decodificador. Luego, determine para este circuito qué pasa cuando está presente la instrucción de código de operación 011.
2. Suponiendo instrucciones de código de operación de 8 bits determine: cuántas salidas tendrá el decodificador a usar, cuántas compuertas AND contendrá y cuántas salidas presentará.

3. Luego, asumiendo que la instrucción de código de operación 01111010 está presente en las entradas de este decodificador, dibuje usando círculos que indiquen inversores cómo serían las entradas de la compuerta AND si su salida se hace 1 para esa combinación.

2.2 Circuito multiplexor

El multiplexor es un circuito, que en su configuración básica, posee dos entradas, una salida, y una línea de control. De acuerdo al valor de la línea de control, es posible copiar alternativamente en la salida el valor de una u otra entrada.



En la figura vemos que Z será igual al valor de A o B, dependiendo si L.C. (la línea de control) es 0 o 1 respectivamente.

2.3 Circuitos de la UAL

El circuito lógico de la UAL lo construiremos a partir de circuitos llamados sumadores completos. que los construiremos a partir de subconjuntos AND OR

Cada uno de los sumadores, en relación con cada columna de una suma, permite sumar los dos números de esa columna más el transporte ("lo que me llevo") de la columna anterior que está a su derecha. El procedimiento que realiza el sumador es similar a las sumas binarias que realizamos en Sistemas de Computación 1.

Cada sumador completo se construye a partir de su tabla de funcionamiento conforme a la metodología de compuertas **AND-OR** desarrollada y ejemplificada en la bibliografía requerida. Allí enunciamos que debe haber tantas AND como unos tenga la columna **Z** de la tabla, cuyas salidas serán entradas de una OR, y la salida de la OR generará Z.

Le proponemos ampliar sus conocimientos al respecto realizando la siguiente actividad de lectura.



Lectura requerida

Ginzburg, M.; Compuertas lógicas y circuitos del computador. En su: **De la compuerta al computador**, 1ª ed. Buenos Aires: Biblioteca Técnica Superior, 2007, p. 12-17.

Guía de lectura

Sugerimos que focalice su atención sobre los siguientes puntos:

- Configuración circuitales AND-OR (sumas de productos)

- Sumador Aritmético de dos números binarios
- Circuito sumador-Restador de la UAL y generador de Flags.

En la lectura requerida podemos observar cómo interconectando 4 bloques sumadores de columna se construye la base del circuito sumador de la UAL capaz de sumar 2 números de 4 bits. Por otro lado, vimos que si se quiere que el circuito de la UAL además de sumar pueda restar, se le debe agregar compuertas **OR excluyentes** y además sumar 1 de transporte al sumador de columna de las unidades (Carry).

De esta manera el circuito lleva a cabo el artificio de hacer una resta sumando al minuendo los bits invertidos del sustraendo, y además le suma 1.

Con el agregado de las compuertas **OR excluyentes** se consiguió el efecto de controlar la inversión de los bits del sustraendo, mediante una línea adicional de control.

Si esta línea se activa, no solo se invierten unos y ceros del sustraendo, sino que, adicionalmente, se suma 1 mediante el circuito de entrada de Carry o transporte del sumador a la derecha.

Es decir, cuando la UAL debe restar realiza una suma, en la cual al minuendo se suman los bits invertidos del sustraendo, y también se suma un 1 que se inserta como transporte al sumador completo extremo derecho.



Actividades para la facilitación de los aprendizajes

Teniendo en cuenta el modelo didáctico de la UAL le proponemos resolver los siguientes ejercicios:

- 1) Construya una UAL para sumar o restar dos números de 4 bits. Esta tendrá que generar los flags luego de cada operación. A partir de ello realice en el circuito las siguientes operaciones:
 - a) Sume 1001 más 0011 y determine circuitalmente el valor de los flags.
 - b) Reste 1001 menos 0011 y determine circuitalmente el valor de los flags.
- 2) Explique circuitalmente por qué el flag C no se invierte en la suma y sí lo hace en la resta.
- 3) Explique circuitalmente cómo el valor del flag V cuando vale 1 se corresponde con el hecho de que $V = 1$ si sumo dos números positivos y el resultado es negativo, o si sumo dos negativos y resultado es positivo.

2.4. Circuitos memorizador de un bit

Los circuitos que pueden guardar un bit (un 1 ó un 0) se denominan flip flops.

Nosotros para construir los registros del modelo de la UCP usaremos flip flops sincrónicos.

Los flip flops sincrónicos reciben el 1 ó 0 (que se quiere almacenar) por su línea de entrada "D", al mismo tiempo que por su entrada de Clock o de sincronismo está presente un pulso reloj. Cuando este desaparece, vale cero.

El valor 1 ó 0 que se guardo queda retenido en el flip flop y seguirá guardado hasta que por la entrada Clock se reciba otro pulso reloj. Si en el ínterin de estos dos pulsos la entrada "D" cambia de valor, el circuito del flip flop seguirá reteniendo el valor que guardó.

Un flip flop de este tipo puede construirse a partir de un circuito selector de dos entradas, es por ello que lo invitamos a realizar la siguiente actividad de lectura, su realización le permitirá conocer el papel esencial que cumple la reinyección de la salida en una de las entradas para que el circuito pueda almacenar un bit.



Lectura requerida

Ginzburg, M.; Compuertas lógicas y circuitos del computador. En su: **De la compuerta al computador**, 1ª ed. Buenos Aires: Biblioteca Técnica Superior, 2007, p.20-22.

Guía de lectura

- En un flip flop que almacena un 1 ¿cómo deben variar sus entradas "D" y Ck para que pase a guardar un 0? Indique lo solicitado en un dibujo del circuito con sus compuertas, y en un diagrama temporal. En el dibujo deben aparecer dos pulsos de clock, cómo debe variar la entrada "D", y cómo resulta la salida Q.
- En un flip flop D sincrónico explique cuándo Ck es igual a 0, ¿cómo se automantiene el 1 ó 0 que guarda el flip flop, aunque cambie la entrada "D"?

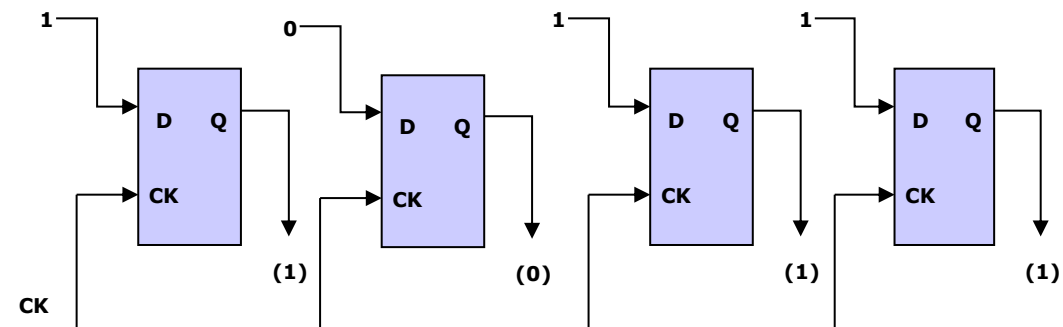
2.5 Registros con n flip flops

Un registro de 8 bits está constituido por 8 flip flops "D" sincrónicos, siendo que cada uno funciona en forma independiente de acuerdo a lo expresado en el punto anterior. Sin embargo, todas las entradas de clock están unidas entre sí. Esto determina que cuando llega un pulso de clock lo reciben simultáneamente todos los flip flops del registro, de forma de que cada flip flop al unísono con los restantes, almacena el valor 1 ó 0 presente en su entrada "D"; y cuando dicho pulso desaparece, todos los flip flops del registro retienen el bit que guardaron.

Un registro con 4 flip flops podrá guardar 4 bits. Para lo cual presentará 4 entradas correspondientes a cada una de las entradas "D" de cada flip flop; y 4 salidas para indicar el valor de los 4 bits almacenados.

En la figura siguiente ejemplificamos el caso en que los 4 bits a guardar son 1011, los cuales están presentes en las entradas "D".

Registro con 4 F-F



Cuando la línea CK tome el valor 1, o sea cuando aparece un pulso reloj, dicha combinación 1011 pasará al interior de los flip flops del registro, y cuando la línea clock pase a valer 0, esos 4 bits se guardaran en los 4 flip flops, y la salida de cada flip flop, que constituye una salida del registro, tomará el valor del bit almacenado, como se indica entre paréntesis en los cables que salen de las salidas Q del gráfico.

La combinación 1011 permanecerá retenida en el registro hasta que por la entrada Ck no llegue otro pulso.

Para comprender la necesidad del uso de flip flops "maestro esclavo" (ME) y comenzar a interconectar los circuitos que hemos desarrollado para construir una UCP, le proponemos analizar la interconexión entre un circuito sumador con un registro simple. Es por ello que lo/a invitamos a realizar la siguiente lectura.



Lectura requerida

Ginzburg, M.; Compuertas lógicas y circuitos del computador. En su: **De la compuerta al computador**, 1ª ed. Buenos Aires: Biblioteca Técnica Superior, 2007, p.24-28.

Guía de lectura

- Las salidas de un registro de 4 bits con 4 flip flops simples que guardan los valores 0100 entran a 4 de las entradas de un sumador, y a las 4 entradas restantes de éste sumador llega el número 0010. Explicar qué limitaciones tiene un registro compuesto de flip flops simples.

- Indicar cómo la limitación anterior se supera si se utilizan 4 flip flops dobles (maestro-esclavo).
- Un pulso es recibido en la entrada Ck de un registro con 4 flip flops ME. Dibujar para ese pulso, en función de los valores 0100 y 0010 que entran al sumador, cómo el resultado del sumador se va almacenando en el tiempo a medida que este pulso va cambiando, primero en los maestros y luego en los esclavos. Indicar a partir de qué instante las salidas de los esclavos, que son las salidas del registro, primero presentan el resultado 0110.



Actividades para la facilitación de los aprendizajes

Es importante familiarizarse con la construcción de circuitos, comprender sus tablas de funcionamiento, comprender el funcionamiento de cada uno de los circuitos que hemos armado, construir circuitos a partir de tablas de funcionamiento y comprender claramente el comportamiento de registros conformados con flip-flops ME, para poder encarar la comprensión del Procesador.

Para abordar la comprensión del procesador, necesitamos comprender con familiaridad cada una de sus partes constitutivas.

Se sugiere comenzar a realizar el Trabajo Práctico N° 1, dejando solo el último ejercicio a la espera de los contenidos de la próxima clase.

Cierre de la clase

Para finalizar esta unidad lo/a invitamos a participar en este espacio de construcción conjunta de los conocimientos. Los foros de discusión y el contacto alumno/docente pueden enriquecer notablemente sus saberes

Los Debates sobre la realización del Trabajo Práctico nro. 1 persiguen esta finalidad.