

17 APLICACIONES DE LOS CONTADORES

17.1. Contaje de objetos y sucesos

17.2. División de frecuencias y ampliación de períodos

17.3. Medida de tiempos

17.4. Multiplexado temporal: reparto de tiempos

17.5. Medida de frecuencias

Sin duda, los contadores son los bloques digitales más utilizados, estando presentes en la mayor parte de los sistemas digitales, habida cuenta del amplio número y diversidad de sus aplicaciones.

En primer lugar, el propio contaje directo de unidades que, además de la información sobre número de objetos, personas o sucesos, permite el control de dicho número; por ejemplo controlar el número de objetos a insertar en un envase, el número máxima de personas presentes en un recinto, ... Y la división de frecuencias, consecuencia directa del contaje de sus pulsos, que ofrece la posibilidad de disminuir la frecuencia de las señales y aumentar la unidad temporal que señalan sus períodos.

El tiempo es una variable «omnipresente» que afecta a todo tipo de procesos y actividades; además, puede ser aprovechada indirectamente para medir otros tipos de magnitudes. Los contadores son una buena herramienta para el manejo de la variable tiempo, por cuanto que permiten medirla con precisión y permiten, también, definir intervalos temporales precisos.

La forma de medir tiempos admite diversidad de opciones: desde la medida horaria propia de los relojes o la medida con mayor resolución y precisión que realizan los cronómetros, hasta la determinación de intervalos temporales precisos (temporizadores). Asimismo, la medida de tiempos puede ser utilizada para medir velocidades (al recorrer espacios conocidos) y distancias (conocida la velocidad con que se recorren).

La distribución del tiempo en partes (multiplexado temporal) permite la generación repetitiva de secuencias, la selección de señales y su medida con un instrumento común, la realización de temporizaciones sucesivas, el control temporal de procesos, etc.

Así como medir tiempos consiste en contar pulsos de frecuencia fija conocida durante el intervalo a medir; el contaje recíproco de pulsos durante un intervalo de tiempo fijo y conocido da como resultado la medida de la frecuencia de los pulsos. Los frecuencímetros configuran otro campo de las aplicaciones de los contadores, con utilidad para la caracterización de señales, medida de velocidades de motores, medida de velocidad lineal de vehículos, medida de magnitudes codificadas en frecuencia, ...

Se deja para el capítulo siguiente la gran variedad de aplicaciones resultantes de la modulación de anchura de pulsos PWM.

17.1. Contaje de objetos y de sucesos

La cuenta directa de unidades (pulsos, objetos, sucesos,...) encuentra aplicación en muchos procesos. Para ello se precisa que el fenómeno (evento) a contabilizar sea primeramente transformado en señal eléctrica, mediante el correspondiente sensor al que seguirá un circuito de conformación de pulsos adecuado.

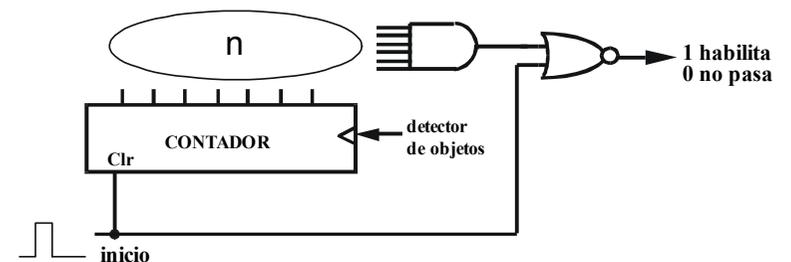
Por ejemplo, se pueden contar objetos haciéndolos pasar en fila de a uno por una cinta transportadora entre una célula fotoeléctrica y un foco luminoso. La utilización de fotodetectores y otros tipos de sensores de interposición o de proximidad para detectar presencia de objetos, personas o marcas es tan amplia que existe una gran diversidad en la oferta de tales componentes.

Por otra parte, se da el caso de operaciones que pueden realizarse indirectamente por contaje; por ejemplo, el control de posición o de ángulo de algunos mecanismos (cabezales de impresoras, posicionamiento de taladros, etc.) puede efectuarse mediante regletas o discos graduados, con marcas que se cuentan a partir de un origen.

En tareas de control es muy útil el contaje hasta un número predeterminado; lo cual puede realizarse de dos formas:

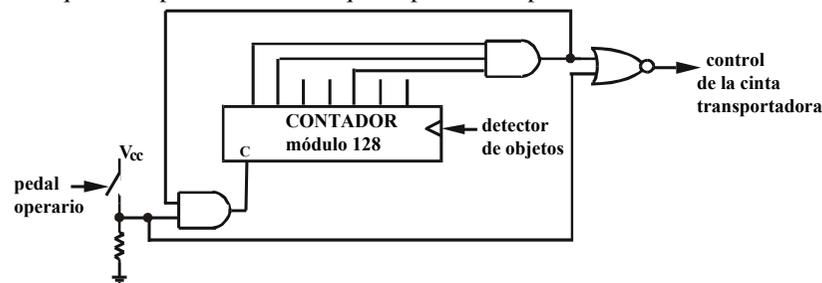
- comparando el resultado del contaje de un contador normal (ascendente) con el número deseado, a través del correspondiente comparador;
- prefijando en un contador descendente (imponiendo mediante carga paralelo) el número a contar y detectando cuándo el contaje inverso llega a cero.

Contadores de este tipo pueden emplearse, por ejemplo, para contar el número de objetos que entran en un recipiente o envase; al alcanzarse el número fijado, el pulso de salida determina el fin de la serie de n objetos (inhibe el paso de más objetos) y, para dejar pasar una nueva serie de n objetos, un pulso de inicio debe borrar (poner a 0) el contador.



En la figura anterior, la puerta "y" debe conformar el término mínimo reducido del número n , es decir, debe recibir las salidas del contador que corresponden a dígitos con valor 1 en dicho número n .

Consideremos un sencillo ejemplo de control de número de unidades: *una cinta transportadora mueve pequeños objetos de uno en uno; al final de ella, un operario coloca una caja de embalaje y, al presionar un pedal, deben caer 100 objetos en la caja.* La figura siguiente muestra un posible circuito para controlar el movimiento de la cinta, de forma que no se produce error aunque se presione el pedal mientras la cinta se mueve.

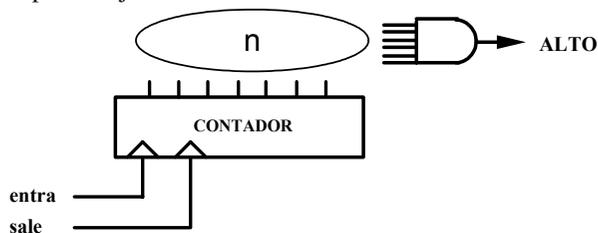


La activación del pedal borra el contador, pero durante dicho intervalo la cinta transportadora permanece inmóvil (entrada inferior de la puerta "o-negada"); posteriormente, al soltar el pedal, la cinta transportadora avanza y el detector de objetos envía los correspondientes pulsos al contador, hasta alcanzar el número 100 (**1100100**) que detiene el movimiento de la cinta (entrada superior de la puerta "o-negada") hasta una nueva activación del pedal.

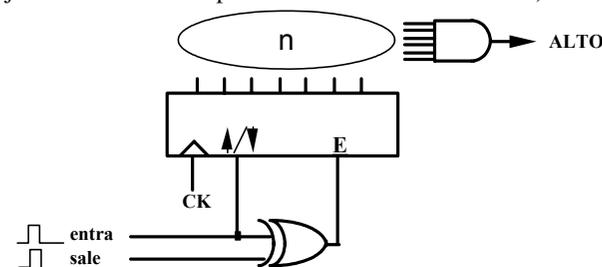
Obsérvese que el borrado del contador se encuentra condicionado a que se encuentre en el número 100, para evitar que activaciones erróneas del pedal durante el proceso de llenado de una caja incrementen el número de objetos en la misma.

Configuraciones análogas pueden utilizarse para cualquier control de número de unidades, por ejemplo, para dejar pasar *n* pulsos cada vez que se activa su entrada de pulsos, para avanzar *n* posiciones (determinadas por marcas), etc.

De igual forma, para controlar un número máximo (de personas o de objetos presentes en un recinto), supuesto que se disponga de sendos detectores de entrada y de salida (que comunican un pulso por cada entrada o salida individual), puede emplearse un contador bidireccional; el contador cuenta los pulsos provenientes del sensor de entradas y descuenta los que recibe del sensor de salidas y, al alcanzar el número máximo, produce una señal que avisa o cierra el paso (señal de alto: *stop*) hasta que se producen salidas que sitúan el contador por debajo del número máximo.



No es frecuente disponer de contadores con entradas de pulsos separadas para el conteo y desconteo y, además, un diseño síncrono no admite varias entradas de reloj; lo habitual será configurar el contador anterior en la forma que se representa en la figura siguiente (en ella los pulsos de entradas y de salidas se han ajustado a una unidad de tiempo del reloj mediante los correspondientes detectores de flanco).



El contador debe actuar cuando recibe un solo pulso de entrada o de salida y debe hacerlo en sentido ascendente si el pulso es de entrada. La puerta "y", que produce la señal de salida, corresponde al término mínimo reducido del número *n* (recibe los dígitos con valor 1 en dicho número *n*).

17.2. División de frecuencias y ampliación de períodos

La división de frecuencia se utiliza para obtener frecuencias inferiores a partir de una frecuencia patrón o, lo que es lo mismo, para obtener unidades de tiempo múltiplos del período que corresponde a dicha frecuencia patrón.

Por ejemplo, en los relojes digitales de pulsera la unidad de tiempo básica (un segundo) suele obtenerse a partir de un cristal de cuarzo de 32,768 KHz, dividiendo dicha frecuencia mediante un contador completo de 15 biestables ($2^{15}=32.678$).

Se consigue mayor precisión con cristales de cuarzo de 1 MHz (generalmente 1000000 ± 1 Hz, precisión del uno por millón, que corresponde a una desviación inferior a 3 segundos al mes), cuya división a través de 4 contadores década (módulo 10) proporciona el período de 0,01" básico para cronómetros o relojes de alta precisión.

La unidad de tiempo puede obtenerse, también, a partir de la frecuencia de la red de tensión alterna (220 voltios, 50 Hz): una vez reducida adecuadamente la tensión a través de un transformador, su rectificación da lugar a pulsos iniciales de 50 Hz (rectificación en media onda) o de 100 Hz (en onda completa) que, por división de frecuencia, permiten obtener períodos de un segundo o de una décima, según interese.

De igual modo se pueden definir unidades de tiempo diferentes para intervalos de medida, control de procesos, etc.; por ejemplo, los frecuencímetros suelen utilizar un intervalo de 6" o 10" como tiempo de medida e intervalo de visualización de la misma. Asimismo se utilizan divisores de frecuencia en aplicaciones de sincronismo, adaptación a la velocidad de trabajo de dispositivos más lentos, transmisión de datos, etc.

Los módulos de comunicación digital serie (comunicación con periféricos o entre sistemas informáticos) permiten seleccionar la velocidad de transmisión; para ello disponen de un amplio divisor de frecuencia a partir de un oscilador inicial que suele emplear un cristal de 1,8432 MHz. Dicha frecuencia dividida por 48 (3×16) da lugar a 38,4 KHz y sucesivas divisiones por 2 generan las frecuencias típicas de transmisión de datos: 19.200, 9.600, 4.800, 2.400, 1.220, 600, 300, 150 baudios (bits por segundo).

Los osciladores de cristal de cuarzo proporcionan señales digitales con frecuencias muy precisas, pero las frecuencias de vibración de los cristales de cuarzo son relativamente elevadas; no se utilizan cristales por debajo de 10 KHz y los más habituales y de mayor precisión se sitúan en el rango de los megaciclos.

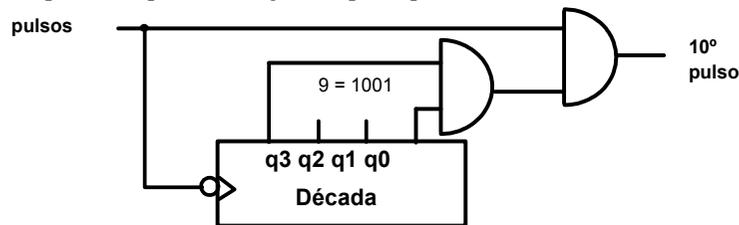
La forma de obtener osciladores de precisión para frecuencias inferiores al MHz consiste en dividir la frecuencia superior de un oscilador de cristal de cuarzo; la división de frecuencia se realiza mediante un contador módulo n , tomando la salida del biestable que corresponde al bit más significativo del contador o la salida **máx** del mismo.

Si la señal se toma de la salida **máx** del contador (o bien se utiliza un detector de flancos) se obtiene una onda de temporización con el período señalado y con «tiempo en 1» igual a una unidad de tiempo de reloj; esta onda de temporización permite habilitar cualquier cambio o transición en forma síncrona y solamente durante un pulso de reloj.

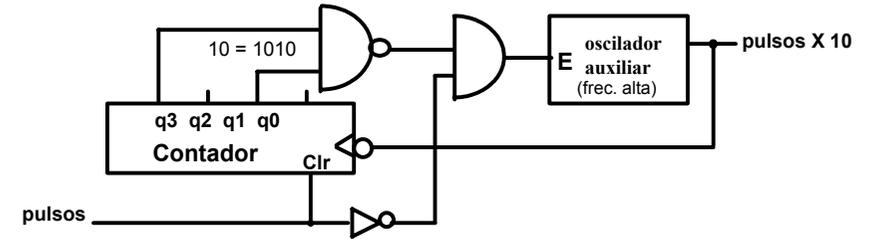
Cambio de escala en el número de pulsos

Un contador módulo n configura un divisor de escala por n que genera un pulso por cada n pulsos recibidos en su entrada; este pulso se obtiene en la salida del último biestable (el más significativo) del contador (o en su salida **máx**), la cual proporciona un pulso por cada «vuelta» del contador (por cada n pulsos).

Un caso particular de división de frecuencia, representado a continuación, es un divisor de escala que deja pasar precisamente el n -ésimo de los pulsos recibidos en su entrada; el circuito de la figura de cada 10 pulsos que recibe permite el paso al décimo de ellos (para lo cual la puerta "y" de salida del circuito es habilitada cuando el contador ha detectado el paso de 9 pulsos: el siguiente pulso pasa a través de ella).



La posibilidad inversa en el cambio de escalas se refiere a multiplicar el número de pulsos que se reciben por un factor n , lo cual puede hacerse mediante un contador que, al recibir cada pulso, permita el paso de n pulsos de frecuencia superior. La siguiente figura representa un sistema que multiplica por 10 el número de pulsos que le llegan.



El pulso de entrada borra el contador y, al finalizar dicho pulso, permite que el oscilador auxiliar se active y proporcione pulsos hasta que se alcanza el número 10, cuyo término mínimo reducido se utiliza para bloquear de nuevo al oscilador; durante el borrado del contador el oscilador se bloquea (mediante el inversor) para impedir que genere pulsos y no sean contados. La frecuencia de los pulsos de salida (oscilador auxiliar) ha de ser adecuadamente alta para que puedan producirse 10 pulsos en el intervalo entre cada pulso de entrada y el siguiente.

17.3. Medida de tiempos

A partir de un generador de pulsos de frecuencia fija y muy precisa, cuyo período sea mucho menor que los intervalos temporales a medir, la medida de tiempos se reducirá a contar el número de pulsos en cada intervalo; dicha medida quedará expresada en unidades equivalentes al período de los pulsos.

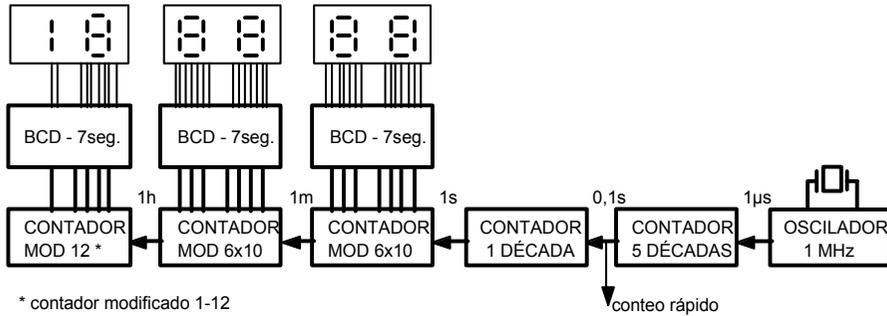
Como generador de pulsos de frecuencia precisa suele utilizarse un oscilador con cristal de cuarzo o la propia señal de la red de tensión alterna (50 Hz).

Consideraremos, a continuación, diversas utilidades relativas a la medida de tiempos:

- la medida del tiempo horario (horas, minutos, segundos): relojes digitales,
- la medida de intervalos con precisión y resolución: cronómetros,
- la delimitación de intervalos temporales precisos: temporizadores

17.3.1. Relojes digitales

El caso más general de medida de tiempos corresponde a los relojes digitales (reloj horario en horas, minutos y segundos) cuyo esquema de bloques puede ser el siguiente:

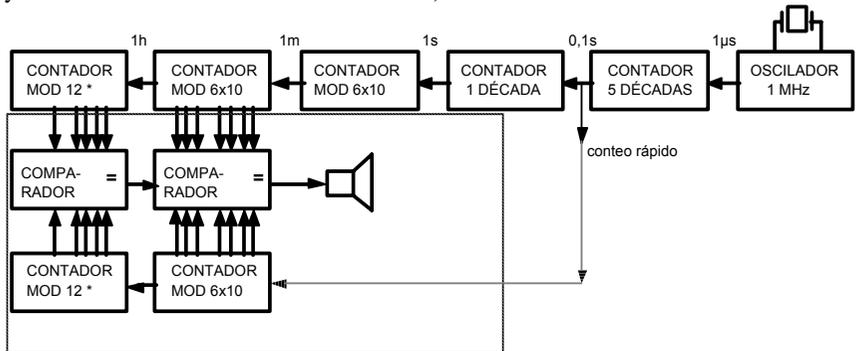


* contador modificado 1-12

Un contador adicional módulo 7 permite indicar los días de la semana y un nuevo contador hasta 31 señalará el día del mes; al cual seguirá un contador módulo 12 para obtener el número del mes y la correspondiente lógica de ajuste para los meses de 30 y de 31 días (y los 28/29 días de febrero).

La puesta en hora de este reloj suele realizarse llevando directamente la señal rápida de 0,1 segundos, mediante pulsadores apropiados, al contador de minutos y al contador de horas, hasta que en cada uno de ellos se contabilice el número deseado.

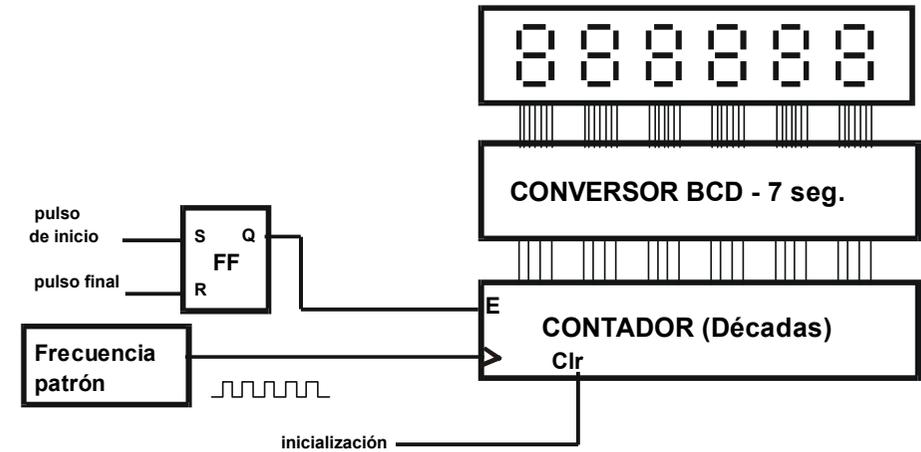
Es sencillo dotar a este reloj de alarma o despertador mediante un contador duplicado de horas y minutos en el que se fija, por contaje directo con la señal de 0,1 s, la hora y el minuto en el que debe sonar la alarma; un comparador entre ambos contadores (horas y minutos) activa, con su salida de igualdad, un pequeño zumbador (en cuyo caso la alarma sonará durante 1 minuto).



En el capítulo anterior se comentó la disponibilidad de circuitos integrados específicos para relojes con toda la circuitería necesaria para su configuración, sin más que añadir el visualizador y el cristal de cuarzo; así como contadores horarios periféricos de microprocesadores a los cuales comunican la hora mediante transmisión serie.

17.3.2. Cronómetros

Otra forma de medida de tiempo es la realizada por los cronómetros que permiten medir con muy alta precisión el tiempo transcurrido entre dos sucesos; su actuación viene definida por un pulso de comienzo y otro de final de medida, los cuales abren y cierran, respectivamente, la habilitación de un contador, previamente borrado, que recibe en su entrada de reloj pulsos de frecuencia fija y muy precisa.



Con este esquema funcional es posible realizar medidas de tiempo sumamente precisas sin más que disponer de la frecuencia patrón adecuada (cristal de cuarzo).

Un cronómetro permite conseguir una extraordinaria precisión en la medida de intervalos relativos a un determinado fenómeno físico, realizando una transformación de las condiciones físicas que definen sus instantes inicial y final en pulsos eléctricos; por ejemplo, el paso de una bala entre dos detectores fotoeléctricos permite medir el tiempo en que recorre tal distancia.

Tal medida de intervalos temporales es aplicable indirectamente a la medida de otras magnitudes físicas tales como velocidad de vehículos y proyectiles (midiendo el tiempo empleado en recorrer una distancia prefijada), distancia (midiendo el tiempo que tarda en recorrerla una señal de velocidad conocida con precisión), volumen de llenado de líquidos a través de una tubería (conocido su caudal), etc. El radar y el sonar calculan la distancia a que se encuentran los objetos detectados a partir de la medida del tiempo que tarda en volver a ellos la señal emitida, tras ser reflejada por dichos objetos.

17.3.3. Temporizadores

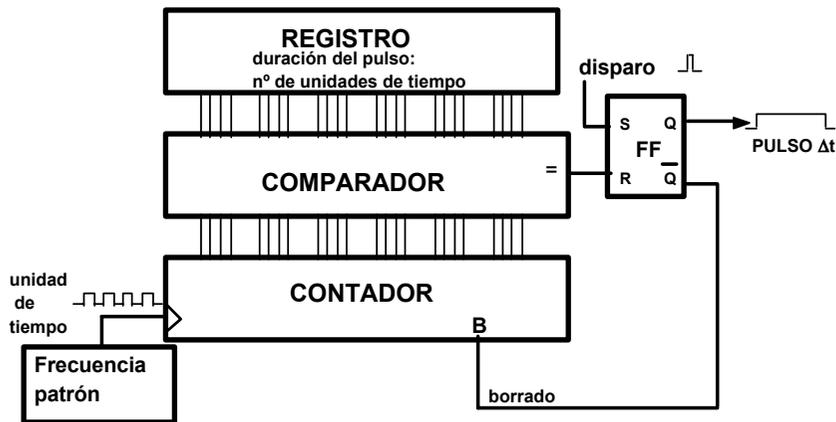
Otra medida particular de tiempos es la temporización, en la cual se establece el tiempo que debe durar un proceso, produciendo un pulso cuya duración coincida con el tiempo prefijado; dicho pulso determina el intervalo de activación del proceso, al finalizar el cual se produce su desconexión o desactivación o bien se genera una señal de alarma acústica o visual.

Una temporización no es sino un monostable de alta precisión, la cual se consigue a partir de una frecuencia patrón muy precisa, multiplicando su período por n mediante el correspondiente contador.

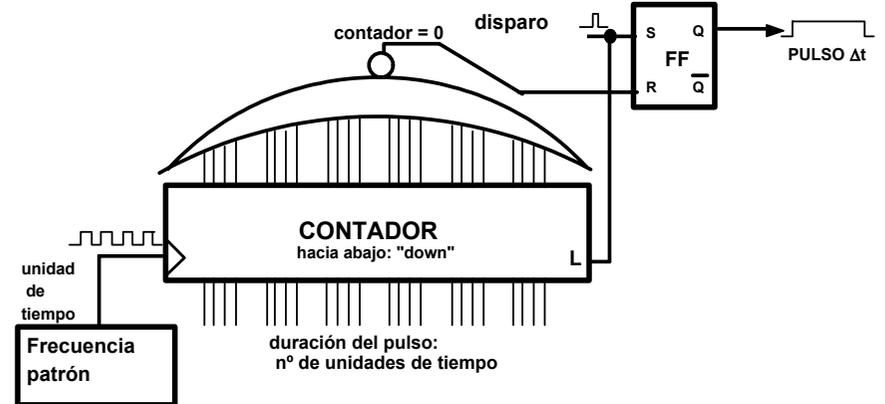
Temporizaciones, con diferentes grados de precisión, se utilizan en todo tipo de actividades, desde el control del tiempo de encendido de la iluminación de las escaleras comunitarias, hasta la apertura del objetivo de las máquinas fotográficas, pasando por la programación de tiempos en microondas o en hornos de cocina, y por los ciclos de funcionamiento de lavadoras y lavavajillas, por el control de luces de los semáforos, etc., que no son sino un conjunto de temporizaciones sucesivas.

En general, sistemas de temporización están presentes en el control de los procesos industriales de todo tipo, pues será preciso establecer en ellos los diversos tiempos de duración de cada fase o etapa.

La temporización puede ser por conteo ascendente, desde cero hasta el número prefijado, en forma análoga al sistema de alarma descrito para un reloj digital; sobre un registro o contador auxiliar se programa la duración del intervalo a temporizar y el final del mismo será detectado por comparación entre el contador activo y el registro programado.



Otra posibilidad consiste en utilizar un contador bidireccional (*up/down*), en el cual se programa inicialmente (mediante carga en paralelo o por contaje rápido ascendente), el tiempo de temporización deseado. Durante la temporización el contador va descontando las unidades de tiempo que transcurren, de forma que el contenido del contador muestra en cada momento el tiempo que falta para completarla; la llegada del contador a cero señala el final de la temporización.

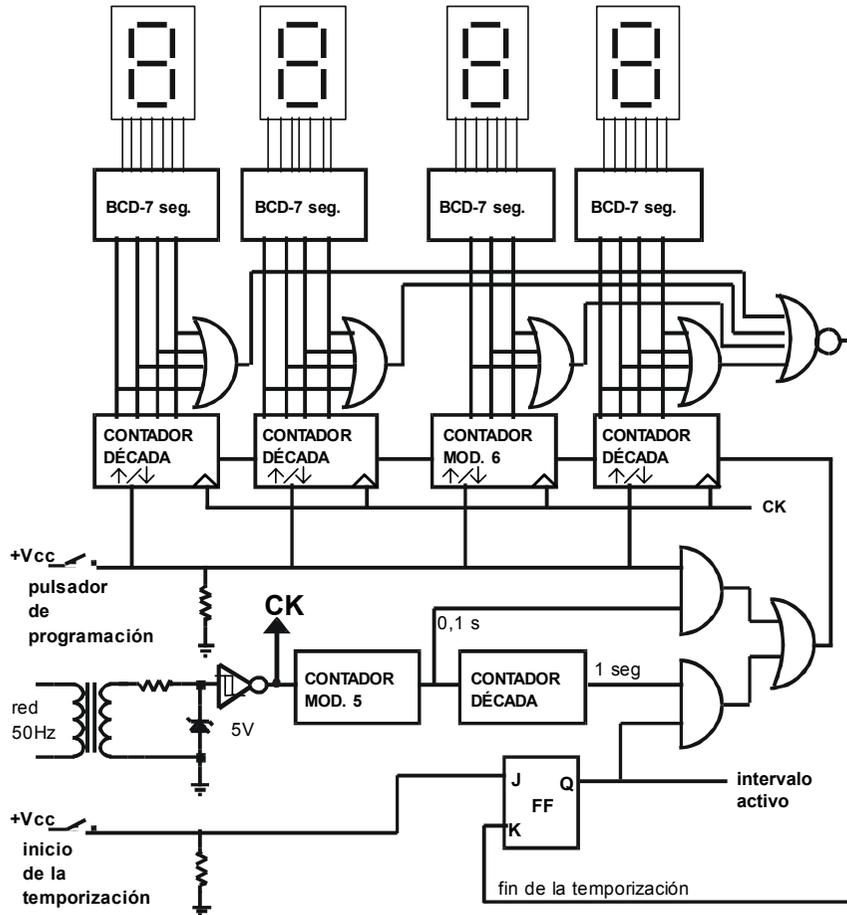


En el contador anterior, la entrada **L** (*load*) determina la carga en paralelo del número presente en las entradas del mismo; a partir de ahí, el contador descuenta hasta llegar a 0.

La figura de la página siguiente detalla un ejemplo de temporizador con una capacidad máxima de 99 minutos, una resolución de 1 segundo y programación por contaje rápido ascendente con pulsos de 0,1 s.

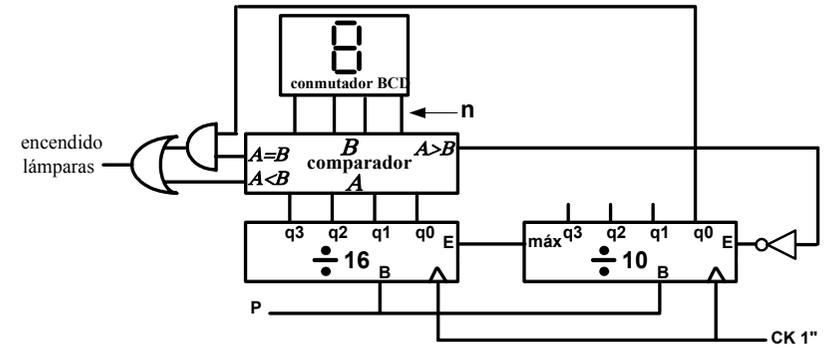
Mientras se mantiene activado el pulsador de programación el contador cuenta «hacia arriba» (*up*) a una velocidad de 10 pulsos por segundo que permite interrumpir el conteo en el número que se desea fijar. Un segundo pulsador determina el inicio de la temporización al situar el biestable **JK** a 1; durante la temporización el contador descuenta segundo a segundo hasta llegar a cero, en tal momento la puerta "o-negada" (*Nor*) que recibe todas las salidas del contador borra el biestable **JK**, dando por finalizada la temporización.

La frecuencia patrón ha sido tomada de la semionda de 50 Hz de la red de tensión alterna, rectificada y limitada en amplitud mediante un zener de 5 V, para obtener pulsos positivos cuyos flancos se conforman mediante un inversor con entrada Schmitt; esta frecuencia actúa como reloj general del sistema y, además, dividida por 5 genera una onda de temporización de 0,1" para la programación del temporizador mientras que una segunda división por 10 produce el período base de la temporización (1").



Otro ejemplo de temporizador: *Las lámparas de una escalera deben encenderse cada vez que se pulsa un interruptor P y mantenerse encendidas durante un intervalo de tiempo a programar mediante un conmutador BCD entre 10" y 90" (en múltiplos de 10"); durante los 10" siguientes las lámparas deben apagarse y encenderse 5 veces, con intervalos de 1".*

Un posible diagrama de bloques del correspondiente circuito de control puede ser el representado en la figura de la página siguiente: se utilizan dos contadores sucesivos, el primero de ellos tiene un ciclo de 10" que es la unidad de tiempo de contaje del segundo; la salida de éste se compara con el número *n* fijado por el conmutador BCD, de forma que la señal de salida tendrá valor 1 durante un número de estados igual a *n* (es decir, durante *n x 10"*).

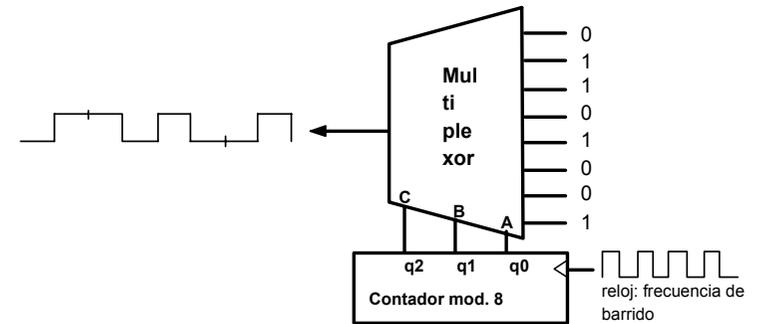


Durante el contaje del segundo contador de 0 a *n-1*, las lámparas permanecen encendidas: cuando dicho contador llega a *n*, «deja pasar» la intermitencia producida por la primera salida del primer contador (1" a 0 y 1" a 1) y al pasar a *n+1* se deshabilitan los contadores, hasta un nuevo borrado de los mismos con el pulsador P.

17.4. Multiplexado temporal: reparto de tiempos

Generador de palabras digitales y de secuencias de señales

Un multiplexor digital puede ser utilizado como generador de formas de onda digitales o generador de palabras; conectando sus entradas de control a las salidas de un contador, éste determina un muestreo sucesivo de los valores booleanos impuestos en las *n* líneas de entrada, dando lugar a la correspondiente onda repetitiva.



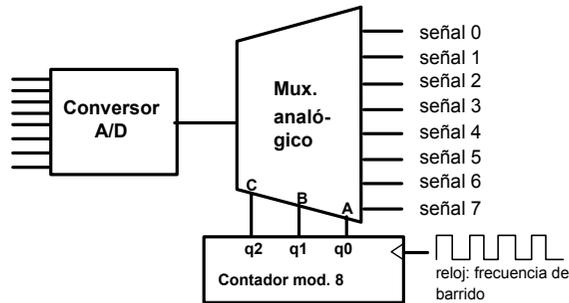
Análogamente, si se sustituye el multiplexor por un pequeño codificador ROM, se obtiene una secuencia repetitiva de los vectores de salida programados en dicho bloque, es decir, una secuencia de señales sincronizadas con el reloj del contador; lo cual puede ser útil para el control de maniobras repetitivas como, por ejemplo, el control de motores paso a paso o el control de máquinas herramientas (el codificador o «memoria ROM» sustituye en este caso a las antiguas cintas perforadas de programación).

Multiplexado de señales analógicas

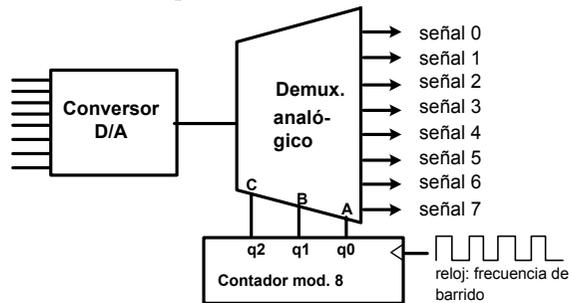
Un conjunto de n puertas de transmisión CMOS, conectadas a una misma línea de salida y controladas por un decodificador que active una sola de dichas puertas, constituye un multiplexor analógico que permite seleccionar una de entre n señales de entrada. El mismo multiplexor utilizado en dirección opuesta (1 entrada hacia n salidas) se convierte en demultiplexor analógico habida cuenta el carácter bidireccional que presentan las puertas de transmisión.

Conectando las entradas de control de un multiplexor analógico a un contador se realizará el muestreo sucesivo y cíclico de las n señales de entrada; la frecuencia del muestreo será la de los pulsos que reciba el contador.

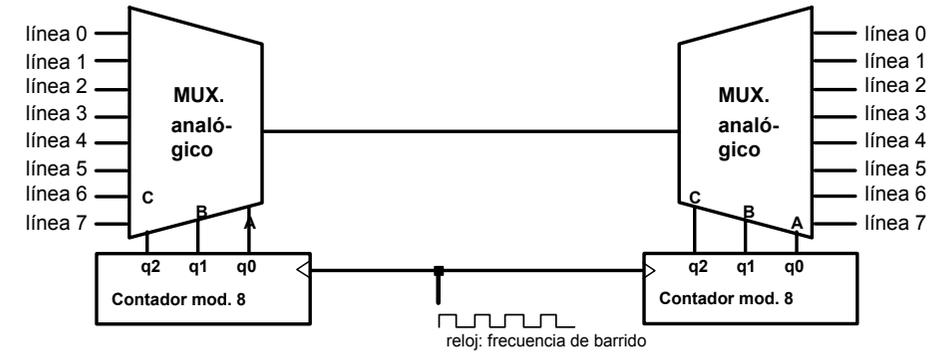
El muestreo de señales analógicas puede ser aprovechado para medir dichas señales con un mismo instrumento o circuito de medida (convertor analógico/digital). Resulta así una configuración típica de los sistemas de adquisición de datos para medir o controlar periódicamente diversas magnitudes físicas: el transductor correspondiente las transforma en tensiones y el multiplexado de ellas permite tomar sus valores con un solo convertor analógico-digital.



Asimismo, un demultiplexor analógico puede ser utilizado para generar varias referencias de tensión o varias señales lentas; un convertor digital/analógico puede proporcionar los diversos valores de tensión y el demultiplexor (controlado por un contador) los trasladará a sus salidas (será necesario que exista una capacidad adecuada conectada en cada línea de salida para mantener los valores de tensión).



También se utiliza el muestreo analógico para la transmisión de múltiples señales por una misma línea de comunicación: el multiplexor enviará muestras sucesivas de las n señales y, en la recepción, un sistema simétrico demultiplexor-contador, funcionando con la misma frecuencia de muestreo, separará las muestras hacia n líneas de salida.



Un teorema de muestreo, introducido por Claude E. Shannon, garantiza que, cuando se muestrea una señal a una frecuencia superior al doble de la frecuencia máxima contenida en ella, no hay pérdida de la información de la señal, es decir, es posible recuperar la señal inicial mediante filtrado de la señal muestreada.

El citado teorema de muestreo condiciona la integridad de la señal a transmitir a que la frecuencia de muestreo sea superior al doble de la frecuencia máxima de dicha señal; en cambio, no depende de la anchura de las muestras.

De esta forma, el muestreo a frecuencias adecuadas (superiores al doble de su frecuencia máxima) permite enviar un gran número de señales (en pequeños trozos de cada una de ellas) por la misma línea, multiplexadas en el tiempo. En la recepción de tales señales, una vez demultiplexadas las muestras recibidas, para obtener las señales primitivas basta con filtrar las líneas de salida mediante filtros pasa-baja con frecuencias de corte del orden de la mitad de la frecuencia de muestreo.

Reparto de tiempos

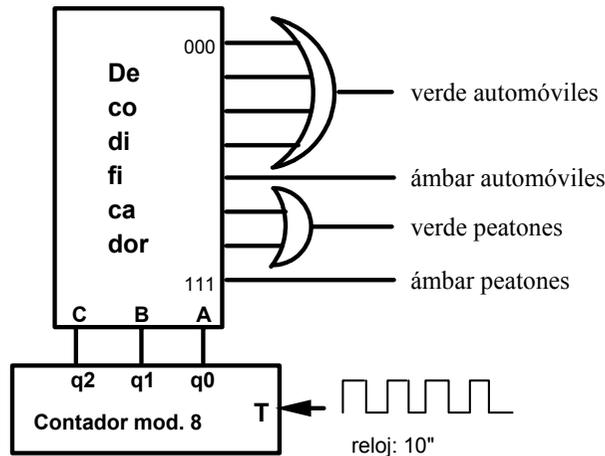
El multiplexado en tiempo (multiplexor controlado por un contador que recibe una señal de frecuencia fija) equivale a una distribución del tiempo en sucesivos intervalos, de igual duración, dedicados a diferentes señales o acciones. Con el mismo esquema circuital, sustituyendo el multiplexor por un decodificador de n líneas, se obtendrá un circuito de n salidas que se activarán sucesiva y cíclicamente; cada salida permite habilitar una actuación particular, que se irán ejecutando una tras otra.

De esta manera el ciclo se divide en partes o acciones sucesivas que se ejecutan en un orden dado (y se repetirán posteriormente en el mismo orden): el resultado es un conjunto de temporizaciones sucesivas, con igual duración de tiempo cada una de ellas.

También es posible dedicar varios intervalos a una misma acción y obtener así temporizaciones sucesivas de duraciones diferentes (siempre múltiplos del intervalo temporal básico).

Un ejemplo ilustrativo de este tipo de reparto de tiempos puede ser el comportamiento de un semáforo: *consideremos un semáforo para un simple paso de peatones que desarrolla el siguiente ciclo: 40" en verde para automóviles, 10" en ámbar para detenerlos; 20" en verde para paso de peatones y 10" en ámbar para completar el cruce de los mismos.*

El circuito de control de dicho semáforo puede ser el representado en la figura siguiente: un contador que recibe pulsos de 10" de período señala los ocho intervalos de 10" contenidos en el ciclo anterior, un decodificador diferencia cada uno de dichos intervalos y, a través de puertas "o", se agrupan tales intervalos para formar las cuatro temporizaciones a las que alude el enunciado.



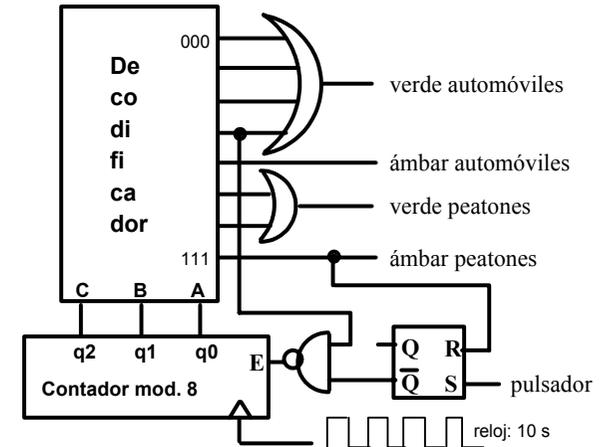
Obviamente, el decodificador no es imprescindible, pues las diferentes salidas pueden ser definidas a través de funciones booleanas:

$$\begin{aligned} \text{verde automóviles} &= \overline{q_2} & \text{ámbar automóviles} &= \overline{q_2 \cdot q_1 \cdot q_0} \\ \text{verde peatones} &= q_2 \cdot (q_1 \otimes q_0) & \text{ámbar peatones} &= q_2 \cdot q_1 \cdot q_0 \end{aligned}$$

pero, desde una perspectiva conceptual, el decodificador expresa muy gráficamente el reparto del tiempo (4 intervalos de 10" para paso de automóviles, 1 intervalo para detenerlos, 2 intervalos para paso de peatones y 1 intervalo de aviso a éstos).

Podemos perfeccionar el ejemplo anterior de manera que los peatones deban activar un pulsador como demanda de paso: *sea un cruce de peatones que cuenta con un semáforo para detener a los automóviles, con un pulsador P que debe ser activado por los peatones cuando desean cruzar; la activación de P da lugar al siguiente ciclo: 10" en amarillo para detener a los automóviles, 20" en rojo (verde para peatones), 10" en amarillo para peatones, pasando finalmente al estado de circulación de automóviles (rojo para peatones); cuando en dicho estado de circulación se recibe una nueva demanda de paso, es atendida pero asegurando siempre que el intervalo mínimo de paso de automóviles sea de 40".*

Puede utilizarse un biestable RS para recoger la demanda de paso por parte de los peatones; dicho biestable se borra en el intervalo de ámbar para peatones (que es cuando se completa el paso de peatones, en respuesta a una demanda anterior). Mientras hay nuevas solicitudes de paso se ejecuta normalmente el ciclo completo; pero, si no hay demanda de paso, el ciclo se detiene en el cuarto intervalo de 10" de paso de automóviles (ya que la puerta Nand anula la habilitación del contador) y permanece en dicha situación (paso de automóviles) hasta que se produce una petición de paso por parte de peatones.

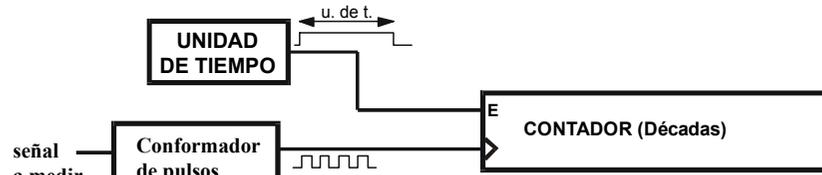


17.5. Medida de frecuencias

La frecuencia de una señal o de un proceso periódico es el número de repeticiones o pulsos por unidad de tiempo; su medida consiste en contar pulsos durante un intervalo de tiempo unidad o durante uno de sus múltiplos.

La medida de frecuencias es en cierta manera el recíproco de la medida de tiempos: mientras que en esta segunda se cuentan pulsos de frecuencia precisa y conocida durante el intervalo temporal a medir, para la medición de una frecuencia se cuentan los pulsos de la señal durante un intervalo de tiempo de duración precisa y conocida.

Para ello se requiere un subsistema que determine con precisión los intervalos temporales, a partir de una frecuencia patrón; durante la unidad de tiempo definida se permite el conteo de pulsos de la señal a medir y, al final de la misma, se inhibe dicho conteo, quedando recogida en el contador la medida de la frecuencia: número de pulsos por unidad de tiempo.

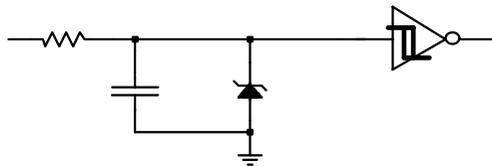


Esquema básico conceptual de un frecuencímetro

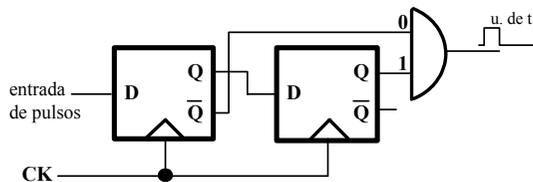
Un adaptador previo deberá «digitalizar» los pulsos de la señal de entrada, filtrando los posibles rebotes, ajustando sus valores de tensión y conformando flancos adecuadamente verticales; para ello, el bloque conformador de pulsos debe efectuar un filtrado pasa-baja (integración) a fin de evitar rizados y rebotes, recortar las tensiones en los niveles booleanos y «verticalizar» los flancos:



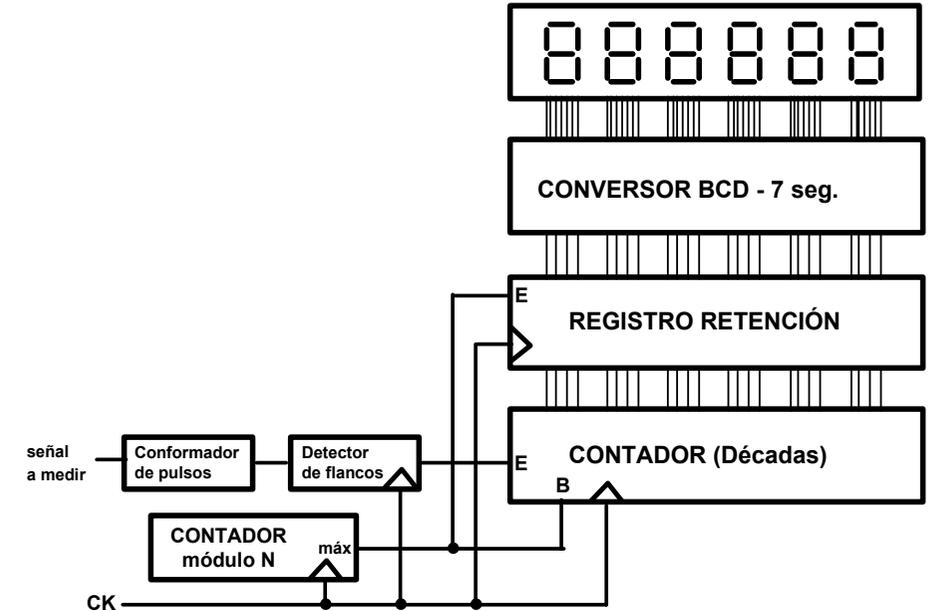
La integración puede ser hecha mediante un simple filtro RC (o con un filtro activo), un diodo zener puede recortar los niveles de tensión y un inversor con entrada Schmitt sirve para evitar rebotes y conformar flancos verticales:



Normalmente el diseño será síncrono con un reloj diferente de los pulsos de la señal de entrada, de forma que después del conformador de pulsos se necesitará un detector de flancos de los mismos para proceder a su conteo síncrono:



La figura siguiente representa un frecuencímetro de funcionamiento continuo; el intervalo de medida ha de ser del orden de 10", a fin de que cada medida se visualice durante un tiempo mínimo adecuado; como el contador va a ser utilizado continuamente, el resultado de cada medida será almacenado en un registro de retención (*latch memory*) para su visualización.



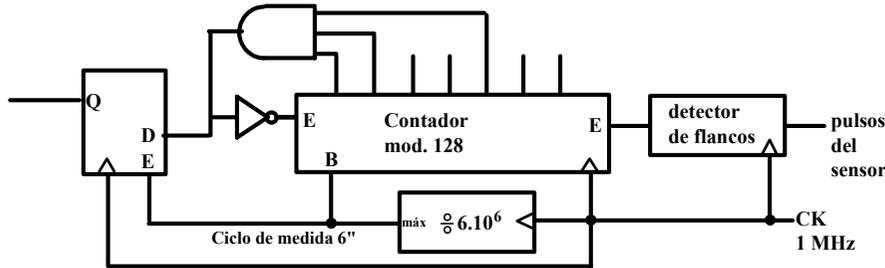
El contador que define el ciclo de medida divide por N la frecuencia del reloj, de forma que el período de medida será $T = N \cdot T_{CK}$ y el pulso de salida de dicho contador es una onda de temporización (cuyo tiempo en 1 es una sola unidad de tiempo). Cada ciclo de medida comienza con la puesta a cero del contador; a partir de dicho momento éste cuenta los pulsos de la señal de entrada durante el intervalo temporal $T = N \cdot T_{CK}$, al final del cual el mismo pulso que borra el contador recoge el conteo anterior sobre el registro y lo representa en el visualizador.

Esta configuración circuital permite un diseño síncrono a partir del reloj que genera la frecuencia patrón; el detector de flancos servirá para el conteo síncrono de los pulsos de entrada al frecuencímetro.

Medida y control de la velocidad de un motor

Una aplicación característica de la medida de frecuencias es la medida de la velocidad angular de un motor, expresada en número de revoluciones por minuto; para ello se detectan las vueltas del eje del motor mediante un sensor de tipo magnético o fotoeléctrico que genera los pulsos a contar.

La estructura circuital básica de un frecuencímetro de funcionamiento continuo sirve para configurar circuitos de control de la velocidad de un motor; por ejemplo, el de la figura cuya salida se activa si el número de revoluciones por minuto es superior a 1000.



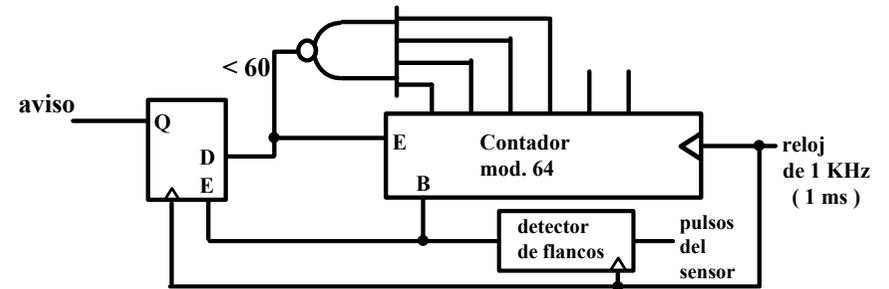
La velocidad de 1000 revoluciones por minuto equivale a 100 revoluciones en 6 segundos. Adoptando 6" como tiempo de medida, el contador deberá «vigilar» si se alcanza o no el número 100 (**1100100**); cuando el contador llega a tal cantidad, se inhibe su habilitación y la puerta "y" señala que se ha superado la velocidad máxima, dato que es recogido por el biestable D al finalizar el ciclo de medida e iniciarse uno nuevo (con el borrado del contador).

El mismo pulso (la onda de temporización de 6" generada por el contador inferior) produce la habilitación del registro (en este caso, un simple biestable para almacenar el aviso de superación de velocidad) y el borrado síncrono del contador para iniciar una nueva medida.

El anterior circuito podría utilizar un comparador con el número 100 (**1100100**), en lugar de la puerta "y"; en todo caso, es importante inhibir el contador una vez que se ha detectado la velocidad máxima, para evitar que «se de la vuelta» (llegue a su valor máximo y, luego, siga contando desde 0).

El esquema anterior presenta un tiempo de respuesta de 6 segundos (el tiempo de medida); puede obtenerse una respuesta más rápida midiendo el tiempo de cada vuelta (su período), en lugar de contar el número de revoluciones.

1000 revoluciones por minuto corresponden a un período de 60"/1000 = 60 ms; períodos inferiores a 60 ms (**111100**) suponen velocidad superior a la máxima. El circuito para medir dicho período puede ser el de la figura siguiente: el contador cuenta ahora el tiempo transcurrido entre dos pulsos del sensor y si dicho tiempo es inferior a 60 la puerta "y-negada" señala velocidad superior a la máxima.



En este caso son los pulsos del sensor de vueltas del motor los que determinan el intervalo de medida y, para ello, generan los pulsos de habilitación de dato y borrado del contador; al igual que en el caso anterior, es necesario inhibir el conteo una vez que se han detectado 60 ms, para evitar que el contador pase a valor 0. Igualmente se podría utilizar un comparador con el número 60 (**111100**), en lugar de la puerta "y-negada".

Medida de la velocidad de un vehículo

En cualquier vehículo que circula sobre ruedas, sea bicicleta, motocicleta o automóvil, el producto del número de revoluciones por minuto por la longitud de la circunferencia exterior de sus ruedas expresa la velocidad lineal del vehículo.

Por ejemplo, para una bicicleta con ruedas de 70 cm de diámetro (220 cm de circunferencia) la velocidad en kilómetros por hora coincide aproximadamente con el número de revoluciones que da en 8 segundos:

$$\frac{n \text{ vueltas}}{8 \text{ segundos}} \cdot 220 \text{ cm} = n \cdot \frac{220 \text{ cm}}{8''} = n \cdot \frac{220\text{cm}/100000\text{cm}}{8''/3600''} \frac{\text{Km}}{\text{h}} =$$

$$= n \cdot \frac{220 \cdot 3600}{8 \cdot 100000} \cdot \frac{\text{Km}}{\text{h}} = 0,99 n \approx n \frac{\text{Km}}{\text{hora}}$$

De manera que un frecuencímetro con una unidad de tiempo de 8 segundos proporciona directamente la velocidad de la bicicleta (cuyo diámetro de rueda sea de 70 cm) en kilómetros por hora; con diferentes diámetros de rueda o tiempos de medida distintos será necesario efectuar el correspondiente cambio de escala.

Codificación en frecuencia

En ocasiones para la transmisión de valores medidos por sensores alejados se utiliza su codificación en frecuencia (se envía una frecuencia proporcional al valor medido); este tipo de comunicación en frecuencia ofrece alta fiabilidad, minimizando el efecto de los errores propios de la transmisión; un frecuencímetro transformará la frecuencia recibida en un número que expresa la medida del sensor.