



Medición DTR de

¿Cómo se propaga un impulso electromagnético a lo largo de un cable coaxial? ¿Se puede medir su velocidad? En este artículo explicamos como, utilizando un osciloscopio y un sencillo circuito, se pueden localizar con precisión posibles defectos, cortes o cortocircuitos en un cable coaxial y determinar su impedancia nominal, además de observar la propagación de un impulso y medir la velocidad de transmisión.

Varios **centros de formación** se han puesto en contacto con nosotros solicitándonos la posibilidad de desarrollar un sistema para que sus estudiantes vieran claramente como se **propaga un impulso** a través de un **cable**.

Tras consultar con nuestros técnicos de desarrollo la viabilidad del proyecto surgió la idea de **incrementar las prestaciones del circuito** y no reducirlas únicamente a visualizar en la pantalla del osciloscopio la propagación de una señal a través de un cable coaxial.

Una vez diseñado un circuito que controla la propagación de la señal se hace relativamente sencillo dotarle de la posibilidad de **determinar la velocidad de propagación** de un impulso electromagnético a lo largo de un cable.

Y aún más, al controlar la propagación de la señal se puede determinar también con procedimientos nada complejos cualquier **variación de impedancia** en el cable debida a un **defecto**, a un **corte** o a un **cortocircuito** que pudiera producirse **a lo largo** del recorrido

de un **cable coaxial**, dotando así al circuito de las prestaciones de un **instrumento de medida**.

De esta forma el circuito que presentamos en este artículo, que **concluiremos** en el **siguiente número** de la **revista**, no solo tiene **aplicaciones didácticas**, sino que también es un válido **instrumento de medida** que puede pasar a formar parte de nuestro **laboratorio de electrónica**.

Cuando se aprenda a utilizar este instrumento de medida se podrán realizar **numerosas aplicaciones prácticas**. Por ejemplo, una de las más sencillas y efectivas, es determinar si un **tramo de cable coaxial** presenta **imperfecciones**.

También se puede utilizar para **verificar el cableado** de una **instalación de televisión** o el cableado de un **sistema de vídeo-vigilancia**, localizando con precisión posibles **averías**.

Y, por supuesto, también se puede determinar fácilmente la **impedancia nominal** de un **cable**.

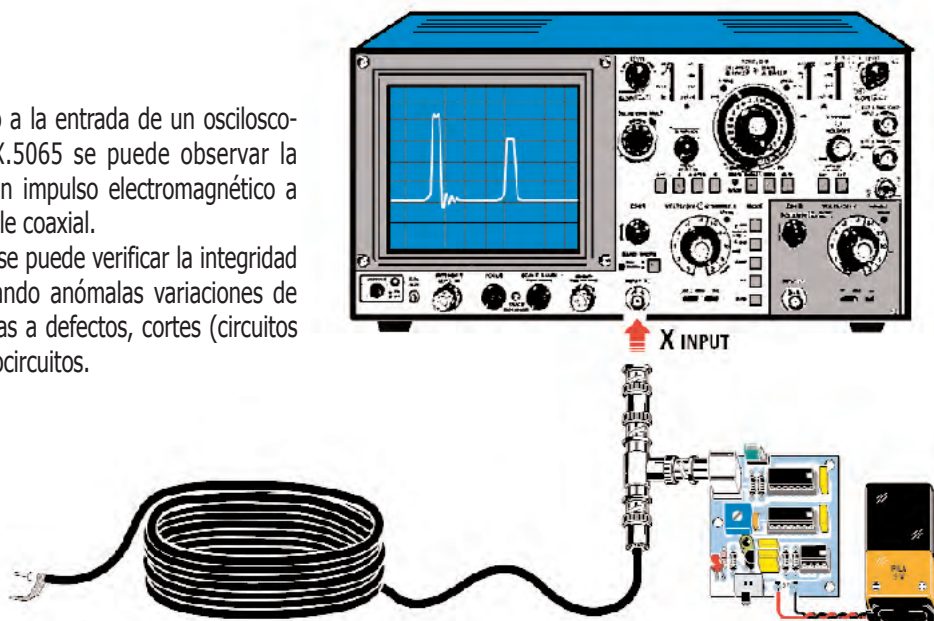
¿Para qué sirve medir la PROPAGACIÓN de un IMPULSO en un CABLE COAXIAL?

Con toda seguridad la información contenida en este artículo no está descrita en los manuales de utilización de los osciloscopios, aunque, sin duda, es de **gran utilidad** para quienes trabajan con **sistemas** que utilizan **cables coaxiales**, como por ejemplo las **instalaciones de televisión** o las **instalaciones de redes locales** de transmisión de datos, esto es las **instalaciones LAN** (Local Area Network).

Quienes se encuentran habitualmente este tipo de conexiones, como los **instaladores de antenas TV**, conocen muy bien los **problemas** que suelen aparecer en las instalaciones que utilizan este **tipo de cable**.

CABLES COAXIALES

Fig.1 Conectando a la entrada de un osciloscopio el circuito LX.5065 se puede observar la propagación de un impulso electromagnético a lo largo de un cable coaxial. Con este sistema se puede verificar la integridad del cable, localizando anómalas variaciones de impedancia debidas a defectos, cortes (circuitos abiertos) o a cortocircuitos.



En efecto, no es raro que después de haber realizado el tendido de decenas y decenas de metros de cable para, por ejemplo efectuar la instalación de **antena TV** en una **comunidad**, a algunas tomas no llegue toda o parte de la señal.

De igual forma puede suceder que después de haber realizado una compleja **red de transmisión de datos** para la conexión de **ordenadores** algunos no conecten.

Si, por accidente, al manipular el cable se ha provocado un **cortocircuito** o un **corte** puede llevar horas localizar el punto del cable donde ha sucedido el problema si no se dispone de la **instrumentación adecuada**.

No solo pueden fallar estos sistemas por “maltratar” el cable, un **contacto defectuoso** en un **conector** puede ocasionar **problemas similares**.

Evidentemente también cabe la posibilidad, aunque pequeña, de que haya **defectos de fabricación** en los cables.

Lo que si es relativamente más común es la presencia de **infiltraciones de humedad** y las acciones que desarrollan los incansables **roedores**. También en estos casos es vital **localizar** los **puntos** donde el cable **no** está en condiciones de **funcionamiento**.

A primera vista puede parecer una tarea difícil localizar los puntos donde suceden estos problemas. Sin embargo existe un **método rápido y preciso** que los soluciona.

Disponiendo de un **buen osciloscopio** y del **pequeño circuito** que aquí presentamos se puede **localizar rápidamente** si se ha producido un **corte** o un **cortocircuito** y localizar el **punto exacto** donde se ha producido.

Además, con un **procedimiento muy sencillo**, es posible obtener la **velocidad de transmisión** de cualquier tipo de cable coaxial y calcular de forma precisa su valor de **impedancia**.

¿Qué es la TDR?

El término **TDR** es el acrónimo de **Time Domain Reflectometry**, es decir **reflectometría** en el **dominio del tiempo**.

Este **sistema de medida**, cuyo principio de funcionamiento es muy **similar** al del **radar**, consiste en **mandar** un **impulso eléctrico** de breve duración a lo largo de una **línea de transmisión**, que puede estar constituida por un cable telefónico, pares trenzados o por un cable coaxial, y **medir** el **impulso reflejado** que se recibe después de cierto **tiempo**, visualizándolo en la pantalla de un **osciloscopio**.

Analizando el **impulso reflejado** se puede determinar si el **cable** está en **condiciones óptimas** o si presenta **defectos, cortes o cortocircuitos** que afecten a la información que fluye sobre la línea de transmisión.

Para realizar la medida se parte de un **generador** que produce **impulsos** muy breves, de unos pocos **nanosegundos** de duración cada uno. Estos impulsos están caracterizados por un frente de subida y un frente de bajada muy cortos.

Cada vez que el **generador** produce un **impulso** este aparece sobre la pantalla del **osciloscopio** (ver Fig.2).

Una vez generado, el **impulso** viaja a lo largo del **cable coaxial** con una **velocidad de propagación** determinada, hasta alcanzar el **otro extremo**.

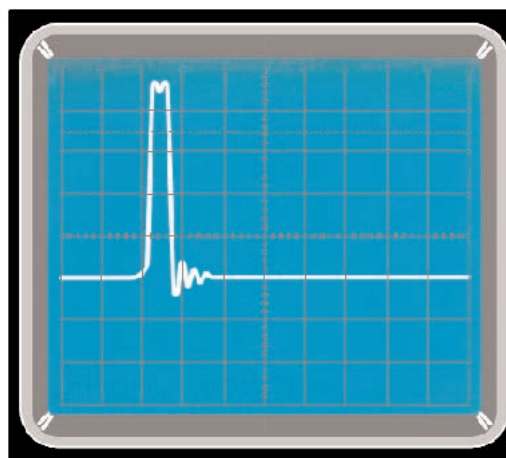


Fig.2 Para realizar las medidas se utiliza un generador capaz de producir series de impulsos de breve duración (unos 20 nanosegundos) y con una amplitud de 5 voltios. Estos impulsos se transmiten por el cable a medir.

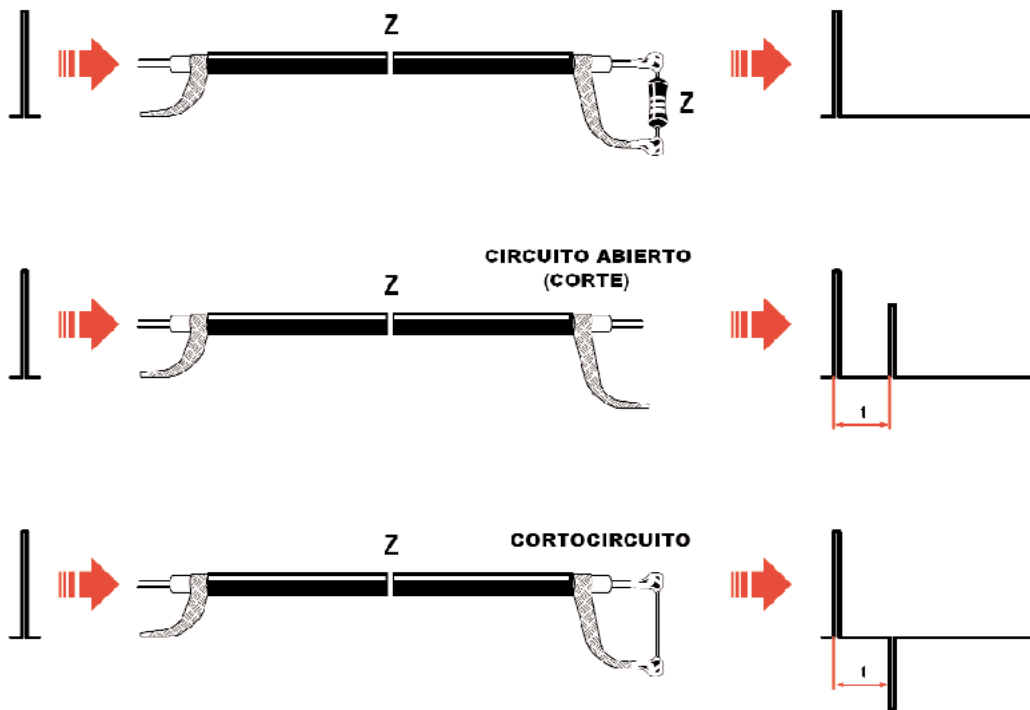


Fig.3 En función de si el cable está conectado a una impedancia igual a su valor nominal (ver imagen superior), presenta un corte (ver imagen central) o presenta un cortocircuito (ver imagen inferior), se obtienen tres diferentes formas de onda en la pantalla del osciloscopio. En el primer caso el impulso de salida es absorbido completamente por el cable. En el segundo caso, después de un tiempo t , se produce un impulso reflejado de la misma polaridad que el impulso de salida. En el tercer caso se produce un impulso reflejado de polaridad opuesta al impulso de salida.

Si a lo largo del trayecto el impulso **no** encuentra **variaciones de impedancia** y en el otro extremo del cable hay conectada una **carga equilibrada**, es decir de la misma impedancia nominal del cable, toda su **energía es absorbida** por el conjunto formado por el cable y la carga. En estas condiciones **no se refleja ningún impulso de vuelta**.

Este es el caso mostrado en la parte superior de la Fig.3, donde se representa un **cable coaxial** con una impedancia nominal Z y con una **carga de la misma impedancia**.

En cambio si, durante su recorrido, el impulso encuentra una **variación de impedancia** debida a cualquier razón, por ejemplo a un defecto en el cable producido por la presencia de humedad, un cortocircuito o un corte, el **impulso es reflejado** de vuelta hacia el **generador**, como si se tratara de un **eco sonoro**.

En este caso en la pantalla del **osciloscopio** se muestra una **segunda imagen**, el **impulso**

reflejado. Este impulso es similar al impulso de salida, pero de **amplitud ligeramente menor** (ver Fig.3, imagen central).

La **amplitud** del impulso reflejado depende de la **variación de impedancia** encontrada, cuanto mayor es la variación de impedancia encontrada en el cable mayor es la amplitud del impulso reflejado.

El impulso reflejado puede presentarse de **dos formas** con respecto al **impulso original**:

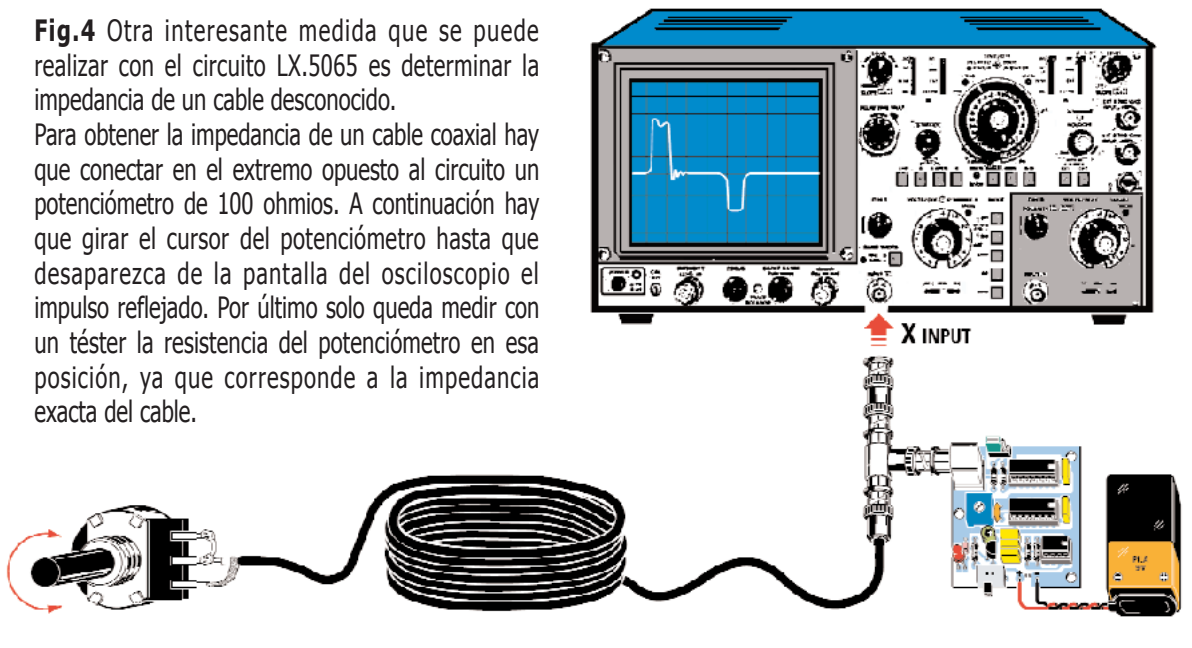
[1] Con la **misma polaridad** que el impulso de salida (ver Fig.3, imagen central).

[2] De **polaridad opuesta** al impulso de salida (ver Fig.3, imagen inferior).

El **primer caso** se produce cuando en el cable hay un problema que genera un **incremento de la impedancia nominal del cable**, o bien un **corte**, que al fin y al cabo tampoco deja de ser un aumento de impedancia hasta un valor **elevadísimo**.

Fig.4 Otra interesante medida que se puede realizar con el circuito LX.5065 es determinar la impedancia de un cable desconocido.

Para obtener la impedancia de un cable coaxial hay que conectar en el extremo opuesto al circuito un potenciómetro de 100 ohmios. A continuación hay que girar el cursor del potenciómetro hasta que desaparezca de la pantalla del osciloscopio el impulso reflejado. Por último solo queda medir con un téster la resistencia del potenciómetro en esa posición, ya que corresponde a la impedancia exacta del cable.



El **segundo caso** se produce cuando en el cable hay un problema que genera un **decremento de la impedancia nominal del cable**, o bien un **cortocircuito**, que al fin y al cabo tampoco deja de ser un decremento de impedancia hasta un valor prácticamente **nulo**.

Midiendo en la pantalla del **osciloscopio** el **intervalo de tiempo** que **separa** la señal correspondiente al **impulso original** y la señal correspondiente al **impulso reflejado** se puede determinar en qué parte del **cable** se ha producido el **problema**.

La información que podemos obtener de esta **medida** no se queda aquí, aún hay más.

Por ejemplo, **conociendo la longitud del cable** y **midiendo** con el osciloscopio el **tiempo** que transcurre entre el **impulso generado** y el **impulso reflejado** es posible obtener su **coeficiente de propagación**, coeficiente que proporciona la **velocidad de transmisión** del impulso electromagnético en el cable. En un **cable coaxial**, según sea su **tipo**, el coeficiente de propagación suele tomar valores entre **0,6** y **0,8**.

Si **medimos el coeficiente de propagación** en un cable de **longitud desconocida** podemos **determinar la longitud del cable** tomando como **patrón** una **medida** realizada con un **cable del mismo tipo de longitud conocida**.

Además se pueden realizar medidas muy interesantes conectando como **carga** un **potenciómetro de 100 ohmios** en el extremo del cable (ver Fig.4).

Ajustando el **potenciómetro** a su **valor máximo de resistencia** se obtiene un **impulso reflejado** de la **misma polaridad** que el **impulso de salida (positivo)**.

Reduciendo el valor del potenciómetro, por ejemplo a un valor de **80 ohmios**, la **amplitud del impulso reflejado** tenderá a **reducirse**, manteniendo su polaridad.

Bajando progresivamente la **resistencia del potenciómetro** se encontrará un punto, por ejemplo **50 ohmios**, donde en la pantalla aparecerá el impulso generado pero **no aparecerá ningún impulso reflejado**. Esto significa que la **resistencia del potenciómetro es igual a la impedancia del cable**, midiéndola con un **téster** corriente se puede determinar fácilmente el valor de la **impedancia del cable**.

Si se continúa **bajando la resistencia del potenciómetro** en la pantalla del osciloscopio volverá a aparecer un **impulso reflejado**, pero de **polaridad opuesta al impulso generado**. Llegando a **0 la resistencia del potenciómetro (cortocircuito)** el **impulso reflejado negativo** adquiere su **amplitud máxima**.

Todavía hay más interesantes aplicaciones.

Si se manda un impulso sobre un **cable de longitud conocida**, midiendo en la pantalla del **osciloscopio** la distancia que separa el impulso de salida del reflejado se puede calcular con precisión el **coeficiente de propagación** y la **velocidad de transmisión**.

Repitiendo la **misma medida** con **diferentes tipos de cable de longitud conocida** se puede realizar una **tabla** que indique para cada **tipo de cable** su **velocidad de transmisión**.

Sin duda estos valores serán muy útiles para **localizar averías** y para **diseñar sistemas**.

ESQUEMA ELÉCTRICO

El **corazón** del **generador de impulsos** está constituido por un clásico **integrado NE.555 (IC1)**, configurado para generar una señal de **onda cuadrada** con una frecuencia de unos **500 KHz**.

Esta señal, presente en el terminal **3** de **IC1**, se aplica a una entrada de la puerta **NAND IC2/D** (terminal **5**).

Como se puede apreciar en el esquema eléctrico (ver Fig.6) la misma señal también se envía a las entradas de la puerta **NAND IC2/A**, y, de su salida, a las entradas de la puerta **NAND IC2/B**. Ambas **puertas** actúan como **inversor**.

La señal presente en el terminal **8** de **IC2/B** se manda al **circuito RC** formado por el **trimmer R4 (1.000 ohmios)** y por el condensador **C5 (100 pF)**.

Después la señal se envía a las entradas de la puerta **NAND IC2/C**, que también actúa como **inversor**.

Por último la señal presente en el terminal **3** de **IC2/C** se aplica a una de las entradas de la puerta **NAND IC2/D** (terminal **4**).

Utilizando el **retardo** introducido por los **3 inversores** y por el **circuito RC** se obtiene en el terminal **4** de **IC2/D** una **señal retardada** con respecto a la presente en el terminal **5** de la misma puerta (ver Fig.5).

Además la **señal** presente en el terminal **4** de **IC2/D** está **invertida** con respecto a la señal presente en el terminal **5**.

Como se puede observar en la Fig.5 la **operación lógica NAND** entre estas dos señales permite obtener en la **salida** de la puerta **IC2/D** unos **impulsos negativos** con una duración de unos **20 nanosegundos cada uno** (con el trimmer **R4** ajustado a su valor **mínimo**).

Regulando el **trimmer R4** el retardo puede aumentar a valores mayores de los **20 nanosegundos** introducidos por los **3 inversores**.

El **retardo general** puede ajustarse entre **20** y **100 nanosegundos**.

El **impulso** obtenido, cuya **duración** queda determinada por el valor ajustado con el **trimmer R4**, se aplica a los **6 inversores** de **IC3**, que conectados en paralelo permiten transformar el impulso negativo en un **impulso positivo** y tener una **impedancia** de salida **nivelada** con la del **cable coaxial** a medir.

Con este propósito en el circuito hemos incluido el **punteo de configuración** (jumper) **J1**.

Punteando las **posiciones BC** o las **posiciones AB** se pueden seleccionar **dos valores de impedancia de salida** en el generador:

- En la **posición BC** únicamente se utiliza la resistencia **R6**, cuyo valor es de **39 ohmios**. Esta resistencia se **suma** a la impedancia de salida resultante del **paralelo** de las **6 puertas** del integrado **IC3**.

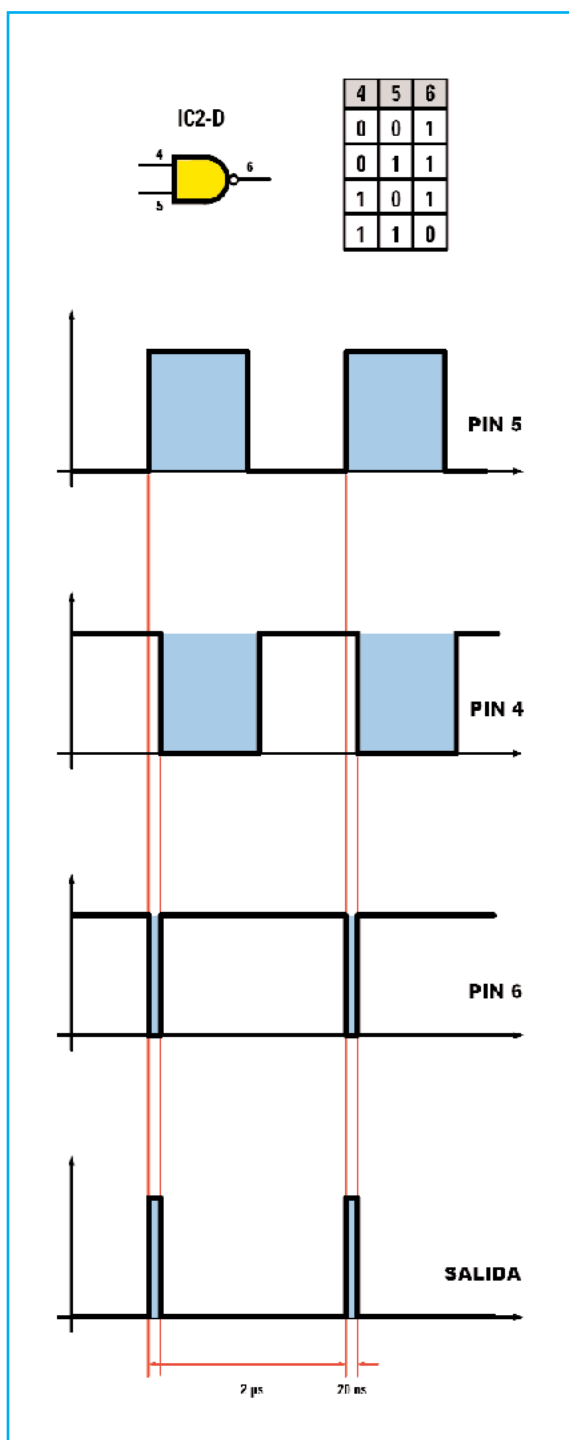
Puesto que la impedancia de salida de **cada inversor** es de unos **66 ohmios**, la **impedancia resultante** de la conexión de las puertas en **paralelo** es:

$$66 \text{ ohmios} : 6 = 11 \text{ ohmios}$$

Con el puente en la **posición BC** la **impedancia de salida** del generador será igual a:

$$39 \text{ ohmios} + 11 \text{ ohmios} = 50 \text{ ohmios}$$

Esta **posición** es la idónea para medir **cables coaxiales** cuya impedancia nominal es de **50 ohmios**.



- En la **posición AB** se conecta la resistencia **R5** de **27 ohmios** en serie a la resistencia **R6**. De esta forma la **impedancia de salida** pasa de 50 ohmios a:

$$50 \text{ ohmios} + 27 \text{ ohmios} = 77 \text{ ohmios}$$

Como consecuencia esta **posición** es la más adecuada para medir **cables coaxiales** cuya impedancia nominal es de **75 ohmios**.

Si se quieren probar **cables** con una **impedancia nominal diferente** basta con conectar el **punto** en la **posición AB** y **sustituir** la resistencia **R5** por otra con el valor adecuado, de tal forma que sumada a los **11 ohmios** del integrado **IC3** y a los **39 ohmios** de la resistencia **R6** se obtenga el mismo **valor de impedancia** que tiene el **cable a medir**.

Por ejemplo, si se quiere medir un **cable coaxial** de **100 ohmios** hay que **sustituir** la resistencia **R5** por una resistencia con un valor de:

$$100 \text{ ohms} - (11 \text{ ohms} + 39 \text{ ohms}) = 50 \text{ ohms}$$

El **valor estándar comercial** más próximo es **47 ohmios**. Si se quiere tener un **valor exacto** se pueden conectar en **paralelo** dos resistencias de **100 ohmios**.

La tensión positiva de **5 voltios** necesaria para la **alimentación** de los **circuitos integrados** se obtiene reduciendo la tensión de una **pila** corriente de **9 voltios** mediante el transistor **TR1** y el diodo zéner **DZ1**, que se utilizan como **regulador de tensión**.

El **diodo LED DL1** señala, mediante su encendido, que el **circuito** está recibiendo **alimentación** de la pila.

Fig.5 En esta figura se representa la puerta NAND IC2/D, que produce los impulsos del generador, y su correspondiente tabla de la verdad, que muestra los valores lógicos de la salida (terminal 6) en función de los valores lógicos de las entradas, una directamente tomada de la salida del NE.555 (terminal 5) y la otra obtenida también de la salida del NE.555 pero pasando previamente por una red de retardo compuesta por tres inversores y un circuito RC (terminal 4).

Con el trimmer R4 ajustado al mínimo la duración de los impulsos es de 20 nanosegundos, mientras que la separación entre impulsos es de 2 microsegundos.

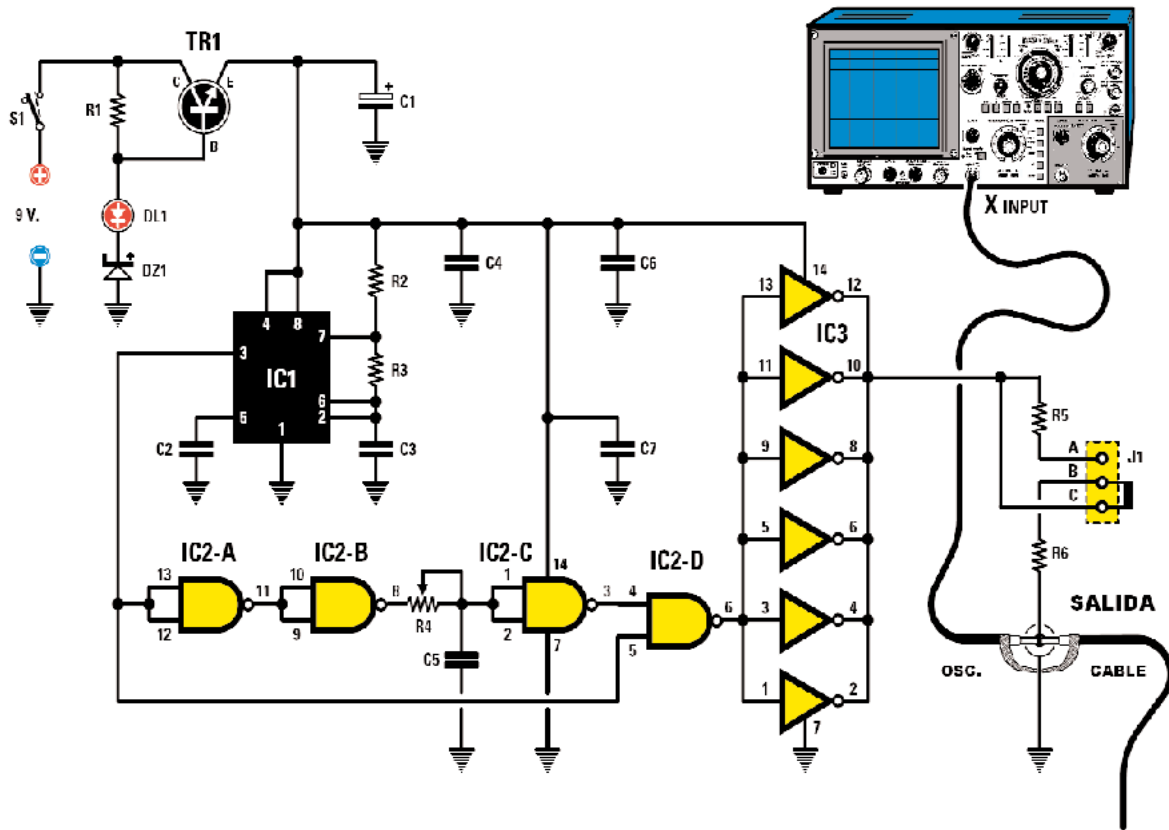
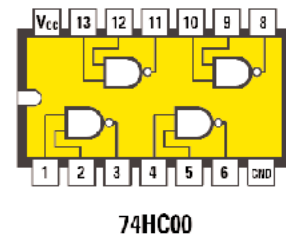
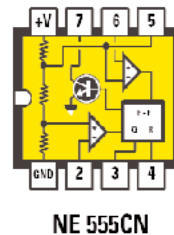
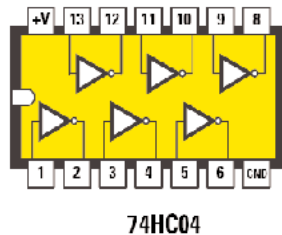
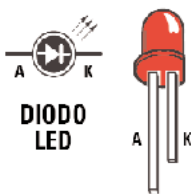
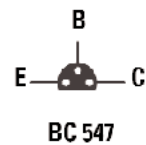


Fig.6 Esquema eléctrico del medidor TDR y lista completa de los componentes utilizados. También se muestran las conexiones de los integrados 74HC04, NE.555CN, 74HC00, vistas desde arriba y con la muesca de referencia orientada hacia la izquierda, y del transistor BC.547, vistas desde abajo.

LISTA DE COMPONENTES LX.5065

R1 = 1.000 ohmios
 R2 = 2.200 ohmios
 R3 = 5.600 ohmios
 R4 = Trimmer 1.000 ohmios
 R5 = 27 ohmios
 R6 = 39 ohmios
 C1 = 10 microF. electrolítico
 C2 = 100.000 pF poliéster
 C3 = 120 pF cerámico
 C4 = 100.000 pF poliéster
 C5 = 100 pF cerámico

C6 = 100.000 pF poliéster
 C7 = 100.000 pF poliéster
 DZ1 = Diodo zéner 3,9V 1/2W
 DL1 = Diodo LED
 TR1 = Transistor NPN BC.547
 IC1 = Integrado NE.555CN
 IC2 = Integrado TTL 74HC00
 IC3 = Integrado TTL 74HC04
 S1 = Interruptor
 J1 = Puente



REALIZACIÓN PRÁCTICA

El montaje de este circuito es extraordinariamente sencillo, ya que utiliza un número muy pequeño de componentes, tal como se puede ver en la Fig.8.

Una vez en posesión del circuito impreso **LX.5065** el montaje puede comenzar con la instalación de los **3 zócalos** para los **circuitos integrados**, uno de **8 terminales**, el utilizado para **IC1**, y dos de **14 terminales**, los utilizados para **IC2** e **IC3**.

Al instalar los **zócalos** para los **integrados** hay que orientar sus **muestras** de referencia hacia la **izquierda** y **no utilizar mucho estaño** en las soldaduras para no provocar involuntarios cortocircuitos.

A continuación se pueden montar todas las **resistencias**, el **trimmer R4**, los **condensadores de poliéster**, los **condensadores cerámicos** y el **condensador electrolítico C1**, en este último hay que tener la precaución de respetar la **polaridad** de sus **terminales** (el terminal **positivo** es **más largo**).

Es el turno de realizar la instalación de los semiconductores, comenzando con el **diodo zéner DZ1** (orientando su **franja negra** de referencia hacia **arriba**) y terminando con el **transistor TR1** (orientando su **lado plano** hacia la **izquierda**).

Ha llegado el momento de montar el **conector J1**, el **interruptor** de encendido **S1** y el **conector BNC hembra** de salida.

Para terminar el montaje hay que instalar los integrados **IC1**, **IC2** e **IC3** en sus correspondientes zócalos, conectar al circuito impreso los **cables** procedentes del **portapilas** (respetando su polaridad, **rojo** al **positivo** y **negro** al **negativo**) y soldar el **diodo LED** directamente al circuito impreso, recordando que el **ánodo** corresponde a su terminal **más largo**.

Una vez montado el circuito impreso hay que **configurarlo** insertando un **punte de cortocircuito (jumper)** en el conector **J1**, en función de la **impedancia** del **cable a medir**, y **ajustar** inicialmente por completo hacia la **izquierda** el cursor del **trimmer R4** para obtener **impulsos** con la **mínima duración**.

PRECIO de REALIZACIÓN

LX.5065: Precio de todos los componentes necesarios para realizar el **medidor TDR**, incluido el circuito impreso **23,90€**

LX.5065: Circuito impreso **3,75€**

NOTA Para adquirir el conector **BNC** en **T** y el **adaptador BNC macho/macho**, necesarios para realizar la conexión entre el generador de impulsos, el osciloscopio y el cable a medir (ver Fig.8), aconsejamos acudir a tiendas de electrónica **especializadas**.

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

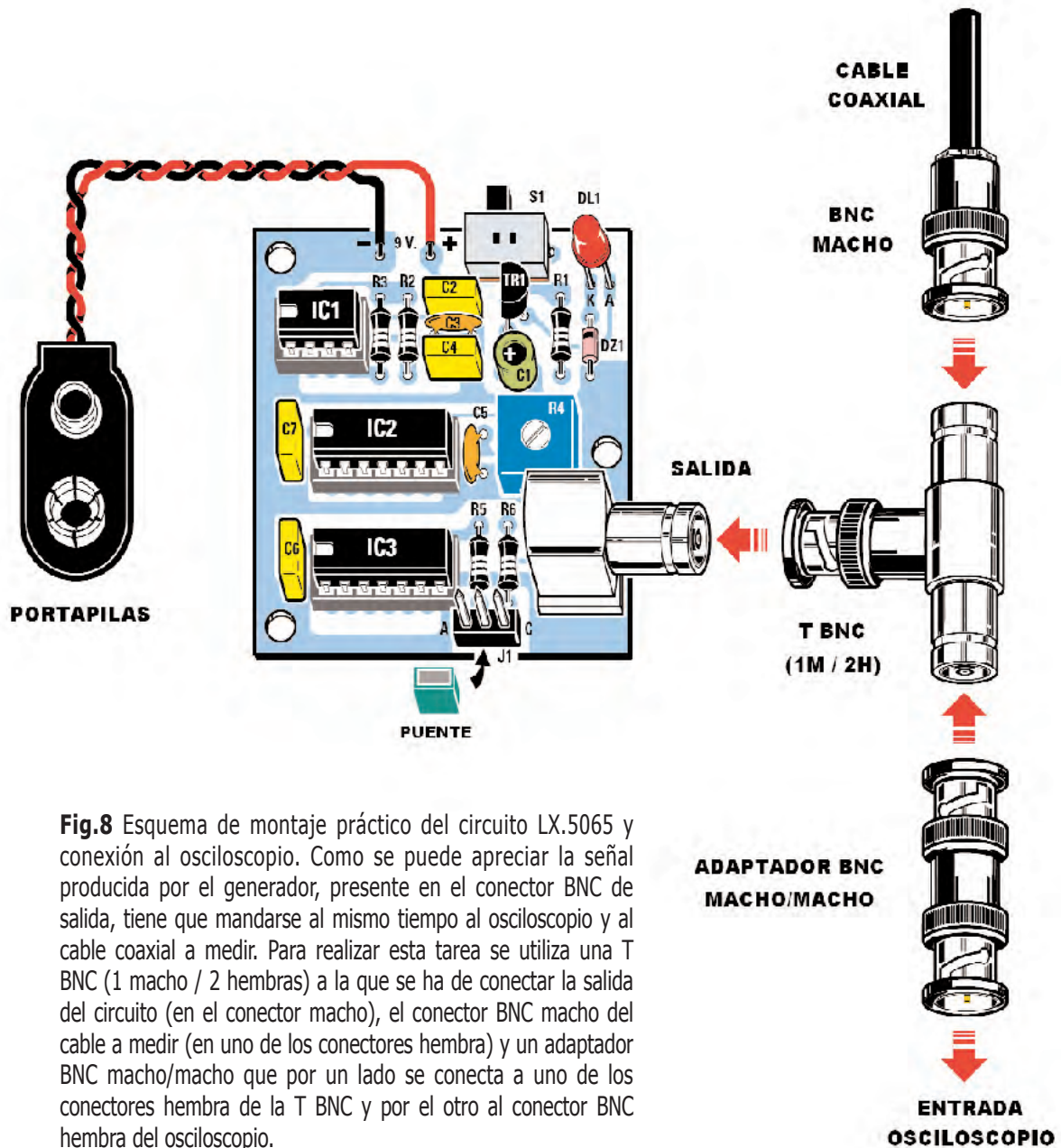
CONTINÚA en el SIGUIENTE NÚMERO

En las líneas que componen este artículo hemos expuesto los **principios de funcionamiento** del sistema, el **esquema eléctrico** y el **montaje práctico** del circuito.

En el **siguiente número** detallaremos de forma pormenorizada la **forma de utilizar** el circuito en diferentes **situaciones prácticas**.



Fig.7 Fotografía de uno de nuestros prototipos del medidor TDR LX.5065 con todos sus componentes montados.



NOTA Nosotros **no proporcionamos** la T BNC ni el **adaptador BNC macho/macho**. Quienes lo quieran adquirirlo pueden hacer en tiendas especializadas.

En el esquema práctico de montaje se puede apreciar claramente el interruptor de encendido (**S1**), el puente que permite seleccionar el valor de la impedancia de salida (**J1**) y el trimmer **R4**, elemento que permite ajustar la duración de los impulsos.