

TRANSMISOR PARA MODALIDAD WSPR EN FRECUENCIAS DE HF-MF-LF

por EA1REX & EB1A

WSPR es una modalidad de radio cuyo principal uso es el estudio de la propagación en las diferentes bandas de radioaficionado, y también posibilita eficazmente la comparación directa de distintas antenas o ubicaciones. Utiliza periodos de transmisión de dos minutos y se suele emplear muy baja potencia, siendo la horquilla más habitual entre un milivatio (1 mW) y un vatio (1 W). De manera muy general se podría decir que una transmisión de 1 vatio en WSPR equivale a 10 vatios en FT8, 100 vatios en CW ó 1000 vatios en SSB. Más información acerca de WSPR se puede obtener en esta web:

[https://es.wikipedia.org/wiki/WSPR_\(radioafici%C3%B3n\)](https://es.wikipedia.org/wiki/WSPR_(radioafici%C3%B3n))

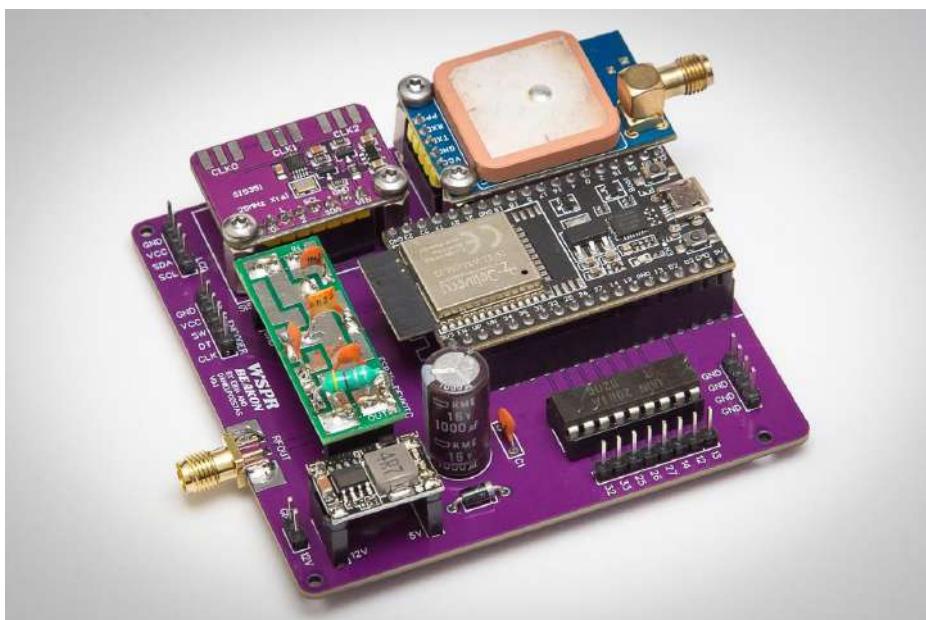
Hay una gran red de estaciones receptoras de WSPR diseminadas por todo el mundo en las diferentes bandas, y muchas de estas estaciones suben sus reportes a la web de WSPR:

<https://www.wsprnet.org/drupal/wsprnet/map>

que de partida nos presenta un mapa de reportes en el cual podemos filtrar por banda, indicativo, período de tiempo, etc. La misma web, en el apartado “Database” nos permite obtener un listado de texto con amplitud de detalles sobre el que también se pueden marcar filtros de búsqueda.

El montaje que se propone sirve para transmitir en las bandas de HF, MF y LF, y sus principales características son las siguientes.

- Sincronización en el tiempo (es una particularidad obligatoria para este modo de transmisión) a través de una red wifi (se pueden configurar simultáneamente múltiples redes diferentes)
- Sincronización en el tiempo a través de un módulo GPS con antena incorporada, y también con posibilidad de conectar una antena externa al mismo
- Display LCD donde se pueden leer diversos parámetros del equipo
- Encoder rotativo para hacer la selección de la banda de trabajo
- Zócalos incorporados en la placa para la inserción de un filtro pasabajos
- Potencia de salida configurable en cuatro pasos, entre 1 y 10 milivatios
- Entrega de siete salidas de relé (a nivel “alto”), configurables según la banda de trabajo
- Entrega de una salida de relé (a nivel “alto”), que se activa/desactiva con los cambios TX/RX
- Período de transmisión previo tipo “calentamiento” de cara a estabilizar la deriva en frecuencia del módulo de RF, importante sobre todo en las frecuencias más altas
- Bloqueo de la transmisión si no se logra una sincronización válida en tiempo a través de la red wifi o el GPS





PRECAUCIONES MUY IMPORTANTES

Para usar este montaje de manera práctica conectándolo a una antena real, es obligatorio estar en posesión de una licencia o autorización administrativa que te habilite para ello, es decir, tener asignado un indicativo oficial de radioaficionado.

ES ABSOLUTAMENTE IMPERATIVO EL USO DE UN FILTRO A LA SALIDA DEL TRANSMISOR. El módulo de RF genera multitud de armónicos que deben ser eliminados antes de poner una señal en el aire. En la placa de circuito se incluyen zócalos para la inserción de un filtro pasabajos, que generalmente funciona de modo monobanda, por lo que la experimentación en varias bandas suele requerir la sustitución de un filtro por otro. **SE REITERA EL USO OBLIGATORIO DE ELEMENTOS DE FILTRADO DE LA RF.**

Si se está alimentando el circuito desde una fuente externa se recomienda ENCARECIDAMENTE que esta fuente se apague antes de conectar un PC al módulo ESP32. **NO HACERLO DE ESTE MODO PUEDE DAÑAR IRREMEDIABLEMENTE EL PC.**

WSPR es un modo altamente eficaz y diseñado para la utilización de potencias muy moderadas, generalmente por debajo de 1 vatio, siendo muy usual el empleo de unos pocos milivatios. Tengámoslo en cuenta a la hora de hacer un uso responsable del espectro.



Este montaje, aunque pudiera parecer lo contrario a la vista de la fotografía inicial, implica algo más que el ensamblaje de los diferentes módulos que lo componen. Incluso en la versión más básica hay obligatoriamente que montar filtros (soldando componentes) y tener conocimientos para ajustarlos con un equipo de medida (por ejemplo, un nanoVNA), y hay que calibrar la frecuencia de salida también con un equipo de medida adecuado o con un receptor (o transceptor) razonablemente ajustado en frecuencia. En esencia, **no es un proyecto plug and play.**

Se recomienda una lectura completa de este manual antes de comenzar el montaje propuesto, pues hay algunos elementos que se sueldan o no dependiendo de la opción de funcionamiento escogida, y podría darse el caso de haber soldado o adquirido algo innecesario para nuestras pretensiones. Una lectura completa y pausada nos dará una visión general para escoger la opción de montaje que más nos encaje con nuestras expectativas.

El manual es bastante extenso de cara a hacer descripciones exhaustivas y despejar todas las posibles dudas que pudieran surgir. La parte más compleja del montaje son los filtros, pero nada que no se pueda acometer con un poco de paciencia y centrándose en las bandas de interés, por lo que probablemente no sea necesaria la realización de los seis filtros propuestos.

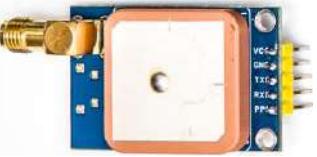
VERSIÓN BÁSICA DEL MONTAJE

La versión más básica es alimentada desde el conector USB del módulo ESP32, y contiene lo imprescindible para poner a funcionar el transmisor. Para esta versión básica se necesitan los siguientes elementos:

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	LINK	IMAGEN
1	Placa (PCB) principal del montaje, de la que se facilita el fichero <i>gerber</i> para poder encargar su fabricación	Link (falta)	
1	Microcontrolador ESP32, modelo Dev Kit C V4, de 38 pines, type C	Link	
1	Módulo de RF si5351	Link	
1	Encoder rotativo	Link	
1	Display LCD i2C de 16x2	Link	
1	Condensador cerámico de 100 nanoF y 50 voltios (valores no críticos)	Link	
1	Condensador electrolítico de 1000 microF y 25 voltios (valores no críticos)	Link	
3	Resistencia de 100 ohmios y 1 vatio	Link	
9	Cablecillo tipo "Dupont" hembra-hembra para cablear el LCD y el encoder	Link	
2	Zócalo hembra de 4 pines	Link	
1	Zócalo hembra de 7 pines	Link	
2	Zócalo hembra de 19 pines	Link	
3	Tira de 4 pines macho (se cortan a medida)	Link	
1	Tira de 5 pines macho (se cortan a medida)	Link	
7	Separador metálico hembra-hembra de métrica 2,5 y 11 milímetros de longitud, para sujetar la placa principal a una caja y la placa del módulo de RF sobre la principal	Link	
14	Tornillo de métrica 2,5 y 5 milímetros de longitud para los separadores metálicos	Link	
Según elección	Placa (PCB) para filtro pasabajo (mínimo una unidad, aunque la PCB trae 10 unidades que hay que recortar), de la que se facilita el fichero <i>gerber</i> para poder encargar su fabricación	Link (falta)	
Según elección	Inductancias axiales para los distintos filtros	Link	
Según elección	Condensadores para los distintos filtros	Link	

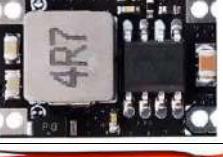
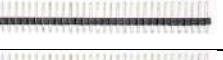
MEJORA NÚMERO 1 PARA EL MONTAJE: GPS

Con esta actualización aportamos la capacidad de no depender de una red wifi para la sincronización temporal precisa del montaje, pues se añade un módulo GPS que dispone de una antena incorporada, además de una entrada tipo SMA para una antena externa. En caso de querer usarlo con la antena incorporada, obviamente la caja donde se ubique el montaje no podrá ser metálica. Para esta mejora se necesitan añadir los siguientes elementos:

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	LINK	IMAGEN
1	Módulo GPS modelo NEO 7M, con antena incorporada y conector SMA para antena externa	Link	
1	Zócalo hembra de 5 pines para el nuevo módulo	Link	
2	Separador metálico hembra-hembra de métrica 2,5 y 11 milímetros de longitud, para sujetar la placa principal a una caja y la placa del módulo de RF sobre la principal	Link	
4	Tornillo de métrica 2,5 y 5 milímetros de longitud para los separadores metálicos	Link	

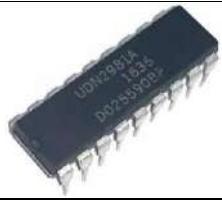
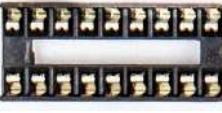
MEJORA NÚMERO 2 PARA EL MONTAJE: ALIMENTACIÓN A 12 VOLTIOS

Con esta actualización aportamos la capacidad de poder alimentar el circuito a 12 (ó 13.8) voltios, como por ejemplo con una de las fuentes de alimentación que normalmente hay en el cuarto de radio. Para esta mejora se necesitan añadir los siguientes elementos:

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	LINK	IMAGEN
1	Diodo 1N5819	Link	
1	Buck DC-DC5 con salida a 5 voltios	Link	
2	Cablecillo tipo "Dupont" con un extremo hembra para cablear la entrada de 12 voltios a la placa principal	Link	
2	Zócalo hembra de 4 pines	Link	
4	Tira de 1 pin macho (se cortan a medida)	Link	
1	Tira de 2 pines macho (se cortan a medida)	Link	

MEJORA NÚMERO 3 PARA EL MONTAJE: CONTROL DE RELÉS EXTERNOS

Para habilitar esta mejora, antes debimos haber implementado previamente la número 2. Con esta mejora incorporamos siete salidas de relé (a nivel alto, 12 voltios) configurables según la banda de trabajo (pines marcados como 12, 14, 27, 26, 25, 33 y 32), y una octava salida de relé (pin marcado como 13) gobernada por los periodos de TX del circuito y que está “secuenciada” para evitar conmutaciones con RF (se pone a nivel alto, 12 voltios, medio segundo antes del paso a TX y se pone a nivel bajo medio segundo después de cesar la TX). Para esta mejora se necesitan añadir los siguientes elementos:

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	LINK	IMAGEN
1	Integrado UDN2981	Link	
1	Zócalo de 18 pines para el integrado	Link	
8	Cablecillo tipo “Dupont” con un extremo hembra para cablear las salidas hacia los relés externos	Link	
4	Opcionalmente, cablecillo tipo “Dupont” con un extremo hembra para cablear las conexiones extra de masa hacia otros periféricos externos	Link	
1	Tira de 8 pines macho para entregar las salidas de relé (se cortan a medida)	Link	
1	Opcionalmente, tira de 4 pines macho para facilitar la conexión de una “masa” común hacia distintos periféricos externos (se cortan a medida)	Link	

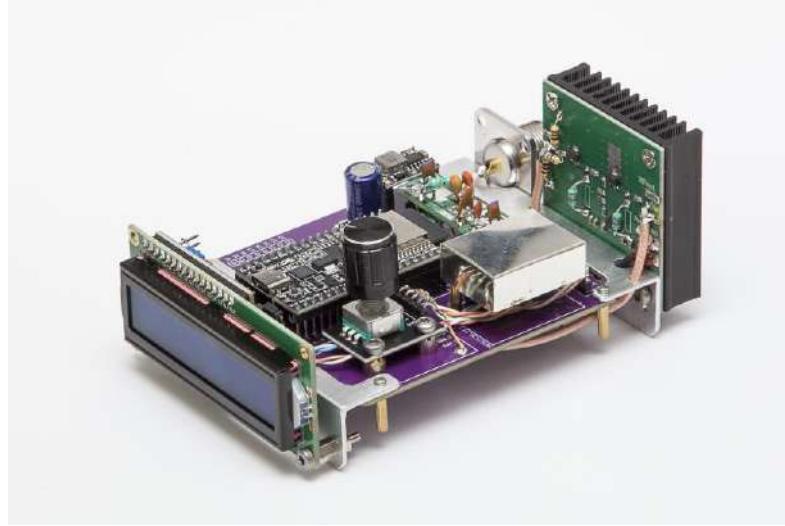
OTRAS POSIBLES MEJORAS A INVESTIGAR POR EL EXPERIMENTADOR

Aprovechando las siete salidas de relé disponibles (a nivel alto, 12 voltios) que se activan según la banda de trabajo configurada, se podría hacer un banco de filtros externo conmutable de modo automático, de tal manera que cuando se escoja una banda en el menú, se seleccione el filtro correspondiente. Estas salidas de relé también podrían servir para manejar de modo automático un conmutador de antenas para las distintas bandas.

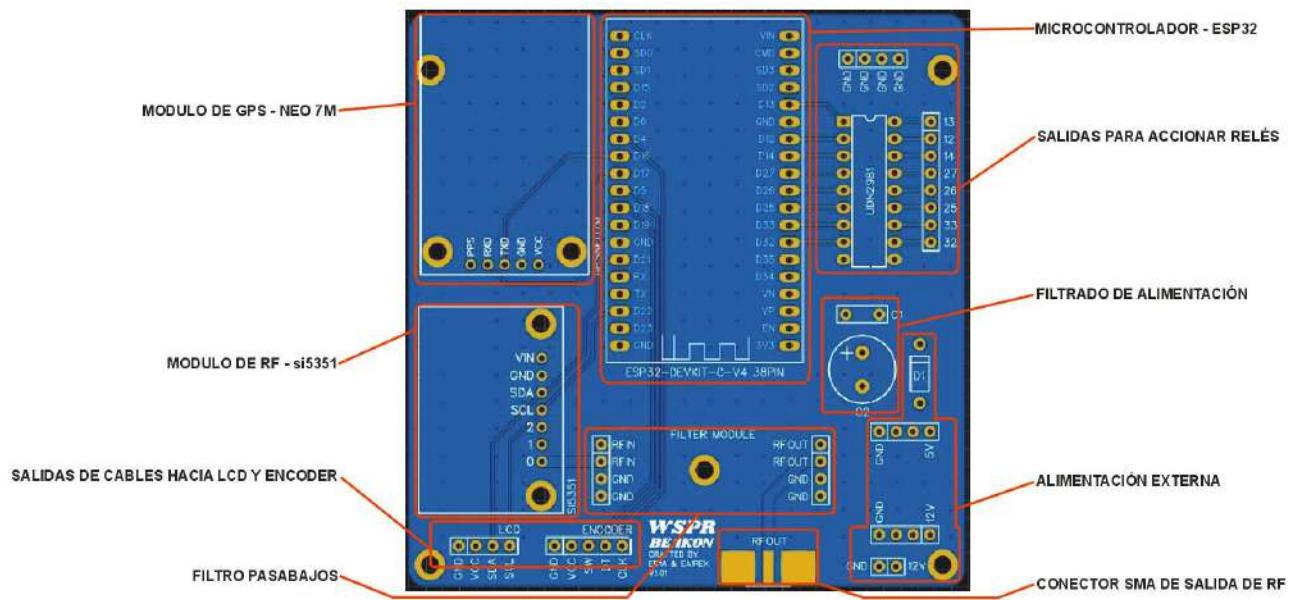
La octava salida de relé disponible, manejada por los cambios de TX/RX, se podría usar para derivar la antena hacia un receptor externo en los momentos de reposo de la TX (en este caso ha de tenerse en cuenta el aislamiento de dicho relé de cara a no “freir” el receptor cuando el transmisor está en marcha); esta última salida de relé también podría usarse a modo de PTT externo para manejar cualquier periférico que necesite de esta señal.

La modalidad WSPR es altamente eficiente y requiere muy poca potencia, pero si se desea utilizar con algo más de energía se podría experimentar, por ejemplo, con uno de los populares módulos amplificadores de banda ancha que provienen de Asia y que tienen una elevada ganancia (entre 30 y 40 dB), siendo capaces de entregar entre 1.5 y 2 vatios de potencia de salida; aun así, y a la vista de algunas pruebas realizadas, se recomienda encarecidamente usarlo a un nivel conservador, digamos que unos 300-400 milivatios máximo, siendo una potencia más que suficiente en WSPR para la mayoría de las circunstancias y que redunda en una mayor limpieza de salida; como ventaja, a ese nivel de potencia, el módulo es muy tolerante con antenas medianamente desadaptadas, si se diera el caso. Añadir que estos amplificadores tienen una ganancia dispar en las distintas bandas, por lo que el uso de un atenuador variable entre el montaje aquí descrito y el propio amplificador es altamente recomendable de cara a unificar, y mantener dentro de márgenes razonables, la potencia de salida si se va a hacer un uso

multibanda del mismo. De igual manera, el amplificador ha de conectarse OBLIGATORIAMENTE en su salida a un filtro pasabajas, que puede ser externo o puede ser el integrado en la placa haciendo un ligero recableado de la parte de RF. Los filtros descritos más adelante se tienen utilizado durante días a regímenes de 500 milivatios de salida sin observar calentamiento ni deterioro en su curva de respuesta.



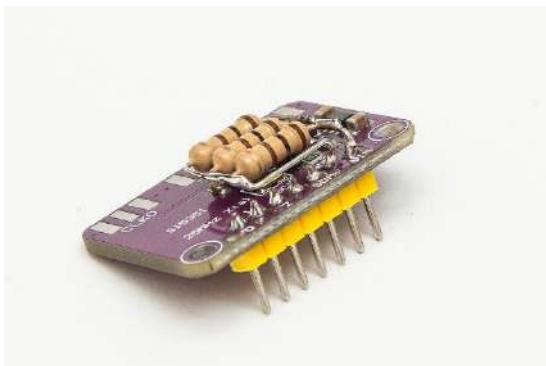
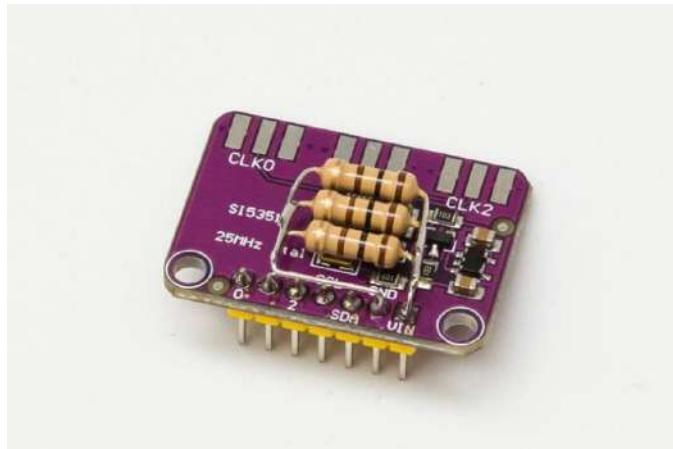
MONTAJE DE LOS COMPONENTES EN LA PLACA PRINCIPAL



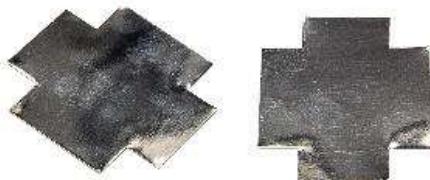
A la hora de montar los diversos componentes en la placa principal es recomendable seguir este orden:

- Verificar que la serigrafía de los pines de los distintos módulos que tenemos coincide con la serigrafía de la placa principal, pues puede haber diferentes versiones de módulos con distinto patillaje
- Soldar los dos zócalos de 4 pines hembra de los filtros, presionándolos contra la placa en el momento de la soldadura de cara a que queden bien asentados y por tanto formando 90 grados respecto a la placa
- Si los filtros se van a ajustar usando los conectores propios de la placa principal, soldar los dos conectores SMA hembra necesarios (ver notas en la zona final del apartado "Filtros", en el siguiente bloque de este manual) y proceder con el montaje y ajuste de dichos filtros antes de seguir soldando nada en la placa principal

- Soldar los zócalos de pines hembra para el ESP32, teniendo la precaución de que queden bien asentados y por tanto formando 90 grados respecto a la placa
- Soldar los zócalos de pines hembra del módulo de RF, si5351, teniendo la precaución de que queden bien asentados y por tanto formando 90 grados respecto a la placa
- Soldar la tira de siete pines macho en el módulo si5351. Estos pines se insertan por la parte de abajo de la placa (soldaduras por arriba) y la parte larga de los pines es la que debe quedar a la vista. Tener la precaución de que queden formando un ángulo de 90 grados con la placa
- Una vez soldados los pines en el módulo si5351 procederemos a soldar 3 resistencias de 100 ohmios y 1 vatio, en paralelo, sobre los pines marcados como "VIN" y "GND". Estas resistencias quedarán 1 ó 2 milímetros por arriba de los componentes de la placa de cara a ejercer de "calefactor" para los mismos y minimizar así la deriva en frecuencia del módulo. El aspecto será más o menos este:

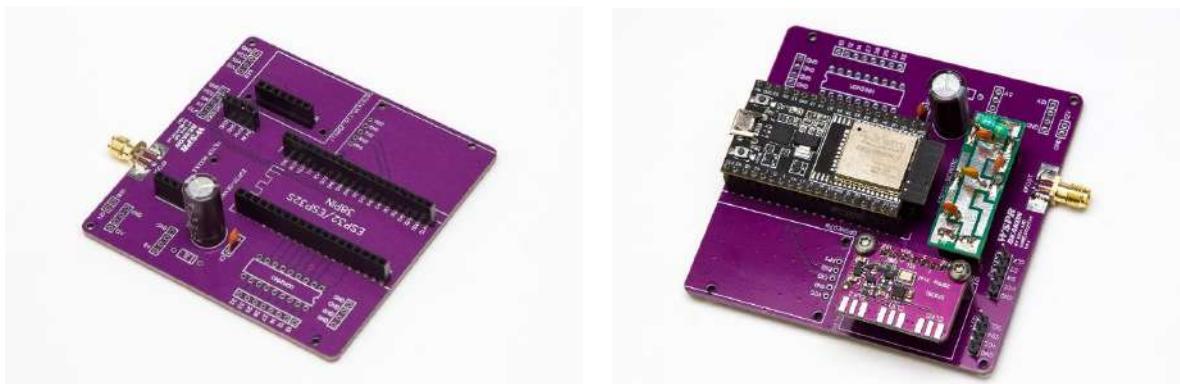


- Si se quiere mejorar todavía más la deriva en frecuencia se puede preparar una cajita para el módulo si5351, que encierre a este y a las resistencias de cara a mantener bien el calor interno. Una chapa metálica estañada puede servir para realizar esta cajita (la chapa de los botes de leche condensada de una muy conocida marca de productos alimenticios resulta óptima por su facilidad para ser soldada con estaño). En este caso es necesario montar los separadores en el módulo antes de soldar la carcasa por la parte inferior de la placa en cuatro puntos, y generalmente suele ser suficiente con dos resistencias en lugar de las tres previstas si el módulo no va "encerrado"



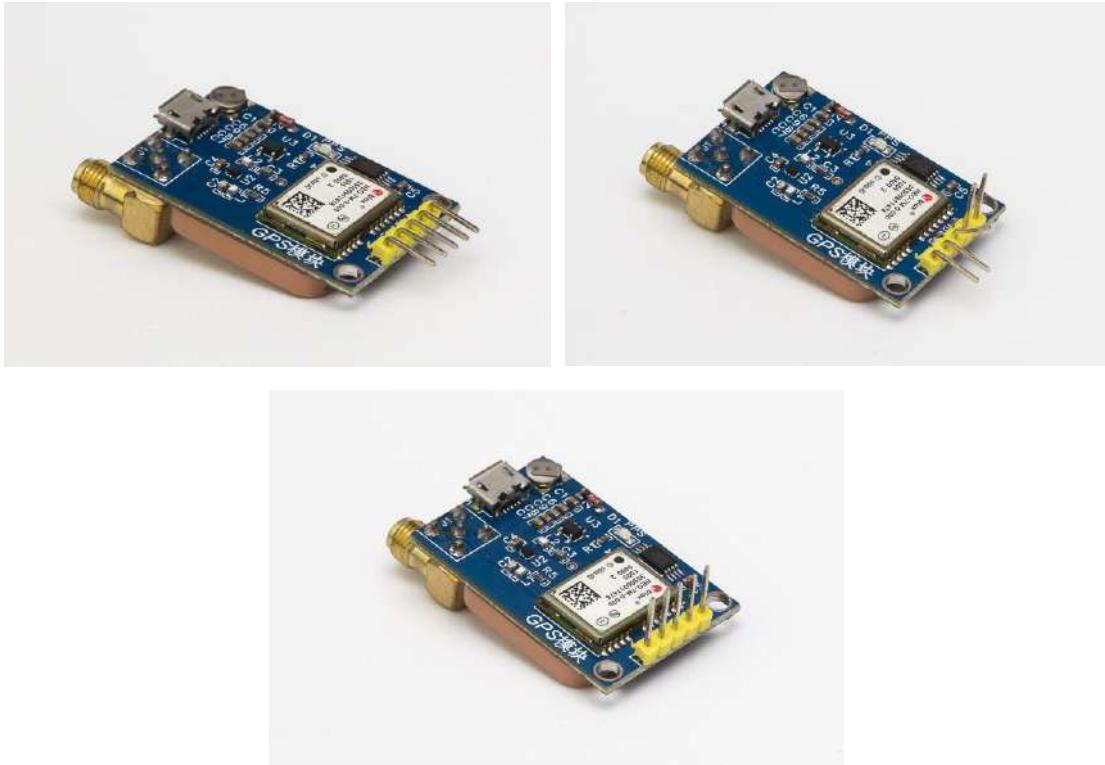


- La deriva final del módulo se puede comprobar (mejor en 10 metros por ser la banda más alta y por tanto más crítica), luego de tenerlo 10 minutos encendido, recibiéndolo nosotros mismos, o también en la web “wsprnet.org”, apartado “Database” ([link](#)) y buscando reportes nuestros enviados por otras estaciones (en “Call” pondremos nuestro indicativo). Si el apartado “Drift” está en valores de -1, 0, ó 1, todo va razonablemente bien. Valores positivos tipo 2, 3 ó 4 nos indican que estamos calentando de más el módulo y habría que sacar una de las resistencias o separarlas un poco de los componentes de la placa. Valores negativos, tipo -4, -3 ó -2 nos indican que el módulo requiere un poco más de calor, así que si le teníamos dos resistencias podemos pasar a tres, o a acercarlas un poco más a los componentes. Desviaciones de +5 o superiores y de -5 o inferiores serán tramas no decodificadas y se verán claramente inclinadas en el “Waterfall” de un programa como WSJTX, circunstancia que tendremos que corregir (ver el penúltimo apartado, llamado “Calibración”, para detalles adicionales)
- Soldar las tiras de pines macho (lado corto apoyado en la placa) que corresponden a “LCD” (4 pines) y “Encoder” (5 pines)
- Soldar los condensadores C1 (100 nanoF) y C2 (1000 microF), respetando la polaridad de este último
- Soldar el conector SMA de salida (RF OUT) si no se hizo ya para el ajuste de los filtros
- Insertar en sus respectivos zócalos el módulo ESP32 (su conector USB quedará mirando hacia el exterior de la placa; verificar que la nomenclatura de pines del ESP32 y de la placa principal coinciden), el módulo si5351 (que fijaremos con separadores de métrica 2,5 y 11 milímetros de longitud a la placa principal) y el filtro correspondiente a la banda en la que vayamos a usar el transmisor WSPR (orientándolo bien en la placa; el lado “IN” debe quedar mirando al si5351)
- Cablear con cablecillos tipo “Dupont” hembra-hembra el LCD y el encoder a sus respectivos zócalos respetando la nomenclatura de cada pin que aparece en la serigrafía de las correspondientes placas
- El aspecto de la placa en este momento debería quedar más o menos así:

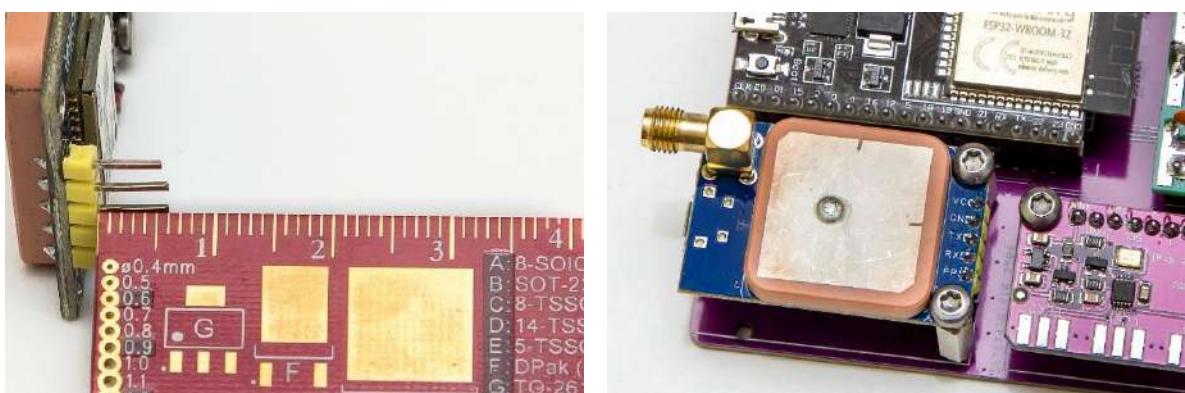


- Si se quiere actualizar la placa con la “Mejora 1” (GPS), seguir estos pasos:
 - o Soldar un zócalo hembra de 5 pines en la posición correspondiente de la placa principal, teniendo la precaución de que quede bien asentado y por tanto formando 90 grados respecto a la placa

- La placa de GPS viene con los pines saliendo de forma paralela a dicha placa, y hay que doblarlos para que queden saliendo a 90 grados. Es una operación sencilla pero que hay que hacer con cierta delicadeza para no partir algún pin. SE HARÁ PIN A PIN, NO TODOS A LA VEZ. Se agarrará el pin lo más cerca posible de la parte plástica con un alicate de punta fina y se doblará suavemente para que quede a 90 grados respecto a la placa. Se repetirá la operación con los cinco pines. Una vez hecho se comprobará que quedan todos razonablemente alineados y se retocarán si es necesario

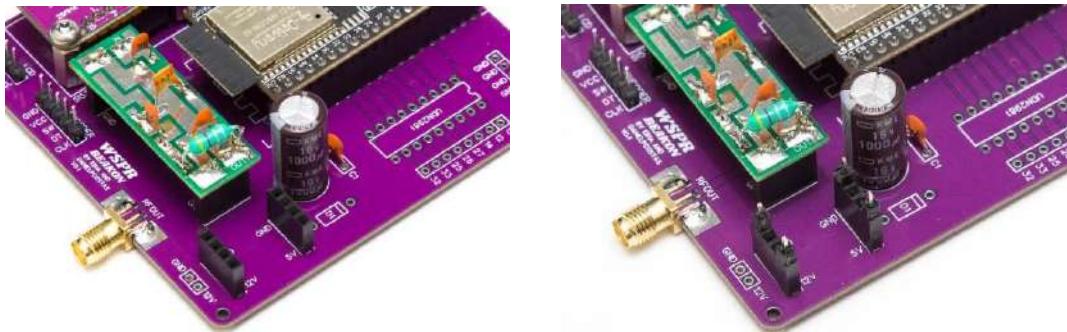


- Los pines, una vez enderezados, quedan más largos de lo necesario, y por tanto no asientan hasta el fondo en el zócalo hembra. Debemos cortarlos a 6 milímetros aproximadamente, midiendo desde la pieza plástica (ver foto más abajo)
- Se insertará el módulo GPS en su zócalo y lo fijaremos con separadores de métrica 2,5 y 11 milímetros de longitud a la placa principal
- El aspecto de esta zona de la placa debería quedar más o menos así:



- Si se quiere actualizar la placa con la "Mejora 2" (alimentación externa a 12 voltios), seguir estos pasos:
 - Soldar la tira de 2 pines macho (lado corto apoyado en la placa) en la posición marcada como "GND" y "12v"
 - Soldar los dos zócalos hembra de 4 pines en la posición correspondiente del conversor DC-DC, teniendo la precaución de que queden bien asentados y por tanto formando 90 grados respecto a la placa

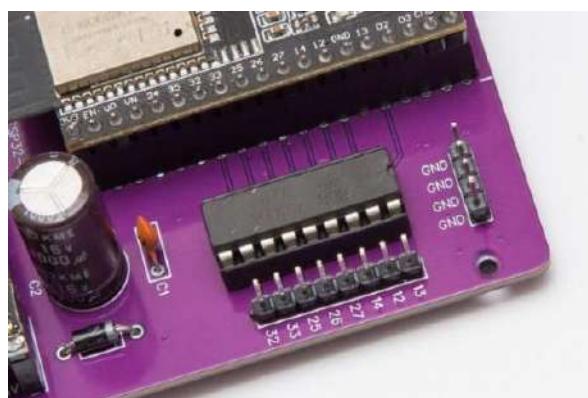
- Insertar solamente 4 pines macho (por el lado largo) en las 4 esquinas del rectángulo que forman ambos zócalos hembra (posiciones marcadas en la placa como GND, 12V, GND, 5V). Los dos pines centrales de cada zócalo hembra de cuatro pines no se utilizan



- Poner la placa del conversor DC-DC sobre los cuatro pines macho (ojo; revisar que la serigrafía "IN" y "OUT" de la placa del conversor queda hacia abajo (hacia la placa principal) y que coincide con la serigrafía "12v" (para el "IN") y "5v" (para el OUT) de la placa principal) viendo que asiente bien y proceder a soldar los 4 pines macho
- Soldar el diodo D1 (1N5819) respetando la posición ánodo-cátodo tal y como aparece serigrafiado en la placa
- El aspecto de esta zona de la placa debería quedar más o menos así:



- Si se quiere actualizar la placa con la "Mejora 3" (control de relés externos), seguir estos pasos:
 - Para que esta parte funcione es necesario haber implementado previamente la "Mejora 2"
 - Soldar el zócalo de 18 patas para el integrado UDN2981 (con la "muesca" orientada tal y como aparece en la serigrafía de la placa principal)
 - Soldar la tira de 8 pines macho (lado corto apoyado en la placa) que forman las salidas hacia los distintos relés
 - Opcionalmente soldar la tira de 4 pines macho (lado corto apoyado en la placa) en la posición marcada como GND cercana al integrado, de cara a facilitar un punto de conexión a masa común para los periféricos que la pudieran necesitar (por ejemplo, una placa de relés de un filtro multibanda externo)
 - Insertar el integrado UDN2981 en su zócalo (con la "muesca" orientada tal y como aparece en la serigrafía de la placa principal)
 - El aspecto de esta zona de la placa debería quedar más o menos así:



FILTROS (OBLIGATORIO SU USO)

Como la operativa se desarrollará con muy baja potencia, se intentaron construir filtros con componentes comunes y baratos, inductancias axiales (su aspecto es similar al de resistencias con el cuerpo de color verde) y condensadores normales de bajo voltaje (50 voltios). Creímos que evitar la necesidad de bobinar toroides y conseguir condensadores tipo NP0 de alta calidad (que evidentemente es una mejor opción) haría más factible la realización de dichos filtros para un público más amplio. Ello no quita que se pueda usar el mismo soporte (placa) para construirlos con componentes de mayor calidad que los aquí propuestos.

Se construyeron varias unidades de filtros para cada banda, verificando que en la mayoría de los casos son replicables sin mayores modificaciones; lógicamente esto va a depender de la tolerancia de los distintos componentes y en algunos casos es posible que sea necesario un ajuste fino, generalmente variando el valor de algún condensador, y especialmente para el centrado de la frecuencia de trabajo de las unidades que incorporan filtros de grieta (notch); el ajuste de la frecuencia central de estos "notch" es mucho más rápido y sencillo si se utiliza un trimmer de ajuste de valor un poco superior al del condensador (o condensadores) fijo correspondiente, al que sustituiría. Se recomienda por tanto su utilización (ver el apartado "Notas" en la tabla de componentes de filtros).

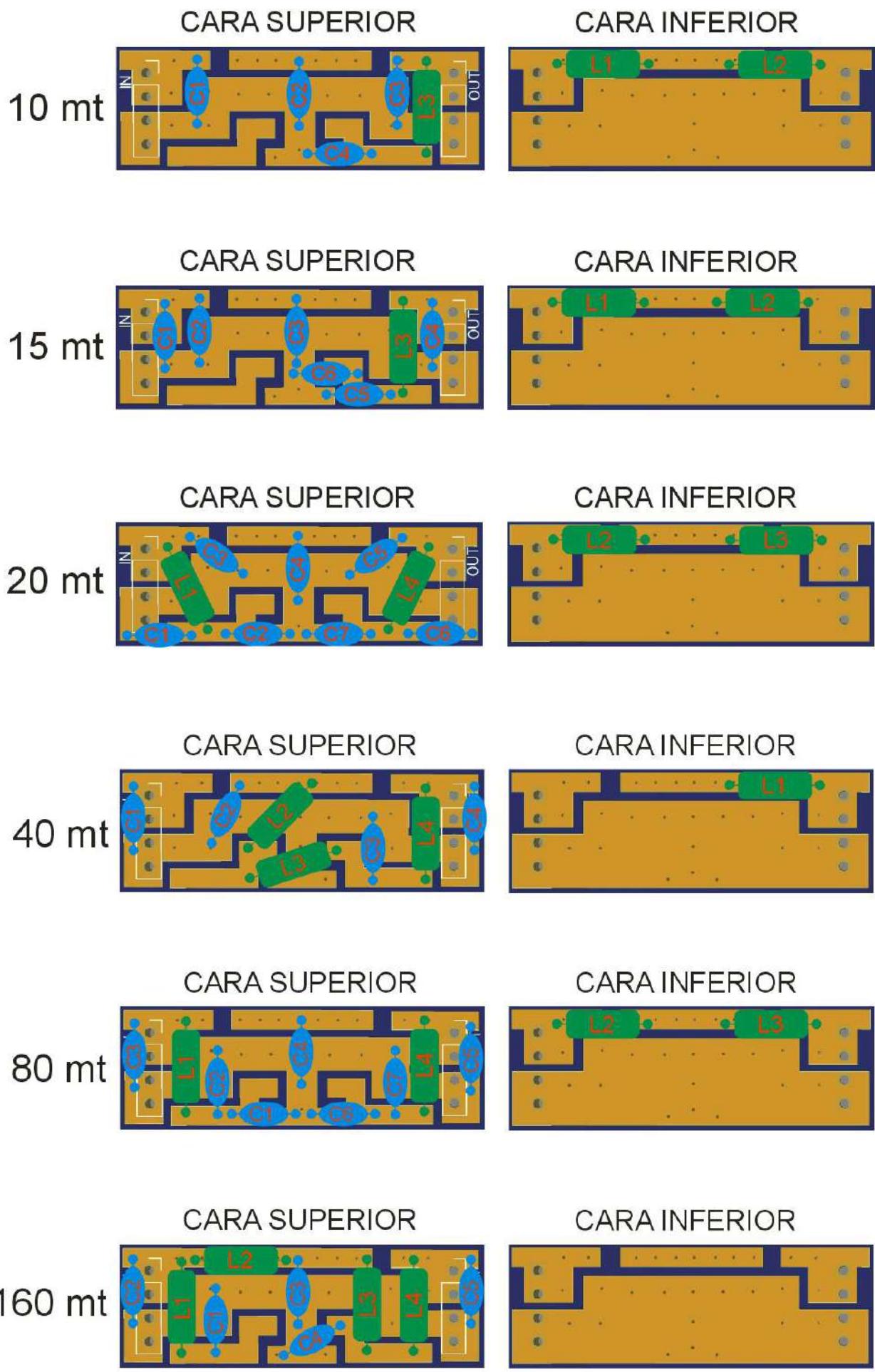
Se debe incidir en que la tabla de componentes para cada filtro es solamente un punto de partida, por lo que cada unidad construida debe ser OBLIGATORIAMENTE COMPROBADA de forma individual con un equipo de medida, por ejemplo un nanoVNA, de cara a verificar que el segundo armónico (frecuencia doble de la que se vaya a utilizar) esté a un nivel entre 35 y 40 dB por debajo del nivel de la frecuencia de uso y el tercer armónico (frecuencia triple a la que se vaya a utilizar) se encuentra entre 45 y 50 dB por debajo del nivel de la frecuencia de uso. Las frecuencias superiores al tercer armónico deberían mantenerse así mismo en el entorno de los 50 dB (o más) por debajo del nivel de la frecuencia de uso.

Los valores de componentes de los que se partirá para la construcción de los diferentes filtros de HF son estos:

BANDA	INDUCTANCIAS (en microH)				CONDENSADORES (en picoF)							NOTAS ACERCA DEL TIPO DE FILTRO EMPLEADO
	L1	L2	L3	L4	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	
10 MT	0,33	0,33	0,47		100	220	100	15				De 5 polos con un notch El C de 15 pF se puede sustituir por un trimmer para un ajuste fino del notch de 56,3 MHz
15 MT	0,47	0,47	0,47		120	22	270	120	27	1		De 5 polos con un notch. La capacitancia inicial formada por dos condensadores en paralelo Los C de 27 pF + 1 pF se pueden sustituir por un único trimmer para un ajuste fino del notch de 42,2 MHz
20 MT	0,68	0,47	0,47	0,68	18	1,2	220	470	220	39	5,6	De 5 polos con 2 notch Los C de 18pF + 1,2pF se pueden sustituir por un único trimmer para un ajuste fino del notch de 42,28 MHz Los C de 39pF + 5,6pF se pueden sustituir por un único trimmer para un ajuste fino del notch de 28,19 MHz
40 MT	1,5	1	0,68	1,5	270	680	680	270				De 7 polos, con la inductancia central formada por dos inductancias en serie
80 MT	1	2,2	2,2	2,2	220	12	680	1500	680	220	18	De 5 polos con 2 notch El C de 12pF se puede sustituir por un trimmer para un ajuste fino del notch de 10,7 MHz El C de 18pF se puede sustituir por un trimmer para un ajuste fino del notch de 7,14 MHz
160 MT	8,2	4,7	5,6	4,7	220	820	2200	2200	820			De 7 polos con un notch El C de 220 pF ajusta el notch de 3,67 MHz

Los componentes se pueden conseguir, por ejemplo, en estos sitios: Inductancias axiales: [Link](#) y Condensadores: [Link](#)

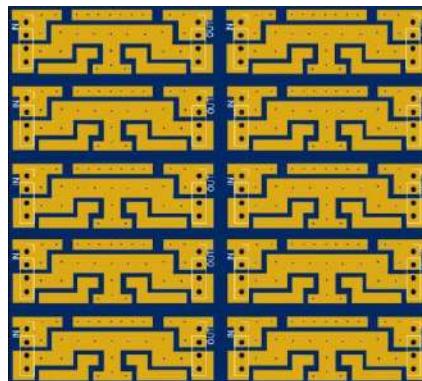
La posición de cada uno de los componentes en las diferentes placas de filtros es la siguiente:



Para mayor claridad de montaje se facilita la identificación habitual de los distintos componentes que forman los filtros:

IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES			
INDUCTANCIAS AXIALES		CONDENSADORES	
VALOR	BANDAS DE COLORES	VALOR	SERIGRAFIA
0,33 uH	NARANJA - NARANJA - PLATA - PLATA	1 pF	1.0 ó 1p0
0,47 uH	AMARILLO - VIOLETA - PLATA - PLATA	1,2 pF	1.2 ó 1p2
0,68 uH	AZUL - GRIS - PLATA - PLATA	5,6 pF	5.6 ó 5p6
1 uH	MARRON - NEGRO - DORADO - PLATA	12 pF	12
1,5 uH	MARRON - VERDE - DORADO - PLATA	15 pF	15
2,2 uH	ROJO - ROJO - DORADO - PLATA	18 pF	18
4,7 uH	AMARILLO - VIOLETA - DORADO - PLATA	22 pF	22
5,6 uH	VERDE - AZUL - DORADO - PLATA	27 pF	27
8,2 uH	GRIS - ROJO - DORADO - PLATA	39 pF	39
		100 pF	101 ó n10
		120 pF	121 ó n12
		220 pF	221 ó n22
		270 pF	271 ó n27
		470 pF	471 ó n47
		680 pF	681 ó n68
		820 pF	821 ó n82
		1500 pF	152 ó 1n5
		2200 pF	222 ó 2n2

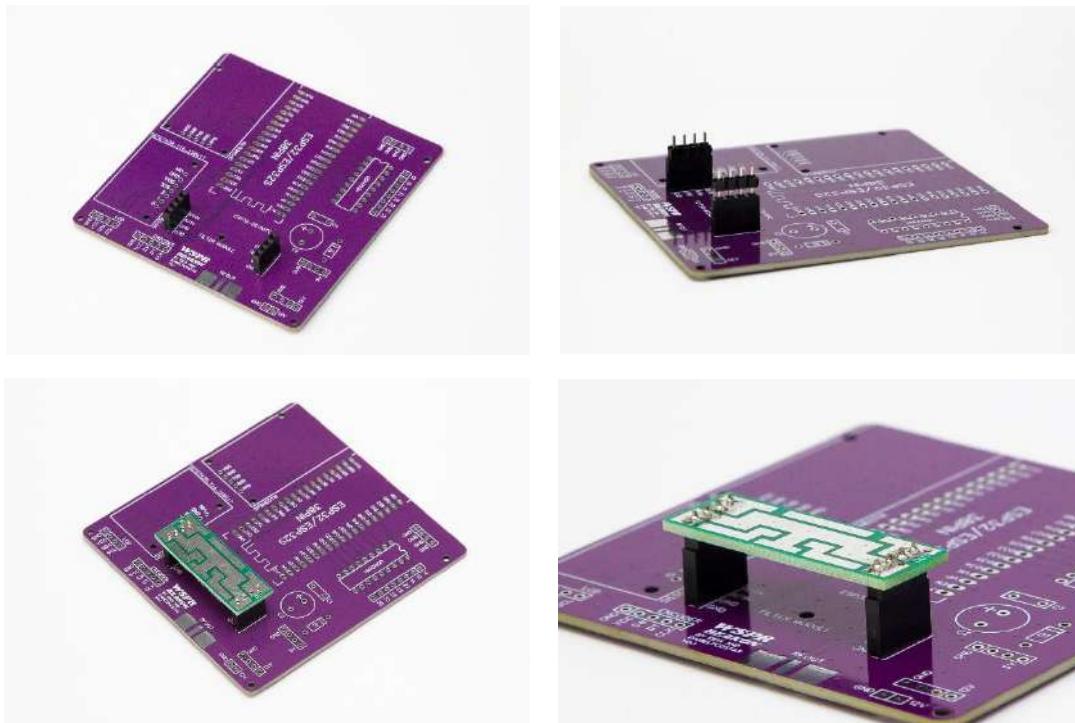
La PCB propuesta, de la que se facilita este [link](#) para bajar el fichero *gerber* y poder encargar su fabricación, se compone de 10 mini placas (que hay que recortar con una sierra) para 10 posibles filtros. En el diseño se tuvo en cuenta que resultara una placa muy versátil y pudiera contener filtros de 5 ó 7 polos, incluso con algún "notch" asociado a una frecuencia concreta. El formato elegido es para construcción tipo "Manhattan" (componentes soldados sobre "islas") debido a la enorme flexibilidad de diseño y de tipo de componente utilizable.



Las placas de filtros se conectan a la placa principal del montaje mediante pines insertables, lo que las hace muy fácilmente intercambiables. Una buena manera de que estos pines queden bien alineados a la hora de soldarlos y se puedan luego intercambiar las placas con facilidad es seguir estos pasos:

- Soldar los dos zócalos de 4 pines hembra en la placa principal, presionándolos contra dicha placa en el momento de la soldadura de cara a que queden bien asentados y formando 90 grados respecto a la placa
- Insertar las dos tiras de 4 pines macho, por su lado largo, sobre los zócalos hembra ya soldados
- Poner la plaquita para el filtro sobre las tiras de pines macho (ojo; revisar que la serigrafía "IN" y "OUT" de la placa de filtros queda hacia arriba y que coincide con la serigrafía "RFIN" y "RFOUT" de

la placa principal) viendo que asiente bien y proceder a soldar los ocho pines macho a la plaquita del filtro



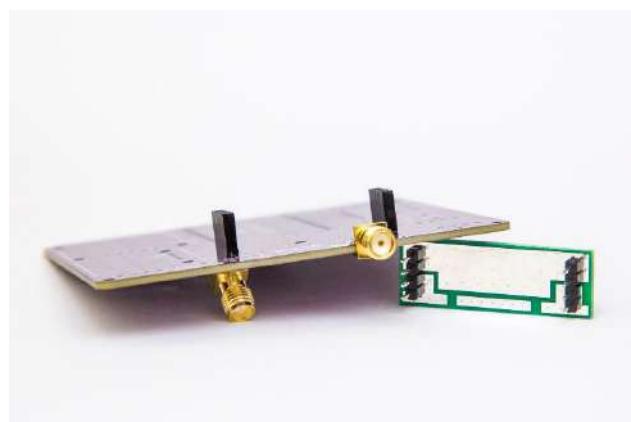
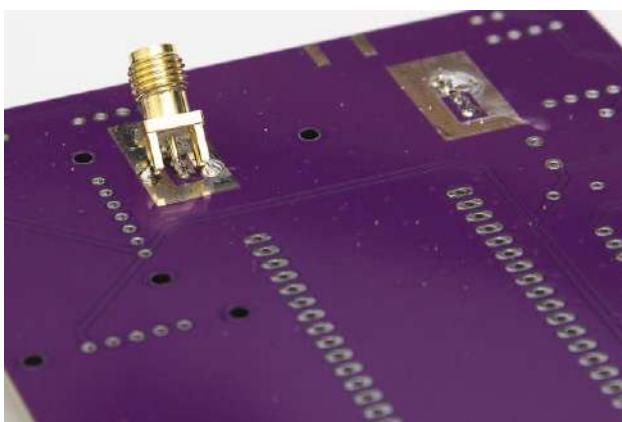
Aunque las placas de filtros fueron diseñadas inicialmente para ser usadas en este proyecto y conectadas mediante tiras de pines, la disposición de las pistas de “masa” y “RF” permite soldar conectores SMA para placa de circuito de 1.6 mm (a los que hay que cortar dos de sus cuatro pines de “masa”) y así poder utilizarlas en cualquier otro proyecto que requiera ese tipo de conectores.



Para proceder al ajuste y comprobación de los filtros (OBLIGATORIO), estos se han de conectar a un equipo de medida, por ejemplo, un nanoVNA. Para ello podemos preparar un par de “transiciones” de conector de pines a SMA (teniendo la precaución de que los pines del “vivo” del conector SMA los pongamos luego en los que corresponden al “IN” y “OUT” de la plaquita de filtros) tal que así:

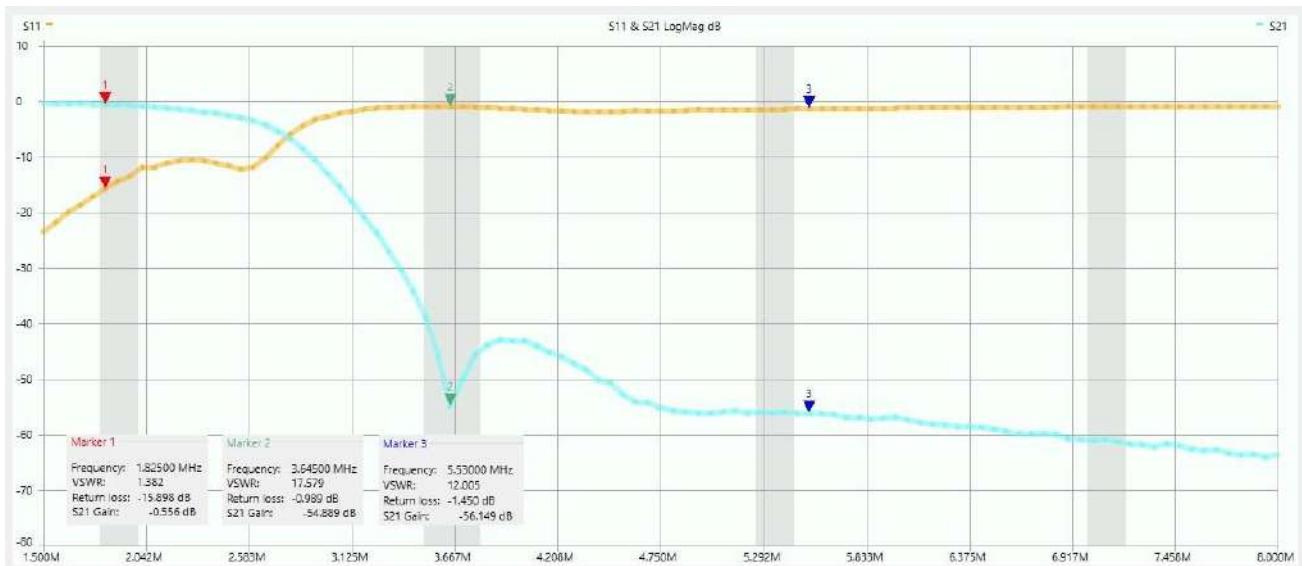


Otra opción es utilizar para la conexión al equipo de medida un par de conectores SMA hembra que se pueden ubicar en la placa principal: por un lado, el de salida marcado como “RF OUT”, y por otro lado, uno que soldaremos provisionalmente por la parte de abajo de la placa principal, llevando su pin central a la posición “IN” de los filtros (formada por dos pines) y soldando sus dos pines laterales (masa) a la zona prevista para ello en la placa.

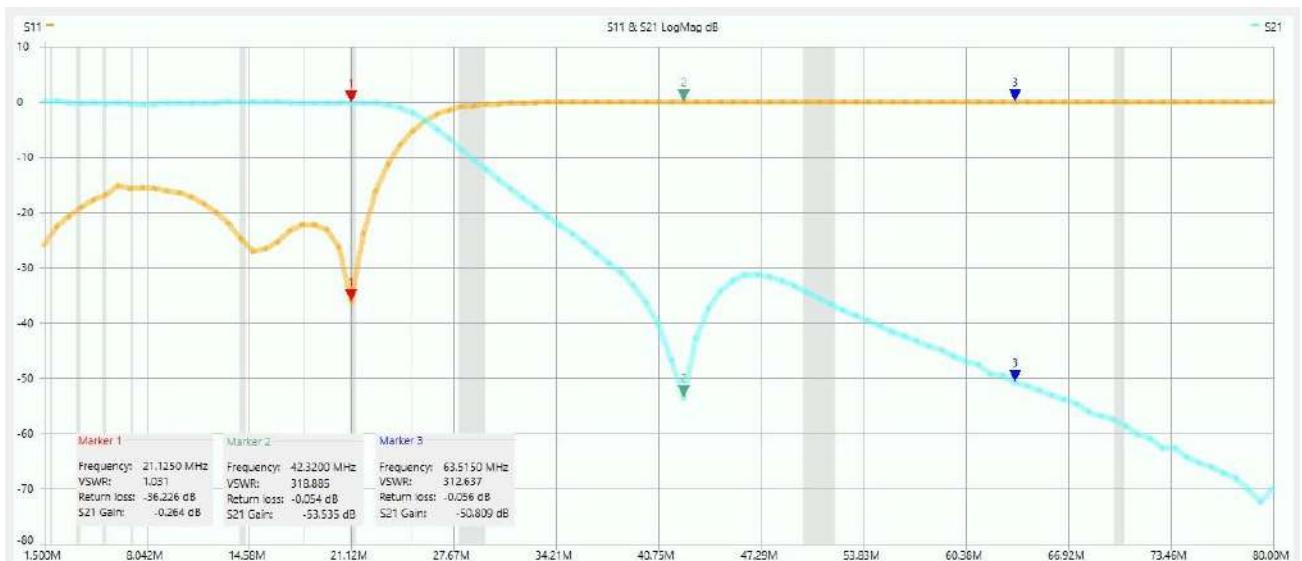


Si se va a usar esta última opción de conexión al equipo de medida es altamente recomendable empezar por la construcción de los filtros antes de soldar ningún otro elemento en la placa principal, de cara a evitar daños sobre los componentes en una mala maniobra con el soldador. Si esta opción de conexión se va a usar cuando ya la placa principal tiene sus componentes soldados e instalados, es indispensable desconectar el módulo de RF si5351 mientras se hace el ajuste de los filtros.

Las gráficas que obtendremos en el equipo de medida, dependiendo del tipo de filtro utilizado, deberían ser algo similar a esto:



Filtro para 160 metros con un notch (grieta) en el segundo armónico (3.6 MHz) de cara a mejorar su atenuación



Filtro para 15 metros con un notch (grieta) en el segundo armónico (42.3 MHz) de cara a mejorar su atenuación

IMPORTANTE: A la hora de intercambiar filtros en la placa principal, para cambiar de banda, se ha de prestar especial atención a que la serigrafía "IN" del filtro quede mirando hacia el módulo de RF (y coincida con la serigrafía "RF IN" de la placa principal), y que insertamos los 4 pines de ambos zócalos. Puede darse el caso, si no nos fijamos, que uno de los pines nos quede por fuera de su zócalo, lo que llevaría a un comportamiento totalmente anómalo del conjunto.

CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS INICIALES

Antes de cargar el código en la placa, hay que definir unos cuantos parámetros:

- Indicativo: tendrá entre 4 y 6 caracteres
- Locator: tendrá 4 caracteres
- Redes wifi: Se pueden incluir todas las redes wifi que queramos, simplemente haciendo copias de la línea de código prevista para ello. Debemos conocer el nombre dado a la red y su contraseña. La línea a duplicar, si se desea, será esta:
`wifiMulti.addAP("Poner aquí el nombre de la red wifi", "poner aquí la contraseña");`
- Periodos de TX: deberán ser números pares (la secuencia de transmisión de WSPR dura dos minutos). Valores entre 8 y 10 minutos suelen ser lo habitual. Inicialmente, y para la calibración de la frecuencia en cada banda, es recomendable ponerlo a 4 minutos para no tener que esperar mucho entre periodos de transmisión (ver más detalles a este respecto en el penúltimo apartado de este manual: Calibración)
- Potencia indicada en el mensaje a transmitir: Se debe poner la potencia de salida que vayamos a utilizar en unidades dBm
- Potencia a la que se configura el módulo de RF: A la hora de cargar el código, el módulo es configurable en 4 niveles de potencia (2MA, 4MA, 6MA y 8MA) y su equivalencia aproximada es esta:
 - o 2MA: 0 dBm (1 milivatio)
 - o 4MA: 3 dBm (2 milivatios)
 - o 6MA: 7 dBm (5 milivatios)
 - o 8MA: 10 dBm (10 milivatios)
- Pines de salida de relé para cada banda: Si se montó la “Mejora 3”, que habilita las salidas de pines para gobernar relés, podremos asignar un número de pin de salida (12, 14, 27, 26, 25, 33 y 32) a cada una de las bandas de trabajo sobre las que nos interese activar un relé. Solamente se puede habilitar un pin por banda, pero este pin se puede repetir en varias bandas diferentes si fuese de interés. En las bandas donde no se quiera usar esta opción (donde no sea necesario activar algún relé), el valor se dejará a “0”

-O-

CARGA DE CÓDIGO A TRAVÉS DE UNA DIRECCIÓN Web – DESARROLLAR Y COMPLETAR

Parámetros a definir:

- Indicativo
- Locator
- Redes wifi (hasta 3?) / Nombre de red 1 / password de red 1, etc
- Espaciado de los períodos de TX
- Potencia a la que configuraremos el módulo (2MA, 4MA, 6MA, 8MA)
- Potencia que aparecerá en la trama que vamos a transmitir (0, 3, 7, 10 dBm)
- Pines de salida de los relés (12, 14, 27, 26, 25, 33 y 32) que queremos activar según banda: 2200 mt, 630 mt, 160 mt, 80 mt, 60 mt, 40 mt, 30 mt, 20 mt, 17 mt, 15 mt, 12 mt y 10 mt. De partida todos a cero
- Frecuencia del cristal de 25 MHz según banda (en Hz): 2200 mt, 630 mt, 160 mt, 80 mt, 60 mt, 40 mt, 30 mt, 20 mt, 17 mt, 15 mt, 12 mt y 10 mt. De partida todas a 25000000 (y no cambiarlo en esta primera carga)
- Una vez cargado el código inicial se pasará a la calibración de las bandas de interés

Muy importante: Una vez que se cargue un nuevo código al ESP32, es necesario hacer una selección de banda mediante el uso del encoder (ver sección siguiente) para que el microcontrolador se inicialice correctamente, pues de lo contrario el funcionamiento del montaje es errático

-O-

INFORMACIÓN EN EL LCD Y USO DEL ENCODER

- Cuando damos alimentación al montaje aparecerá en el LCD el mensaje “*Connecting Wifi*”. Si no logra conexión con una de las redes wifi preconfiguradas pasará a chequear la señal del GPS, apareciendo en el LCD el mensaje “*Reading GPS*”. Estará alternando ambos mensajes hasta que logre algún resultado de sincronización válido
- Que el GPS obtenga una señal utilizable puede demorar varios minutos. Para ello, el montaje debe ser ubicado en una zona despejada, donde se vea una amplia porción de cielo, y, si se usa la antena integrada del GPS y el montaje está dentro de una caja, esta debe ser de material no metálico
- Si en algún momento el LCD alterna el mensaje “*Wifi Connected*” con el de “*Reading GPS*” nos indica que hay una red wifi conectada pero que esta no tiene salida hacia internet, no pudiendo por tanto hacer la calibración de tiempo a través de ella
- Si en algún momento aparece el mensaje “*Time not synced*”, nos indicará que el montaje lleva más de media hora intentando hacer la sincronización y no lo logra ni vía wifi ni vía GPS
- En cuanto se detecta una red wifi o una señal de GPS válida, el LCD pasa a mostrar el mensaje “*Testing signal*” y el equipo comienza una transmisión de prueba de 30 segundos
- Finalizada esta transmisión de prueba, el LCD pasará a marcar, en la línea superior, un mensaje rodante que contiene la siguiente información “*Indicativo – Locator – Frecuencia – Banda – Potencia transmitida (en dBm) – Intervalo de tiempo configurado entre transmisiones*”. En la línea inferior veremos un contador numérico que nos indica el tiempo restante hasta la siguiente transmisión de la trama WSPR
- Cuando a ese contador le resten 30 segundos, se iniciará la transmisión de una portadora de precalentamiento del módulo de RF, de cara a que este se estabilice en temperatura y frecuencia antes de pasar a emitir la propia trama WSPR
- En el momento de iniciar la transmisión de la trama WSPR, el LCD pasa a indicar “*Transmitting WSPR message*”
- Al acabar la transmisión de la trama WSPR vuelve a aparecer en el LCD la línea rodante con información y el contador de tiempo hasta la nueva trama
- El encoder rotativo se utiliza para cambiar de banda. Este cambio de banda solamente se puede hacer en los períodos de reposo de la transmisión. Cuando queramos cambiar de banda pulsaremos el encoder y aparecerá el mensaje “*Select Freq*”; moviendo el encoder rotativo en un sentido u otro iremos pasando las distintas bandas disponibles y cuando tengamos a la vista la de nuestra elección volveremos a pulsar el encoder. Aparecerá el mensaje “*Frecuency Set*” y la nueva banda queda seleccionada. En este caso es imperativo recordar insertar el filtro de la nueva banda
- Una vez se le quite la alimentación al montaje, se queda almacenada en memoria la última banda seleccionada de cara a arrancar en la misma al volver a dar alimentación

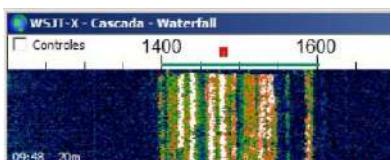
CALIBRACIÓN DE LA FRECUENCIA DE TRANSMISIÓN PARA CADA BANDA

Una vez que se cargó el código inicial en el montaje hay que calibrar una a una las bandas de interés (no es necesario realizar el proceso para las que no vayamos a utilizar), pues hay variaciones de unas a otras y también variaciones de un módulo si5351 a otro (es decir, si por avería uno tiene que cambiar el módulo si5351, habrá que hacer nuevamente el proceso de calibración). El código inicial dejó la frecuencia de cristal para cada banda en un valor 25000000 Hz. Esta es la frecuencia que debemos cambiar para centrar correctamente la transmisión en el segmento de WSPR, que es de por sí bastante estrecho, por lo que hacer este paso es obligatorio y debe realizarse con rigor, pues poner nuestra transmisión fuera del segmento asignado hará que nadie reporte nuestras tramas.

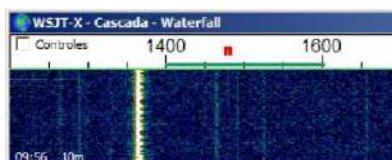
Para hacer esta calibración, lo más sencillo es disponer de un transceptor (o receptor) que creamos está razonablemente ajustado en frecuencia y dispone de conexión a un PC. De manera general, cualquier equipo más o menos moderno con el que se trabajen modos digitales debería servir. Procederemos de este modo:

- Tener configurado el montaje para que transmita cada 4 minutos (no es obligatorio, pero nos reduce el tiempo de espera entre transmisión y transmisión)
- Instalar el filtro de la banda a calibrar
- Instalar una carga artificial en el conector SMA de la placa principal (o en su defecto una antena)

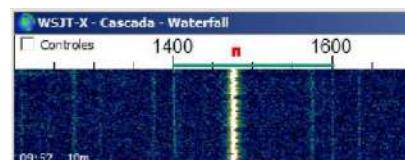
- Poner el montaje en marcha (darle alimentación)
- Seleccionar con el encoder la banda de interés (la misma que la del filtro que hemos instalado). Si el equipo está en TX o durante el período previo de “calentamiento” no se podrá cambiar la banda de trabajo hasta que cese la transmisión
- Esperar 10 minutos a que el módulo si5351 se estabilice en temperatura y frecuencia. Si tenemos el montaje “al aire”, convendrá cubrirlo, aunque sea con una caja de cartón, pues el si5351 es realmente muy sensible a las ligeras corrientes de aire que provocan cambios de temperatura y lo hacen patinar en frecuencia. Si esto sucede, nuestras tramas saldrán visiblemente “inclinadas” en la pantalla del “waterfall” de cualquier programa que trabaje con WSPR y la transmisión no llegará a ser decodificada
- Encender el transceptor que usaremos como equipo “patrón”, sintonizar la frecuencia de WSPR que corresponde a la banda a calibrar (siempre en modo USB, independientemente de la banda; las frecuencias para las bandas clásicas de 160 a 10 metros son estas: 1.836600, 3.568600, 7.038600, 14.095600, 21.094600 y 28.124600. Pueden verse completas en [este link](#)
- Al transceptor podemos conectarle una carga que situaremos en las cercanías del montaje, o un latiguillo con el conector al aire que aproximaremos (sin tocarlo) al montaje. De lo que se trata es de que el equipo pueda escuchar la transmisión del montaje, preferiblemente sin recibir otras señales externas que nos podrían confundir. Si ponemos el transceptor conectado a una antena y el montaje está conectado a otra (quizás la mejor opción de cara a identificar inequívocamente nuestra señal en la banda), es altamente recomendable tener la precaución de activar algún atenuador en el transceptor y/o bajar bastante la ganancia de RF; con ello evitaremos problemas derivados de sobrecarga por RF
- Arrancar el programa WSJT-X (se puede descargar desde [aquí](#)) escogiendo el modo WSPR y la banda a calibrar (si el programa tiene el CAT del equipo configurado ya moverá a este a la frecuencia correcta al asignar el modo y banda)
- Escogiendo en el programa el menú “Ver” y el submenú “Cascada (Waterfall)” se nos abrirá otra pantalla del tipo “analizador de espectro”; en esa nueva pantalla las señales de WSPR deberán estar dentro del margen entre 1400 y 1600 Hz (sí, solamente 200 Hz)
- Si nuestra señal está dentro de esa porción del espectro de 200 Hz (preferiblemente no muy cerca de los bordes, pues la ligera variación que pudiera haber en frecuencia a lo largo del tiempo podría llegar a sacar nuestra transmisión fuera del segmento asignado) podemos decir que todo va bien y no hay nada más que hacer a efectos de calibración para esa banda



Señales de WSPR dentro de la banda de paso correcta, entre 1400 y 1600 Hz



Señal de WSPR fuera de la banda de paso correcta. Esta señal nunca será decodificada



Señal de WSPR dentro de la banda de paso correcta

- Si nuestra señal no está dentro de la porción correcta del espectro tendremos que movernos con el dial del transceptor arriba o abajo hasta encontrarla y dejarla dentro de la porción del espectro que corresponde (mejor huir de los extremos de dicha “ventana” por las ligeras variaciones de frecuencia que pudiera haber a futuro)
- Cuando tengamos la señal ubicada donde debe anotaremos la frecuencia (en Hz) a la que tuvimos que mover el transceptor para sintonizarla correctamente (esa será la frecuencia en la que está saliendo nuestro montaje en estos momentos)
- Sabiendo la frecuencia del cristal que está cargada en el programa (25000000, en Hz), la frecuencia (en Hz) en la que debería salir el montaje (la que corresponde a la banda en cuestión, consultable en la web de WSPR; en este [link](#)) y la frecuencia (en Hz) en la que en realidad está saliendo nuestro montaje podemos usar una calculadora *on line* para saber la nueva frecuencia del cristal que debemos configurar en el código de cara que nuestra señal salga donde debe. Dicha calculadora es esta:

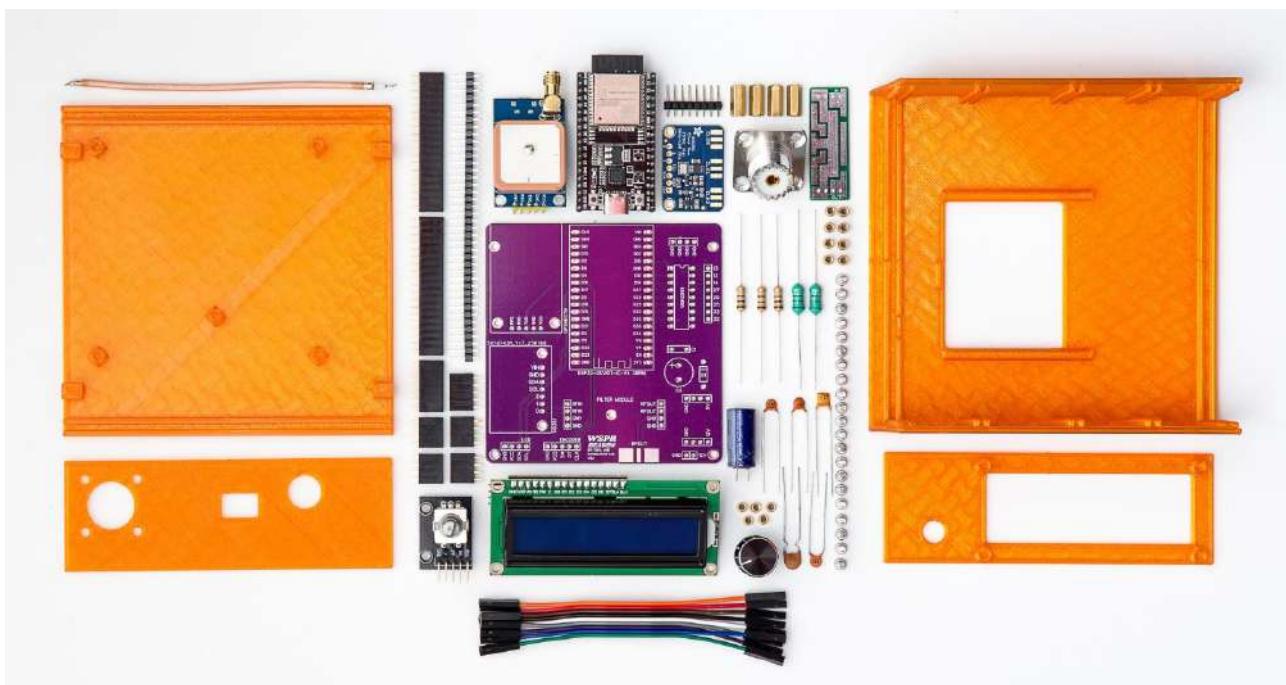
<https://danielpcostas.dev/es/como-calibrar-cristal-si5351-sin-instrumentos-costosos/>

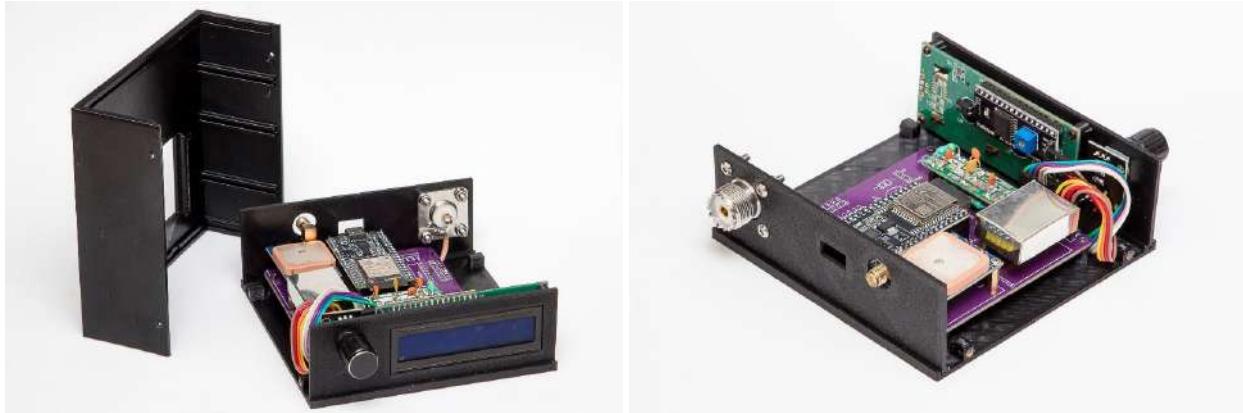
- Para calibrar este montaje no es necesario cargar el código de prueba que aparece en dicha página, pues ya tenemos cargado el nuestro que sirve para lo mismo. En la parte final de la página (calculadora) debemos meter estos tres parámetros:
 - o Frecuencia deseada (la “oficial” de la página WSPR -[link](#)-, en Hz; sin comas ni puntos de separación de miles o millones)
 - o Frecuencia obtenida (la que sintonizamos en el transceptor para tener centrada nuestra señal, en Hz)
 - o Frecuencia cristal inicial: 25000000 (es la que de partida va cargada en el código del ESP32)
- Al meter esos datos y dar a “Calcular”, la web nos devuelve algo como esto: “Frecuencia Ajustada del Cristal: 25008771 Hz” (si saliera un número con decimales, tal que así: 25008771.24 Hz, obviaríamos esos decimales de Hz). Ese valor que nos devuelve la web es el que debemos anotar (y más tarde cargar) como nueva frecuencia del cristal para corregir esa banda
- Este proceso se ha de repetir con todas las bandas de interés para dejar el montaje correctamente calibrado
- Una vez tengamos las nuevas frecuencias del cristal anotadas para las bandas de interés, debemos ir nuevamente a la página de carga del código y cambiar, para cada banda, el valor previo de 25000000 por el nuevo valor anotado. Las bandas no calibradas (y que por tanto no se deben usar) las podemos dejar con el valor por defecto
- Modificaremos también, si ha lugar, los períodos de transmisión de 4 minutos por algo un poco más habitual (8-10 minutos; siempre número par)
- Cargamos el nuevo código
- **Muy importante:** Una vez que se cargue un nuevo código al ESP32, es necesario hacer una selección de banda mediante el uso del encoder (ver sección previa) para que el microcontrolador se inicialice correctamente, pues de lo contrario el funcionamiento del montaje es errático
- Con todo ello deberíamos tener ya nuestro montaje calibrado en las bandas de interés y listo para ser utilizado

IDENTIFICACIÓN VISUAL COMPLETA DE COMPONENTES Y HARDWARE ADICIONAL: CAJA ESPECÍFICA IMPRESA EN 3D O PERSONALIZADA SOBRE CAJA COMERCIAL

Existe una caja, lista para imprimir en 3D, que puede albergar el montaje básico, con o sin módulo GPS. Los materiales necesarios para acomodar el montaje en dicha caja son estos:

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	LINK	IMAGEN
1	Caja impresa en 3D	Link (falta)	
13	Insertos roscados de métrica 2,5 y 5 milímetros de longitud para fundir en plástico	Link	
1	Conector tipo SO-239, de 4 agujeros	Link	
1	Trozo de cablecillo coaxial que unirá el conector SO239 con la salida de RF de la placa (10-15 cm son suficientes). El cable puede ser un RG316	Link	
13	Tornillos de M2.5 y 5mm para usar sobre los insertos	Link	
4	Tornillos de M3 y 8mm de longitud para el conector SO239	Link	
4	Tuercas de M3 para sujetar el conector SO239	Link	
1	Terminal de masa de para tornillo de 3 mm (para montar en los tornillos del conector SO239 y poder soldar en él la malla del cablecillo coaxial)	Link	





La identificación visual de componentes para una placa con todas las prestaciones (montaje básico, más GPS, más posibilidad de alimentación a 12 voltios, más salidas de control de relés habilitadas) sería esta:

