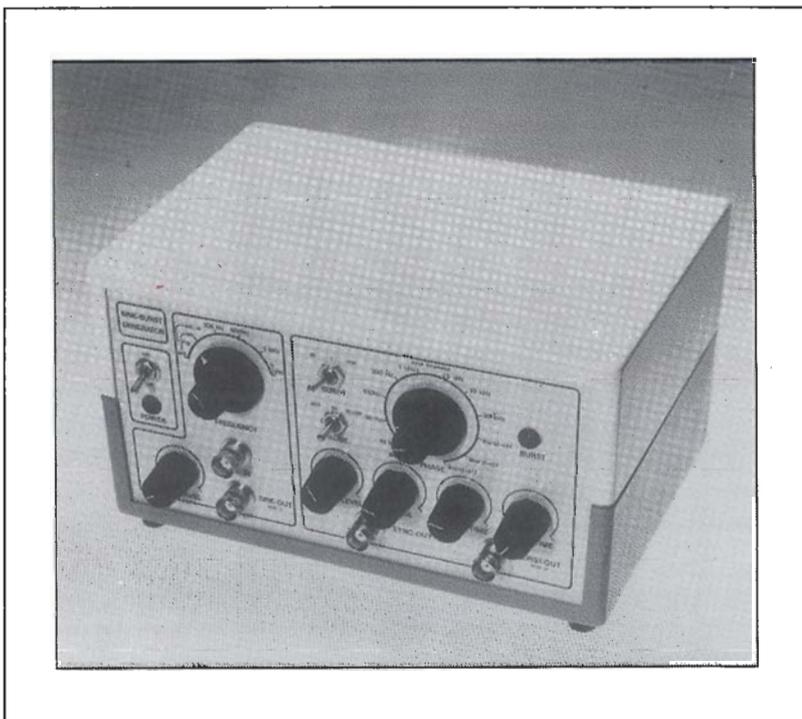


*Este generador senoidal, de muy baja distorsión y cuatro frecuencias, es un instrumento de gran utilidad en el laboratorio para el ajuste de circuitos de baja frecuencia de casi cualquier tipo.*

# GENERADOR SENOIDAL DIGITAL (1)



Un generador de frecuencias discretas suele utilizarse fundamentalmente para la medida de distorsión. Su nombre viene de que es capaz de proporcionar una o más frecuencias fijas en lugar de un margen continuo. La ventaja de usar un generador de frecuencias fijas de oscilación es que permite generar una onda senoidal mucho más perfecta que si se tratara de uno de frecuencia variable. El generador senoidal de frecuencias discretas descrito en este artículo, compuesto de dos partes, tiene características técnicas que le hace muy adecuado

para una gran variedad de aplicaciones que tengan algo que ver con el ajuste, medida o prueba de algún equipo de audio. Lo más sorprendente, a la vista de su sencillez, bajo precio y componentes

estándar, son sus excelentes prestaciones.

## *Principios básicos de diseño*

La figura 1 muestra los bloques funcionales que componen el generador senoidal discreto. Básicamente, la onda senoidal se obtiene generando primero una onda cuadrada, integrándola luego para sacar una onda triangular la cual se hace pasar por un filtro pasa bajo de orden elevado, que obtiene en su salida la onda senoidal. Este método se basa en la teoría de descomposición de ondas de Fourier, el cual propuso que la onda cuadrada está compuesta por un número infinito de ondas senoidales (la frecuencia fundamental y sus armónicos, es decir, múltiplos de la frecuencia principal).

En nuestro generador senoidal digital tenemos un oscilador de 4 MHz controlado por cristal de cuarzo. Este ataca a un divisor por 16, con lo cual a su salida tenemos una señal de 250 KHz. Des-

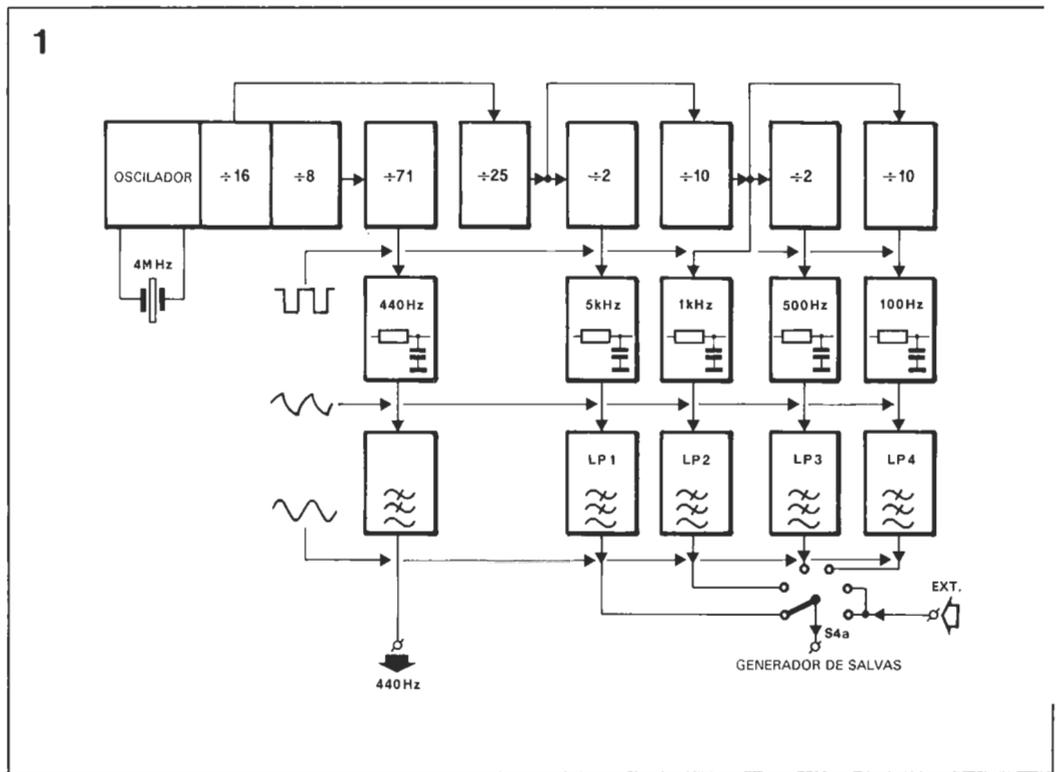
### Características técnicas del generador senoidal discreto

Frecuencias de salida:	5 KHz, 1KHz, 500 Hz, 100 Hz
Tensión de salida:	1.5 V <sub>rms</sub> (variable)
Estabilidad en frecuencia:	depende del cuarzo utilizado
Distorsión:	0.008% (tercer armónico)
Elementos adicionales:	diapasón de ajuste incluido; f=440 Hz; V <sub>out</sub> =V <sub>rms</sub> (variable)

pués de dividir esta señal de nuevo por 25 y por 2 tenemos una onda cuadrada de 5 KHz, que se aplica a una red R-C para integrarla. Las otras tres frecuencias del oscilador se obtienen dividiendo 10 KHz por 10 (1 KHz), 1 KHz por 2 (500 Hz) y 1 KHz por 10 (100 Hz).

Las cuatro ondas rectangulares se integran, como ya explicamos para la primera, por medio de una red R-C, con lo cual obtenemos ondas triangulares. Cada una de ellas se pasa por un filtro pasabajo para obtener en su salida la onda senoidal, que se aplica al selector de salida S4, el cual a su vez se conecta a un generador de salvas.

Una característica importante de nuestro generador senoidal discreto es que hemos añadido un circuito simulador de un diapason, capaz de generar una nota muy pura y estable de 440 Hz.



## Descripción del circuito

El esquema eléctrico del generador senoidal discreto puede verse en la figura 2. El generador de reloj de frecuencia central, IC1, está controlado por el cuarzo X1, cuya frecuencia de operación puede ajustarse exactamente a 4.000 KHz mediante el trimmer de ajuste C5. Las salidas Q4 y Q7 del contador contenido en IC1 proporcionan ondas cuadradas de 250 KHz, que alimenta a los divisores, y de 31.25 KHz para el diapason. La señal de 250 KHz se divide posteriormente por 25 dentro de IC2. Este factor de división tan poco usual se consigue gracias al uso de una puerta AND de 3 entradas (N1), que pone a cero el contador cuando Q5, Q4 y Q1 pasa a nivel alto, es decir, cada 25 impulsos (25 en binario es 11001, por lo tanto, Q5=1, Q4=1, Q1=1). La salida de 10 KHz, presente en la salida Q5 de IC2 es una onda triangular asimétrica y puede verse en el punto de prueba TP. Esta señal se aplica a las entradas de reloj (CLK) de FF1 e IC5. El biestable divide por 2, regenerando una onda simétrica de donde se obtiene una onda triangular de 5 KHz, tras ser integrada por la red R-C, compuesta por P1 y C1. IC5 divide por 10 y ataca a la red integradora compuesta por P2-C2, para obtener una onda triangular de 1 KHz. El biestable FF2 y el contador IC6 sirven de igual modo

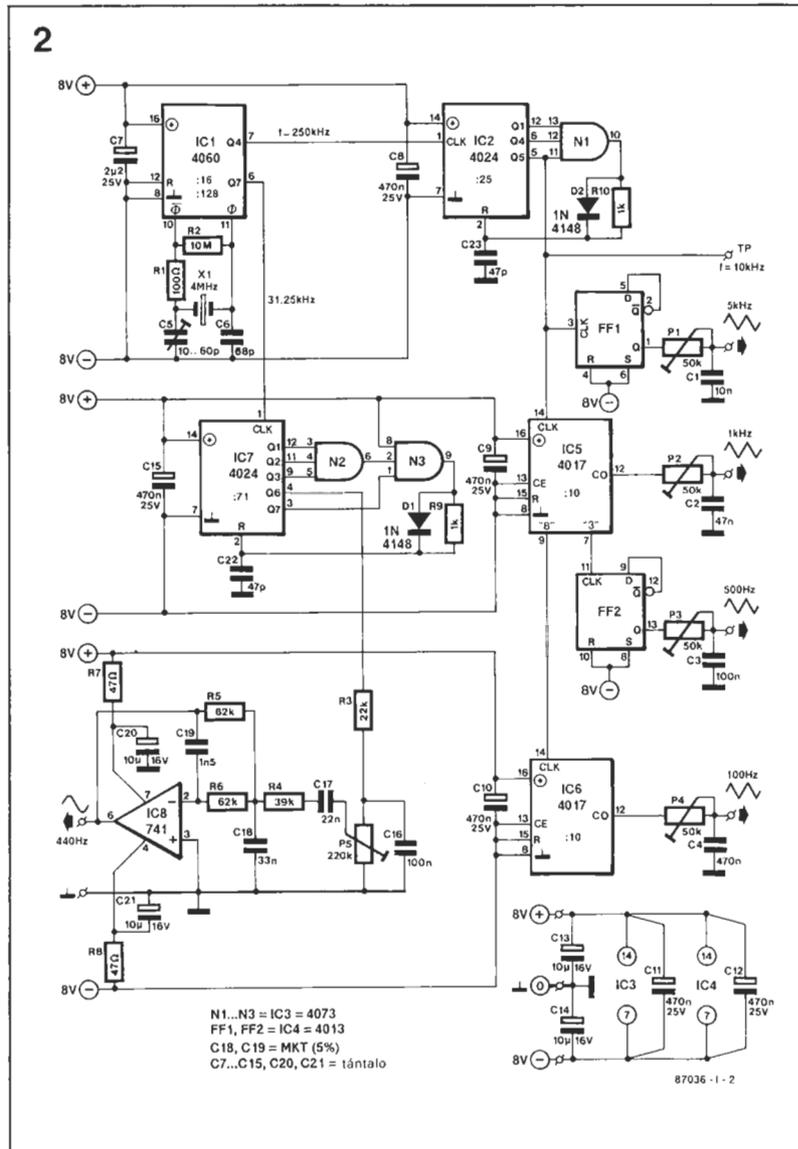


Figura 1. Diagrama de bloques del generador senoidal discreto.

Figura 2. Esquema eléctrico del generador senoidal discreto sin los filtros de salida.

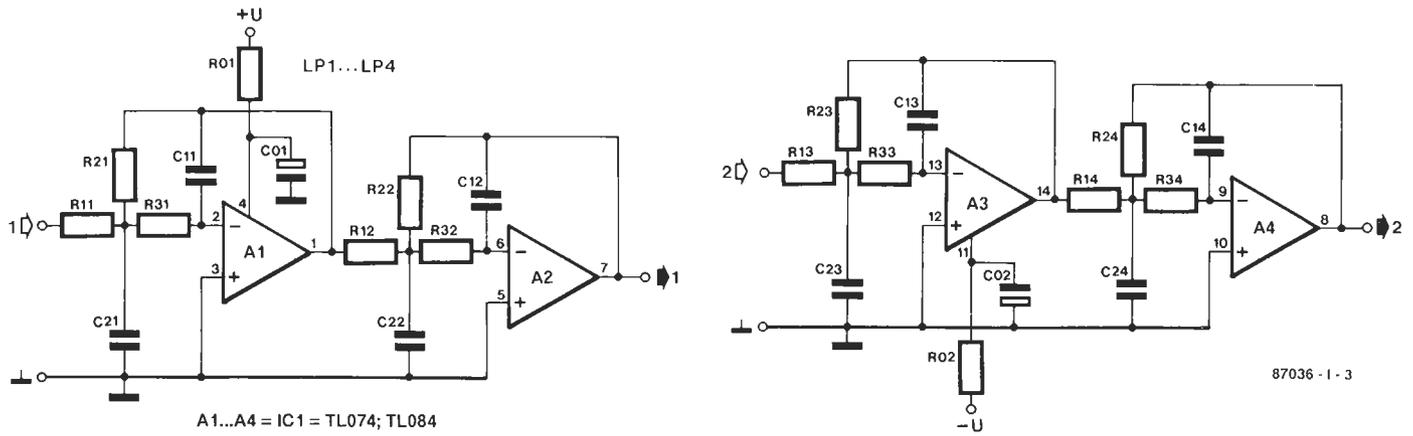


Figura 3. Circuito básico del filtro de Butterworth de octavo orden. La salida 1 se conecta a la entrada 2.

Figura 4. La placa principal de circuito impreso del generador senoidal discreto.

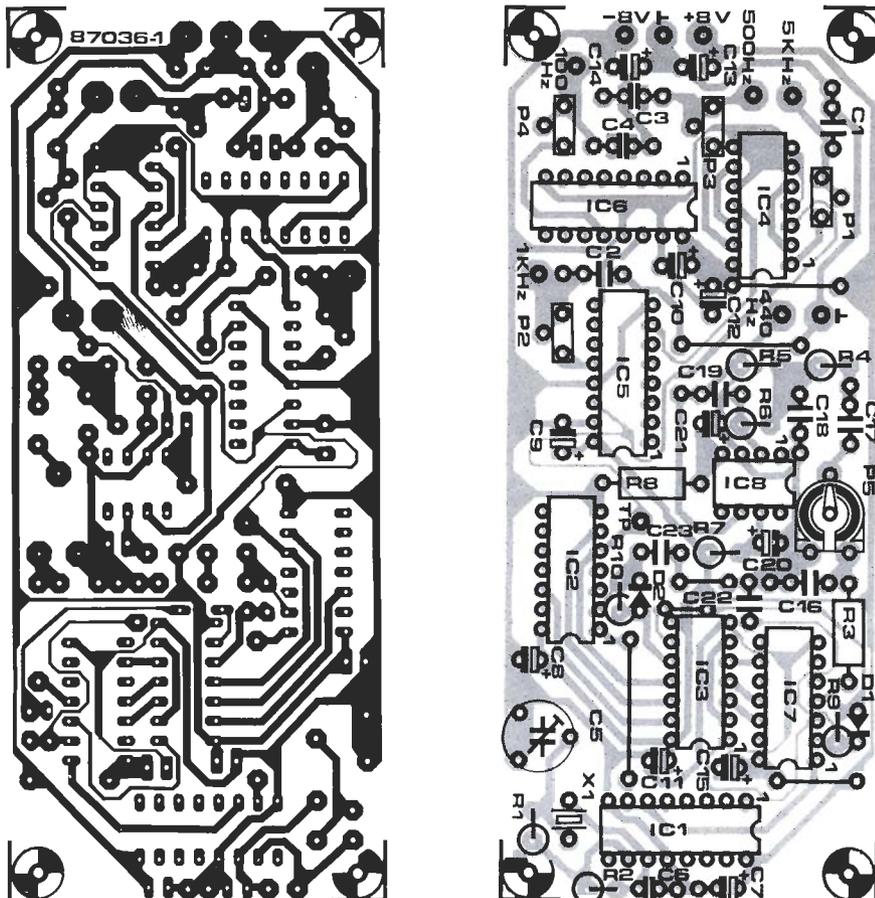
para obtener las señales de 500 Hz y 100 Hz respectivamente. La parte resistiva de las cuatro redes integradoras está realizada con un potenciómetro, para permitir el ajuste correcto del periodo de integración al de la onda entrante. Por ejemplo:

P1-C1 deberá ajustarse para dar un periodo de  $1/5000=200 \mu s$ . En este punto la amplitud de

la onda triangular es el 63% de la amplitud de la onda cuadrada de entrada. De esta forma pueden ajustarse los potenciómetros rápidamente comparando los valores de pico de ambas ondas.

El contador IC7 se ha dispuesto para dividir la onda de 31.25 KHz por 71 mediante el uso de las puertas AND N2 y N3. La salida Q6 excita el integrador compues-

to por R3-C16. El potenciómetro P5 se utiliza para ajustar el nivel de la onda triangular de 440 Hz que va a excitar al filtro activo pasa-bajo diseñado alrededor de IC8. Este filtro es de tipo Butterworth de segundo orden, con realimentación múltiple, dimensionado para una frecuencia de corte superior de 440 Hz. La salida está acoplada en continua, por lo cual necesitará un condensador en serie para excitar un amplificador.



## Los filtros paso-bajo

Para conseguir ondas puramente senoidales a partir de las ondas triangulares presentes, es necesario utilizar cuatro filtros activos paso-bajo. La figura 3 muestra el circuito básico de un filtro de octavo orden de tipo Butterworth, usado en nuestro generador senoidal discreto digital. Obsérvese que cada una de las secciones, compuestas por un amplificador operacional individual, son idénticas a la ya indicada anteriormente para el filtro de 440 Hz. Cada una de las secciones paso-bajo LP1-LP4, está dimensionada como se indica en la tabla 1. El cálculo para los valores de los componentes está basado en la explicación dada en el libro «Halbleiterschalttechnik», de Tietze & Schenk.

Para obtener la frecuencia de corte correcta, se han tomado los valores de los condensadores como punto de partida para el cálculo de las resistencias de precisión. La razón de esto, es que es mucho más sencillo conseguir resistencias de precisión (1%) que condensadores. Puede aproximar-

**Tabla 1**

**Datos técnicos LP1...LP4**

Tipo de filtro:	Butterworth de octavo orden con realimentación múltiple
Frecuencia de corte (f <sub>c</sub> ):	5 KHz (LP1) 1 KHz (LP2) 500 Hz (LP3) 100 Hz (LP4)
Coefficientes de filtro:	A1=1.9616 A2=1.6626 A3=1.1111 A4=0.3902 B1...B4=1
Amplificación global	$A_T = \prod_{i=1}^4 A_{0i} = (A_0)^4 = 1$ (f <sub>test</sub> << f <sub>c</sub> )
Amplificación de cada sección de filtro:	A <sub>0</sub> =1 (f <sub>test</sub> << f <sub>c</sub> )
Cálculos de los componentes de cada sección de filtro (ver también la lista de componentes de la figura 5):	$R_{1i} = R_{2i} / -A_{0i}$ $R_{2i} = \frac{A_i C_{2i} - \sqrt{A_i^2 C_{2i}^2 - 4C_{1i} C_{2i} B_i (1 - A_{0i})}}{4\pi f_c C_{1i} C_{2i}}$ $R_{3i} = B_i / (4\pi^2 f_c^2 C_{1i} C_{2i} R_{2i})$ $C_{2i} / C_{1i} \geq 4B_i (1 - A_{0i}) / A_i^2$

Los subíndices i indican el número del filtro (1...4)

se el valor teórico de las resistencias bastante bien, utilizando resistencias conectadas en serie de película metálica del 1%, como se indica en la lista de componentes de los filtros paso-bajo.

**Montaje**

Las figuras 4 y 5 muestran la disposición de componentes de la placa principal del generador y una de las cuatro placas de los filtros, respectivamente. La introducción de los componentes no debe presentar excesiva dificultad. Asegúrese que las cuatro placas de los filtros se montan con los componentes correctos y márkuelos con unas etiquetas escribiendo encima LP1, LP2, LP3 y LP4, para impedir conectarlos a las salidas equivocadas.

En el mes que viene trataremos el generador de salvas y los detalles finales de montaje del generador senoidal discreto. **M**

**Lista de componentes**

(Placa principal, ver figura 4)

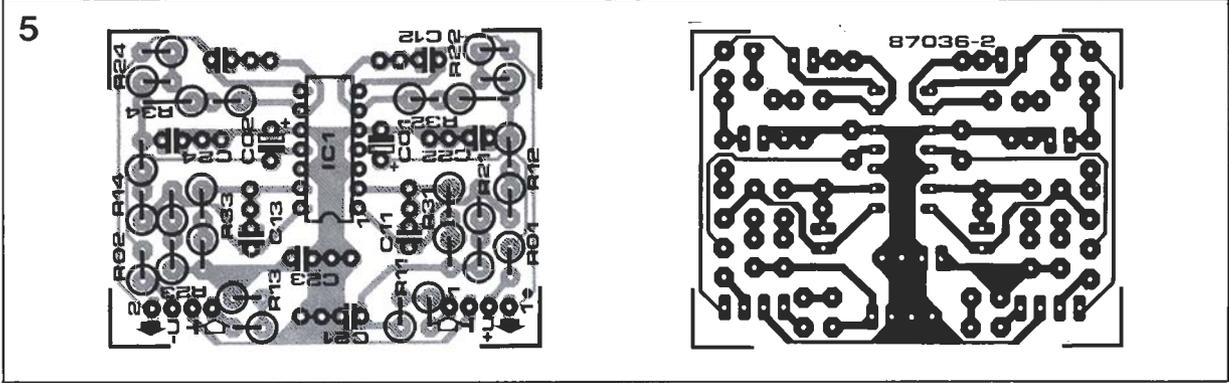
- Resistencias:**  
R<sub>1</sub> = 100Ω  
R<sub>2</sub> = 10M  
R<sub>3</sub> = 22K  
R<sub>4</sub> = 39K  
R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub> = 62K  
R<sub>7</sub>, R<sub>8</sub> = 47Ω  
R<sub>9</sub>, R<sub>10</sub> = 1KΩ  
P<sub>1</sub>...P<sub>4</sub> incl. = 50K ajustable, montaje vertical  
P<sub>5</sub> = 220K ajustable

- Condensadores:**  
C<sub>1</sub> = 10n  
C<sub>2</sub> = 47n  
C<sub>3</sub>, C<sub>16</sub> = 100n  
C<sub>4</sub> = 470n  
C<sub>5</sub> = 60p trimmer  
C<sub>6</sub> = 68p  
C<sub>7</sub> = 2μ2; 25 V; tántalo  
C<sub>8</sub>...C<sub>12</sub>; C<sub>15</sub> = 0μ47; 25 V tántalo  
C<sub>13</sub>; C<sub>14</sub>; C<sub>20</sub>; C<sub>21</sub> = 10μ; 16 V tántalo  
C<sub>17</sub> = 22n  
C<sub>18</sub> = 33n MKT 5%  
C<sub>19</sub> = 1n5 MKT 5%  
C<sub>22</sub>; C<sub>23</sub> = 47p

- Semiconductores:**  
D<sub>1</sub>; D<sub>2</sub> = 1N4148  
IC<sub>1</sub> = 4060  
IC<sub>2</sub>; IC<sub>7</sub> = 4024  
IC<sub>3</sub> = 4073  
IC<sub>4</sub> = 4013  
IC<sub>5</sub>; IC<sub>6</sub> = 4017  
IC<sub>8</sub> = 741

- Varios:**  
X<sub>1</sub> = cristal de cuarzo 4.000 MHz

**Figura 5. La placa de circuito impreso de uno de los filtros activos.**



**Lista de componentes:**

(Placas de filtro paso-bajo LP<sub>1</sub>...LP<sub>4</sub>, ver figura 5).

**LP<sub>1</sub>:**

- Resistencias (±1%):**  
R<sub>01</sub>; R<sub>02</sub> = 10ΩJ  
R<sub>11</sub>; R<sub>21</sub> = 118K7 (11K + 9K1)  
R<sub>12</sub>; R<sub>22</sub> = 89K86 (47K + 43K)  
R<sub>13</sub>; R<sub>23</sub> = 138K5 (130K + 8K2)  
R<sub>14</sub>; R<sub>24</sub> = 22K35 (22K + 360Ω)  
R<sub>31</sub> = 82K57 (82K)  
R<sub>32</sub> = 75K37 (75K)  
R<sub>33</sub> = 107K6 (100K + 7K5)  
R<sub>34</sub> = 30K23 (30K)
- Condensadores (±5%):**  
C<sub>01</sub>; C<sub>02</sub> = 22μ; 16 V; 20%; tántalo  
C<sub>11</sub>; C<sub>12</sub> = 220p  
C<sub>13</sub> = 100p

- C<sub>14</sub> = 150p  
C<sub>21</sub> = 470p  
C<sub>22</sub>; C<sub>23</sub> = 680p  
C<sub>24</sub> = 10n
- Semiconductor:**  
IC<sub>1</sub> = TL074 o TL084

- LP<sub>2</sub>:**
- Resistencias (±1%):**  
R<sub>01</sub>; R<sub>02</sub> = 10RJ  
R<sub>11</sub>; R<sub>12</sub> = 119K5 (120K)  
R<sub>12</sub>; R<sub>22</sub> = 63K79 (62K + 1K8)  
R<sub>13</sub>; R<sub>23</sub> = 69K24 (68K + 1K2)  
R<sub>14</sub>; R<sub>24</sub> = 50K78 (51K)  
R<sub>31</sub> = 96K35 (91K + 5K1)  
R<sub>32</sub> = 56K32 (56K)  
R<sub>33</sub> = 53K8 (47K + 6K8)  
R<sub>34</sub> = 68K7 (68K + 680R)
- Condensadores (±5%):**  
C<sub>01</sub>; C<sub>02</sub> = 22μ; 16 V; 20%; tántalo  
C<sub>11</sub>; C<sub>13</sub> = 1n0  
C<sub>12</sub> = 1n5  
C<sub>14</sub> = 330p  
C<sub>21</sub> = 2n2  
C<sub>22</sub> = 4n7

- C<sub>23</sub> = 6n8  
C<sub>24</sub> = 22n
- Semiconductor:**  
IC<sub>1</sub> = TL074 o TL084

- LP<sub>3</sub>:**
- Resistencias (±1%):**  
R<sub>01</sub>; R<sub>02</sub> = RJ  
R<sub>11</sub>; R<sub>21</sub> = 118K7 (110K + 9K1)  
R<sub>12</sub>; R<sub>22</sub> = 127K6 (120K + 7K5)  
R<sub>13</sub>; R<sub>23</sub> = 138K5 (130K + 8K2)  
R<sub>14</sub>; R<sub>24</sub> = 46K6 (47K)  
R<sub>31</sub> = 82K57 (82K)  
R<sub>32</sub> = 112K6 (110K + 2K7)  
R<sub>33</sub> = 107K6 (100K + 7K5)  
R<sub>34</sub> = 68K02 (68K)
- Condensadores (±5%):**  
C<sub>01</sub>; C<sub>02</sub> = 22μ; 16 V; 20%; tántalo  
C<sub>11</sub> = 2n2  
C<sub>12</sub> = 1n5  
C<sub>13</sub> = 1n0  
C<sub>14</sub> = 680p  
C<sub>21</sub>; C<sub>22</sub> = 4n7  
C<sub>23</sub> = 6n8  
C<sub>24</sub> = 47n

- Semiconductor:**  
IC<sub>1</sub> = TL074 o TL084
- LP<sub>4</sub>:**
- Resistencias (±1%):**  
R<sub>01</sub>; R<sub>02</sub> = 10RJ  
R<sub>11</sub>; R<sub>21</sub> = 119K5 (120K)  
R<sub>12</sub>; R<sub>22</sub> = 63K79 (62K + 1K8)  
R<sub>13</sub>; R<sub>23</sub> = 97K53 (91K + 6K8)  
R<sub>14</sub>; R<sub>24</sub> = 50K78 (51K)  
R<sub>31</sub> = 96K35 (91K + 5K1)  
R<sub>32</sub> = 56K32 (56K)  
R<sub>33</sub> = 81K26 (82K)  
R<sub>34</sub> = 68K7 (68K + 680R)
- Condensadores (±5%):**  
C<sub>01</sub>; C<sub>02</sub> = 22μ; 16 V; 20%; tántalo  
C<sub>11</sub> = 10n  
C<sub>12</sub> = 15n  
C<sub>13</sub> = 6n8  
C<sub>14</sub> = 3n3  
C<sub>21</sub> = 22n  
C<sub>22</sub>; C<sub>23</sub> = 47n  
C<sub>24</sub> = 220n
- Semiconductor:**  
IC<sub>1</sub> = TL074 o TL084

**Nota:** cada filtro paso bajo requiere una placa EPS 87036-2 (4 placas en total)