



Radioaficionados

Unión de Radioaficionados Españoles - Junio 1999

**PRESENTACIÓN OFICIAL
SELLO 50 ANIVERSARIO**

MÓDEM G3RUH

¿QUIERES GANAR EL CNCW?



CRISTALES DE CUARZO.

1.- INTRODUCCIÓN.

Los cristales de cuarzo son ampliamente utilizados en los equipos que utilizamos los radioaficionados. Basta dar una rápida ojeada al esquema de cualquiera de nuestros transceptores para encontrar varios de ellos.



Figura número uno. Cristales de cuarzo naturales

formando parte otras rocas, como el granito (**cuarzo**, feldespato y mica). En la figura número 1 se puede ver un grupo de cristales de cuarzo tal como aparecen en la naturaleza.

Estos dispositivos están formados por una fina lámina de cuarzo situada entre dos electrodos. Como es sabido, el cuarzo, también llamado **crystal de roca**, es un mineral compuesto por silicio y oxígeno, (óxido anhidro de silicio, bióxido de silicio o anhídrido silícico, **SiO₂**) cuyos cristales tienen forma de prisma hexagonal terminado por dos romboedros que parecen una bipirámide hexagonal. El cuarzo es el

mineral más difundido en la corteza terrestre, bien en forma de cristales o

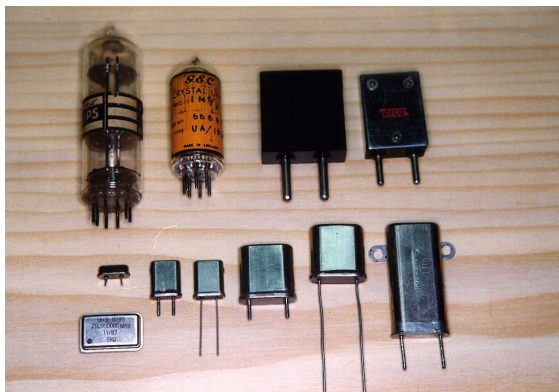


Figura número dos. Varios tipos de cristales de cuarzo.

En el presente artículo daremos un breve repaso a las características más importantes de los cristales de cuarzo empleados en comunicaciones y se describirá un pequeño circuito para probar dichos dispositivos. En la figura número 2 se muestran distintos tipos de cristales de cuarzo empleados en comunicaciones. En la parte superior de la figura y de izquierda a derecha tenemos dos cristales encapsulados en una envoltura de vidrio de la misma forma que la empleada para válvulas electrónicas. Mas a la derecha se

pueden ver dos cristales en cápsula de resina. Estos tipos son muy antiguos y ya están en desuso.

En la parte inferior tenemos distintos tipos de cápsulas metálicas, que son las que se emplean en la actualidad, sobre todo las más pequeñas. En la parte inferior izquierda se muestra un cristal de los utilizados en los ordenadores. Este dispositivo en realidad es un oscilador completo, ya que basta aplicar una tensión de 5 voltios para que el

dispositivo genere la señal, que en el caso del que se muestra en la figura, es de 20 MHz.

En los cristales de cuarzo se produce un fenómeno llamado **piezoelectricidad**. Este fenómeno consiste en que la aplicación de una tensión eléctrica produce una deformación del cristal, mientras que la deformación del cristal genera una tensión eléctrica. Esta característica se aprovecha en electrónica para producir tensiones alternas con una gran estabilidad de frecuencia ya que ésta depende directamente del grueso de la lámina de cuarzo.

Cómo es natural, un simple cristal de cuarzo no es capaz por si sólo de generar ninguna tensión alterna. Es preciso que el cristal de cuarzo forme parte de un circuito electrónico llamado **oscilador** que no es sino un amplificador donde una parte de la energía de salida, se realimenta con la misma fase a la entrada. A esto se le llama realimentación positiva.

Si en el camino de la realimentación positiva se encuentra un cristal de cuarzo, entonces el oscilador generará una tensión alterna cuya frecuencia vendrá determinada por las características mecánicas del cristal utilizado y tendrá la característica de que su frecuencia será sumamente estable y precisa. De ahí su empleo en equipos de telecomunicaciones.

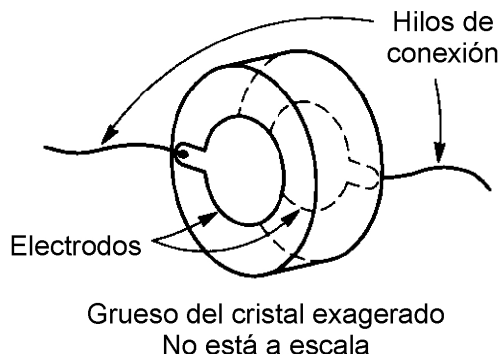


Figura número cuatro. Esquema de un cristal de cuarzo.

Como ya se ha indicado, la frecuencia de oscilación de un cristal viene determinada por el grueso de la lámina de cuarzo y la dirección en que se dio el corte del cristal original para obtener la lámina. En la figura número 3 se pueden ver unos cristales de cuarzo sin su cubierta protectora. Se aprecian claramente los electrodos que están metalizados directamente sobre la lámina de cuarzo. En la figura número 4 se muestra un esquema de la construcción interna de un cristal de cuarzo, aunque su grueso se ha exagerado. Para un cristal cuya

frecuencia sea de, por ejemplo, 15 MHz el grueso de la lámina de cuarzo estará alrededor de 0,15 milímetros.

Cuando se aplica una tensión alterna entre los electrodos, se produce una deformación de la lámina de cuarzo. Esta deformación se traslada de un lado de la lámina hacia el otro lado, donde se refleja hacia el lado contrario. Si esta deformación reflejada coincide en fase con la deformación inicial, las dos se suman incrementándose notablemente. Se produce la resonancia y la frecuencia de la tensión aplicada se dice que es la **fundamental** del cristal. Si la frecuencia de la

tensión aplicada es, por ejemplo, tres veces mayor, también se produce la coincidencia de fase entre la deformación inicial y la deformación reflejada dándose también la condición de resonancia. Esta condición de resonancia también se da en otras frecuencias múltiplos impares de la frecuencia fundamental. En este caso se dice que el cristal oscila en el tercer, quinto, etc. **sobretono**.

Durante las reflexiones de las ondas en los lados de la lámina de cristal, hay un pequeño error de fase, por lo que la frecuencia de un sobretono no coincidirá exactamente con un múltiplo de la frecuencia fundamental. Es por tanto que **no hay** que confundir **sobretono** con **armónico**.

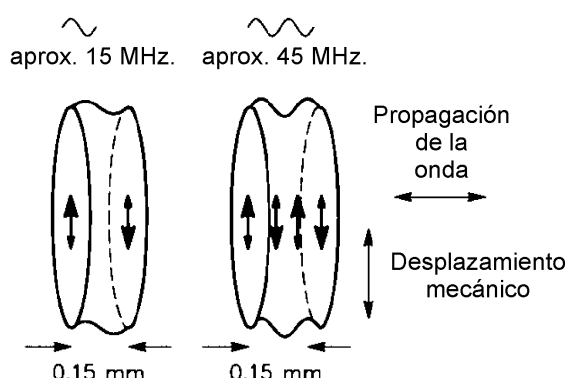


Figura número 5. Oscilación en fundamental y sobretono.

Sobretono no es otra cosa que una resonancia mecánica del cristal, mientras que **armónico** es una señal adicional cuya frecuencia es un múltiplo **exacto** (también los pares) de la frecuencia fundamental. En la figura número 5 podemos ver un esquema de un cuarzo oscilando en la frecuencia fundamental y en el tercer sobretono.

Por todo lo anterior, podemos considerar un cristal de cuarzo como un circuito resonante con un factor de calidad **Q**, muy elevado. Un circuito

resonante convencional compuesto de una bobina y un condensador, se considera **bueno** si tiene un **Q** de 200. Un cristal de cuarzo alcanza sin dificultad factores de calidad de 10.000 (diez mil) y los mejor contruidos pueden sobrepasar factores de 100.000 (cien mil). De ahí su utilización en circuitos osciladores donde se precisa una alta precisión en la frecuencia generada.

Debido al carácter mecánico del fenómeno piezoeléctrico, y cómo los cambios de temperatura hacen variar las dimensiones del cristal, la frecuencia que genera un oscilador con cristal de cuarzo puede variar con dichos cambios de temperatura. En aquellas aplicaciones donde se requiere la máxima estabilidad en la frecuencia generada, se recurre a **estabilizar térmicamente** el cristal de cuarzo. Para ello, se introduce el cristal en un recinto cerrado y aislado térmicamente y se calienta con un dispositivo termostático, de tal manera que su temperatura, digamos 60 grados, permanezca constante.

Otro factor que puede hacer variar la frecuencia de un cristal es el **envejecimiento**. Cuando se fabrica un cristal, normalmente se le somete a ciclos de calentamiento para minimizar este efecto, pero con el tiempo, la frecuencia de oscilación puede variar en mayor o menor grado, de forma más acusada al principio y más lentamente pasado un cierto tiempo. Por esto es necesario proceder a un reajuste de los osciladores pasado un cierto tiempo de operación. Esto es particularmente necesario en equipos de

medida tales como frecuencímetros, donde la precisión de la medida depende de la precisión con que esté ajustado su oscilador patrón.

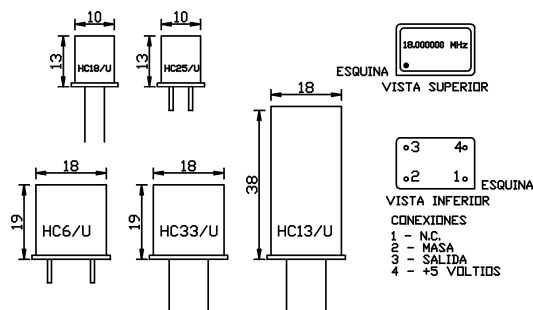


Figura número seis. Dimensiones de las cápsulas.

El cristal de cuarzo es un material frágil y por tanto es preciso protegerlo con una cápsula que suele ir rellena de un gas inerte, por ejemplo, nitrógeno. Hay distintos tamaños de cápsulas y en la figura número 6 se pueden ver las dimensiones aproximadas de las más usuales, así como su denominación. Las cápsulas HC18/U, HC33/U y HC13/U tienen hilos para soldar, mientras que las cápsulas HC25/U y HC6/U tienen patillas para enchufar.

Normalmente en el taller de radioaficionado se encuentra un cierto número de cristales de cuarzo cuya frecuencia y estado de funcionamiento a veces no es del todo conocido. Para probar su funcionamiento necesitamos algún tipo de oscilador que nos permita determinar si el cristal funciona y su frecuencia de resonancia, aunque sea de forma aproximada.

En los párrafos siguientes se describe un oscilador aperiódico que nos permitirá probar cristales de cuarzo con frecuencias de resonancia comprendidas entre un mínimo de 1 Mhz y un máximo de 30 MHz aproximadamente.

2.- DESCRIPCIÓN.

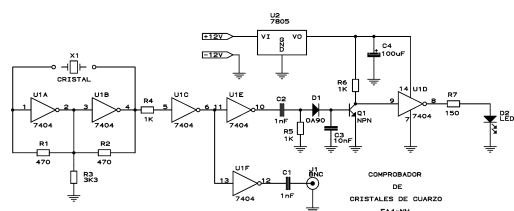


FIGURA NÚMERO SIETE
ESQUEMA DEL COMPROBADOR

En la figura número 7 tenemos el esquema del circuito eléctrico del oscilador. Está construido con dos inversores de un circuito integrado TTL 7404, que está formado por seis inversores.

Las secciones U1A y U1B forman el oscilador. Como estos inversores tienen una elevada ganancia para su funcionamiento digital (todo o nada) es preciso añadir las resistencias R1, R2 y R3 para linearizar su curva de trabajo. Dos inversores puestos en serie hacen que la salida del segundo esté en fase con la entrada del primero, dándose la condición de realimentación positiva. Como en el camino de ésta realimentación tenemos un cristal de cuarzo, en la salida del segundo inversor tenemos una tensión alterna cuya frecuencia coincide aproximadamente con la de resonancia del cristal.

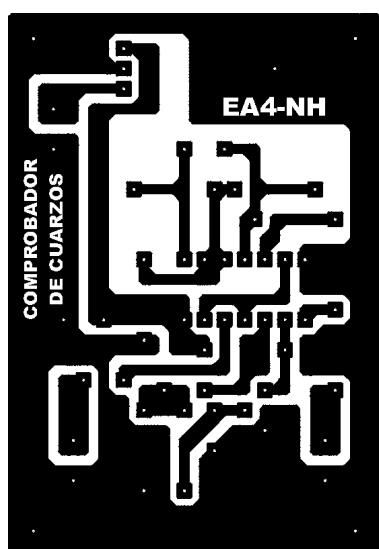
La resistencia R4 aplica la salida del oscilador a otro inversor, que sirve como amplificador separador. El inversor U1F envía la señal alterna a través del

condensador C1, al conector J1, donde podemos conectar un frecuencímetro para la lectura de la frecuencia. El nivel de la señal de salida corresponde con los niveles TTL por lo que es posible excitar circuitos digitales con este dispositivo. Para esta aplicación será necesario sustituir el condensador C1 por un puente, para que la tensión de salida varíe entre 0 (cero) y 5 voltios.

El inversor U1E envía la señal a través del condensador C2 a un diodo rectificador, D1. La tensión rectificada se aplica a la base de un transistor NPN (casi cualquier tipo servirá) haciendo que éste conduzca poniendo a masa la entrada del inversor U1D. Este nivel bajo en su entrada hace que en su salida aparezca un nivel alto, haciendo que el diodo LED D2 se encienda para indicarnos la actividad del cristal.

Cómo la tensión de funcionamiento del circuito integrado 7404 es de 5 voltios, todo el circuito está alimentado por el regulador U2 7805. De esta manera conseguimos que el circuito funcione con cualquier tensión comprendida entre 8 y 30 voltios.

3.- CONSTRUCCIÓN

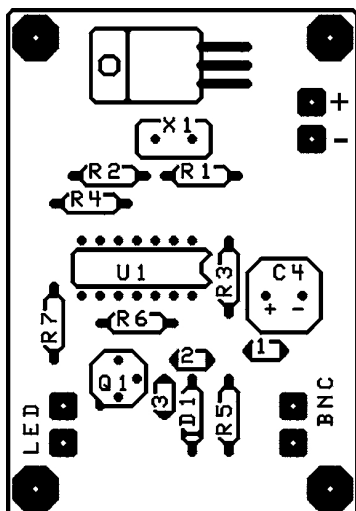


La construcción del comprobador de cristales de cuarzo se puede llevar a cabo utilizando cualquier técnica habitual. Se puede cablear directamente, utilizando algún tipo de regleta o se puede utilizar placa de circuito impreso perforada para prototipos. También se puede utilizar el circuito impreso cuyo diseño se puede ver en la figura número 8. En la figura número 9 tenemos la disposición de los componentes.

Seguiremos las técnicas habituales. Soldaremos las resistencias, condensadores, diodos, para terminar con el transistor y finalmente el circuito integrado. Para éste último podemos utilizar un zócalo, aunque no es imprescindible si tenemos la precaución de dejar enfriar el circuito entre la soldadura de cada patilla. En la figura número 10 tenemos la placa

montada con todos los componentes, excepto el conector J1, el diodo LED y los zócalos de los cristales.

Una vez completado el montaje de los componentes en la placa de circuito impreso, podemos montar ésta en el interior de una pequeña caja metálica donde sujetaremos los zócalos para los cristales, el conector BNC y el diodo LED. Un modelo apropiado puede ser la caja RETEX MINIBOX modelo RM.02. En la figura número 11 se puede ver el prototipo montado en una caja cómo la indicada. En la tapa superior sujetaremos los zócalos para enchufar los cristales y éstos irán provistos de dos trozos de hilo de cobre de 1 milímetro de diámetro que, cortados a la medida adecuada, al colocar la tapa en su sitio, enchufarán en el zócalo dispuesto en la placa de circuito.



Como es natural, el constructor podrá utilizar cualquier técnica de montaje que estime conveniente y emplear otra caja de cualquiera de los muchos modelos que hay en el mercado.

La relación de los materiales necesarios para la construcción del comprobador de cristales de cuarzo se da en la tabla siguiente.

C1	1nF
C2	1nF
C3	10nF
C4	100µF
D1	OA90
D2	LED
J1	BNC
Q1	NPN
R1	470
R2	470
R3	3K3
R4	1K
R5	1K
R6	1K
R7	150
U1	7404
U2	7805
X1	CRISTAL

4.- OPERACIÓN.

El funcionamiento del comprobador es muy sencillo. Basta con conectar la alimentación y enchufar un cristal de cuarzo en el correspondiente zócalo. El diodo LED se encenderá indicando la oscilación y si conectamos un frecuencímetro en el conector J1, podremos ver la frecuencia de oscilación, que será la fundamental del cristal, aunque en la cápsula venga marcada la de un sobretono.

El circuito tiene alguna característica que es preciso señalar. Por un lado, como no existe ningún trimmer compensador en serie con el cristal, la frecuencia generada no coincide exactamente con la nominal del cristal, sino que es un poco más baja.

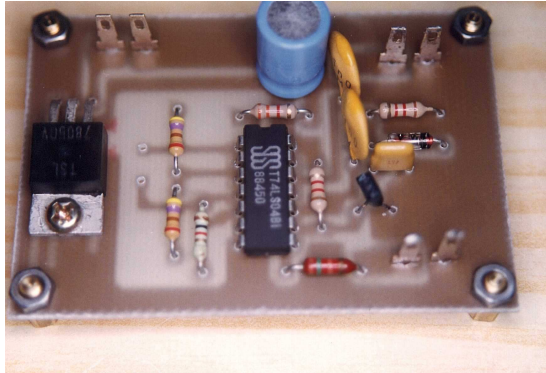


Figura número diez. Placa con componentes.

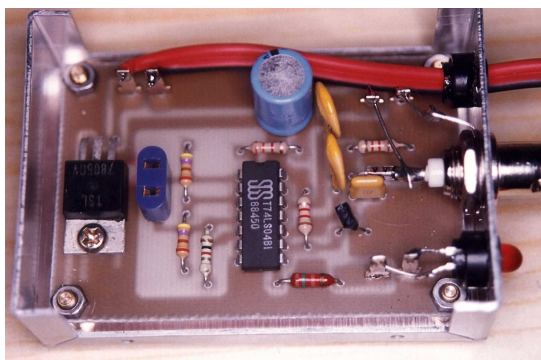


Figura número once. Prototipo terminado.

Si se inserta un cristal de una frecuencia muy baja, digamos 100 KHz, normalmente el oscilador no funciona o lo hace en una frecuencia arbitraria y muy alta, varios MHz. Esto es debido a que la realimentación no se produce por la resonancia del cristal sino a través de la capacidad entre los dos electrodos, que en estos cristales que tienen un tamaño apreciable, puede ser elevada.

En otras ocasiones y al insertar un determinado cristal, el oscilador arranca unas veces en fundamental y otras veces en sobretono. No obstante lo anterior, el comprobador funciona correctamente con la mayoría de los cristales con que se ha probado, mas de cincuenta.

5.- RESUMEN.

Mediante el circuito propuesto podremos comprobar el funcionamiento y la frecuencia de resonancia de cualquier cristal de cuarzo comprendido entre 1

MHz y 30 MHz aproximadamente, que son los límites dentro de los cuales se construyen la mayoría de los cristales. El circuito puede funcionar con tensiones de alimentación comprendidas entre 8 y 30 voltios, tiene un consumo de unos 25 miliamperios sin ningún cristal enchufado y de unos 45 miliamperios cuando está oscilando, a una tensión de alimentación de 12 voltios. Dispone de un diodo LED para indicar la actividad del cristal y tiene una salida hacia un frecuencímetro para poder leer la frecuencia de oscilación.

El montaje descrito en el presente artículo no ha sido probado en grandes series y, por tanto, no se tiene certeza de que su funcionamiento sea 100% correcto. Solamente se describe la construcción y el funcionamiento del prototipo.

El autor no se hace responsable de posibles derechos de copia. La información para la realización de este montaje procede de diversas publicaciones, libros, revistas, etc., así como de los propios conocimientos del autor.

El autor no se hace responsable de posibles daños y/o perjuicios causados por la construcción y/o uso de este dispositivo, daños personales o muerte, daños a la propiedad, daños al medio ambiente, lucro cesante, pérdida total o parcial de datos informáticos o cualquier tipo de daño que se pudiera derivar del montaje y/o uso de este dispositivo.

No se aconseja el uso de este dispositivo en aplicaciones críticas, cómo son control de maquinaria peligrosa, control de navegación o tráfico, maquinaria de mantenimiento de vida o sistemas cuyo mal funcionamiento pueda provocar causas o efectos anteriormente mencionados. Este dispositivo no es tolerante a fallos.

El autor declina cualquier responsabilidad, ni se hace responsable de no mencionar a los dueños de las posibles patentes que aquí se pudieran reflejar.

El dispositivo descrito en el presente artículo es un montaje experimental, cuyo propósito es el estudio de los diferentes aspectos de la Electrónica, por tanto, no está destinado a su utilización industrial ni para su explotación comercial en cualquiera de sus facetas.

El autor no efectúa ninguna actividad comercial relacionada con este u otros montajes publicados en esta u otras revistas o publicaciones de cualquier tipo.

El presente artículo y todos los publicados hasta el momento en la revista "RADIOAFICIONADOS", están recopilados en un DVD a disposición de quien lo solicite. Se incluyen todos los textos, así como las fotografías, dibujos, gráficos, plantillas de circuitos impresos, etc.

Aunque se ha intentado proporcionar todos los detalles necesarios para la realización del proyecto, es posible que algún aspecto no haya quedado suficientemente desarrollado. Como es natural, con mucho gusto el autor dará cumplida información sobre cualquier detalle no especificado, o cualquier punto en particular que no haya quedado completamente explicado. Buena suerte a todos.

Luis Sánchez Pérez. EA4-NH
Apartado 421, 45080-TOLEDO
Tlf. 606-383-140
Web: www.ea4nh.com
E-mail: ea4nh@ure.es

FIGURA NÚMERO UNO.
CRISTALES DE CUARZO NATURALES.

FIGURA NÚMERO DOS.
VARIOS TIPOS DE CRISTALES DE CUARZO.

FIGURA NÚMERO TRES.
CRISTALES DE CUARZO SIN CAPSULA.

FIGURA NÚMERO CUATRO.
ESQUEMA DE UN CRISTAL DE CUARZO.

FIGURA NÚMERO CINCO.
OSCILACIÓN EN FUNDAMENTAL Y SOBRETONO.

FIGURA NÚMERO SEIS.
DIMENSIONES DE LAS CÁPSULAS.

FIGURA NÚMERO SIETE.
ESQUEMA DEL COMPROBADOR.

FIGURA NÚMERO OCHO.
DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO.

FIGURA NÚMERO NUEVE.
DISPOSICIÓN DE COMPONENTES.

FIGURA NÚMERO DIEZ.
PLACA CON COMPONENTES.

FIGURA NÚMERO ONCE.
PROTOTIPO TERMINADO.