

Nº35: AMPLIFICADORES LINEALES HF MULTIBANDA TRANSISTORIZADOS

Joan Borniquel Ignacio, EA3-EIS, 30-02-06.
Sant Cugat del Vallés (Barcelona) ea3eis@hotmail.com

INTRODUCCION

Son muchos los autores, que se han dedicado a diseñar y construir amplificadores lineales cuyas prestaciones, han de permitir trabajar bien dentro del margen de HF, con una potencia de salida adecuada para operar en QRP, modos: SSB, CW y con un comportamiento aceptable ante los problemas de intermodulación y productos armónicos de orden superior. Podríamos decir que este sería sin lugar a dudas, el amplificador lineal HF QRP adecuado, para complementar algunos de los montajes que solemos hacer los adictos al soldador.

En este reportaje, he querido recopilar y resumir desde el aspecto práctico, varios de los condicionantes o limitaciones y también, las posibles soluciones que se han ido adoptando, tanto al hacer el proyecto como en la realización de algunos montajes, sin pasar por alto los resultados de carácter cuantitativo y cualitativo, que se han obtenido en su puesta a punto. Hacer constar que en todos los casos, se han utilizado transistores bipolares asequibles a nivel de mercado y dispuestos siempre, en contrafase en las etapas finales de potencia.

CARACTERISTICAS

Las características más importantes a destacar, de estos amplificadores lineales para HF QRP multibanda transistorizados, son las siguientes:

Bandas:	Cobertura de Frecuencias:
160 Metros	de 1810 a 1850 KHz.
80 ..	de 3500 a 3800 ..
40 ..	de 7000 a 7200 ..
30 ..	de 10100 a 10150 ..
20 ..	de 14000 a 14350 ..
17 ..	de 18068 a 18168 ..
15 ..	de 21000 a 21450 ..
12 ..	de 24890 a 24990 ..
10 ..	de 28000 a 29700 ..
Modos de emisión	: SSB y CW.
Potencia de salida	: 13 W _{pep} máximo (SSB).
Impedancia de salida	: 50 Ohms.
Distorsión por intermod	: ver ensayo II tono.
Respuesta armónica	: ver ensayo espectral.
Señal de excitación	: de -19 dB a 01 dBm.
Impedancia de entrada	: 50 Ohms.
Alimentación	: + 13,5 V y 3,5 A máximo.

DESCRIPCION PRELIMINAR

El circuito eléctrico de estos amplificadores lineales, es bastante simple por el hecho de que solamente constan de dos etapas amplificadoras de RF las cuales, según el tipo de transistores utilizados en la etapa final y en las bandas más bajas, pueden aportar una ganancia considerable con un comportamiento óptimo, como podrá verse más adelante, en las gráficas de potencia, en función de la frecuencia y de la señal de excitación de entrada y también, en los resultados de los ensayos efectuados sobre intermodulación y respuesta armónica. Añadir que en este tipo de amplificadores, el concepto lineal, queda definido por el punto de trabajo en la curva característica de la etapa amplificadora de potencia, que en nuestro caso es AB.

Amplificador Lineal: Siguiendo la señal desde la entrada en el amplificador, esta se aplica mediante condensador de 10 nF a la base de Q1 (2N4427), NPN, VHF, este transistor que trabaja como amplificador de banda ancha clase A con salida por colector, además de proporcionar una ganancia inicial, adapta la impedancia hacia el transformador de banda ancha T1 relación 4:1, con secundario balanceado por toma media para poder excitar, las dos bases de los transistores de potencia Q2 y Q3 que presentan, una impedancia muy baja de entrada. Al tener que escoger este par de transistores, según la frecuencia de trabajo del amplificador y la potencia de salida, tenemos tres posibles candidatos que pueden ser: (2SC1972), NPN VHF; (2SC1945), NPN HF y (2SC1971), NPN VHF este último de menor potencia de salida; estos tres transistores, tienen la misma cápsula (TO220) y conexión interno de emisor conectado a la carcasa de refrigeración, con lo cual y según el esquema eléctrico, se simplifica el montaje al estar los emisores de Q2 y Q3 conectados directamente a masa evitando los aislantes. Esta disposición de los dos transistores en contrafase o push-pull, también tiene ciertas ventajas que conviene remarcar: la primera es que la potencia de salida se multiplica por dos, la segunda y muy importante, es que se llega a minimizar la presencia del segundo armónico con lo cual, se mejora notablemente la respuesta de orden par superior. La salida de Q2 y Q3 por colectores, se aplica a otro transformador de banda ancha T2 relación 1: 4, con primario balanceado por toma media, este transformador también adapta la baja impedancia de colectores hacia la salida o secundario de T2 de 50 Ohms. La alimentación, es a +13,5 V máximo. Ver esquema eléctrico y detalle de los transformadores T1 y T2, en la Figura N° 1.

Polarización: Con tal de mantener el punto de trabajo de los transistores de potencia: Q2 y Q3, en la parte de su curva característica que se define como AB y evitar en el mayor grado posible, la presencia de cualquier tipo de distorsión, ya sea por intermodulación o saturación, es necesario polarizar las bases de dichos transistores con una tensión fija de tal manera, que dicha tensión de polarización, se mantenga constante en cuanto a nivel y para ello, se utiliza el transistor Q4 (BD136), PNP, conectado como diodo de Zener (0,65 V) y una resistencia limitadora de intensidad R; este transistor, está acoplado física y térmicamente, al disipador de calor de Q2 y Q3 estableciéndose con ello, una autorregulación por efecto calórico, debido a que cuando la tensión directa en la unión de Q4, tiende a disminuir por el aumento de la temperatura de todo el conjunto disipador, hace que disminuya el consumo de colectores de Q2 y Q3. Ver esquema eléctrico, en la Figura N° 1.

Filtros LPF: Para poder conseguir una respuesta armónica de orden superior óptima, hay que eliminar en buena medida, todos los productos indeseables que puedan estar presentes en cualquier señal emitida, dejándolos a un nivel aceptable según las normas y en todas las bandas autorizadas, para ello es necesario, el contar con filtros pasa bajos LPF seleccionables para cada una de estas bandas de HF. Estos filtros, están compuestos mayoritariamente por células Pi, cada una de estas células la integran una inductancia y dos condensadores con una impedancia de 50 Ohms. La situación de dichos filtros LPF, es entre la salida de 50 Ohms del amplificador lineal transistorizado y la antena o carga. En la mayoría de casos, la selección para cada una de las bandas, se puede hacer por relés y selector manual rotativo, como se verá en la Figura N° 2.

DISEÑO Y CONSTRUCCION

Para el diseño y la construcción de un amplificador lineal HF QRP transistorizado, es necesario insistir sobre algunos detalles a tener en cuenta como son: el tipo de transistor a utilizar y su circuito, la buena adaptación de impedancias, tanto a la entrada como a la salida de cada una de las etapas amplificadoras poniendo gran énfasis, en la etapa de potencia que en nuestro caso, se hace mediante transformadores de banda ancha y también, en la polarización de la mencionada etapa además de su disipación térmica y filtros LPF a la salida hacia la antena o carga.

Transistores y Circuito: El tipo de transistor a utilizar, dependerá en gran manera, de la frecuencia de trabajo y de la función amplificadora, ya sea de señal o de potencia. Para las etapas amplificadoras de señal de banda ancha en clase A cual es Q1, se comportan muy bien los tipos siguientes: 2N4427, 2N3866, 2N5109, 2N3553, todos estos transistores, tienen una frecuencia de transición alta y ganancia entre 8 a 12 dB lo cual, permite entregar una señal suficiente para excitar una etapa de potencia QRP. En cuanto al circuito en estas etapas amplificadoras en clase A, se puede afirmar que buena parte del éxito en el buen funcionamiento, se debe al sistema de realimentación de la señal, por degeneración de emisor y por acoplamiento colector-base; la primera contribuye, a estabilizar de manera constante la ganancia de voltaje, cuando la resistencia de carga a la salida se mantiene constante; la segunda tiene dos ventajas, tiende a estabilizar la ganancia como la realimentación degenerativa por emisor y además, hace decrecer las impedancias, tanto la de entrada como la de salida con lo cual, se establece un efecto de compensación, al mantenerse dichas impedancias en unos 50 Ohms.

Para la etapas de potencia en las que intervienen: Q2 y Q3, ya se han indicado, los tipos de transistores utilizados en función de la frecuencia; una consideración a tener muy en cuenta, es la baja impedancia que presentan dichos transistores, tanto a la entrada por bases como a la salida por colectores y por lo tanto, para la disposición en contrafase cual es nuestro caso, se hace necesario una adaptación interetapa por transformadores, que tengan una relación de transformación adecuada con respecto a la entrada y salida de 50 Ohms, abundando en esta consideración, también se tendrán en cuenta desde el punto de vista constructivo, la mínima longitud y la simetría de todos los conductores activos así como, de los retornos y condensadores de desacoplo a masa. En cuanto a la construcción de los transformadores de banda ancha T1 y T2, los núcleos son balums de ferrita de dos agujeros, tipo FB8 y FB14 con una permeabilidad de 850, los devanados primario y secundario, se han hecho aprovechando al máximo la ventana o agujero y pensando, que el desplazamiento de las corrientes de RF, es de carácter superficial; dado que una imagen puede ser más demostrativa, ver detalles constructivos de los dos transformadores: T1 y T2, en la figura N° 1. Para detalles constructivos en general, ver las figuras: N° 3, 4, 5 y 6.

Polarización y Disipación térmica: Sobre este dispositivo referencial, que nos permite establecer el punto de trabajo óptimo de Q2 y Q3 al trabajar en SSB, indicar solamente, que el transistor Q4 que asume las funciones de diodo de Zener, se puede montar en el mismo tornillo de fijación de uno de los dos transistores de potencia y radiador común de calor. El radiador de disipación térmica en la etapa final de potencia, debe de ser generoso para evitar el calentamiento excesivo a máxima potencia, normalmente una buena disposición del amplificador lineal y los transistores de potencia, acostumbra a ser el panel posterior de la caja reforzado por unas aletas metálicas o un radiador de mercado. Ver Figuras N° 3, 4, 5 y 6.

Filtros LPF: Dada la importancia que tienen los filtros LPF, es necesario cuidar algunos aspectos constructivos como son, la confección de las inductancias y la inserción conmutada de dichos filtros entre el amplificador y la carga, caso de ser una versión multibanda. Las inductancias consisten, en bobinados sobre núcleos toroidales de polvo de hierro del tipo T-50 o T-37, Mix-2 (rojo) o Mix-6 (amarillo), el tipo y el Mix de cada núcleo, dependerá del número de espiras o inductancia según la frecuencia de cada banda. Los condensadores asociados a las inductancias, son del tipo cerámico 100 V. La conmutación más recomendable, en la disposición multibanda es

por relés, dos por cada filtro LPF a insertar en cada una de las bandas, son relés de un solo circuito a 12 V CC, dispuestos uno en la entrada del filtro y otro en la salida, la excitación de dichos relés de forma selectiva, se hace por conmutador rotativo de tantas posiciones como bandas. Para esquema eléctrico y detalles constructivos, ver la Figura: N° 2.

PRUEBAS Y RESULTADOS

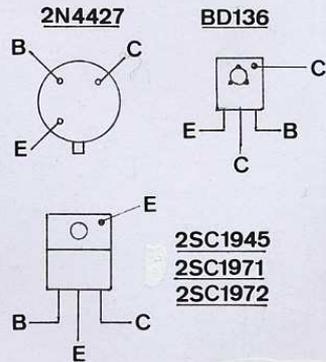
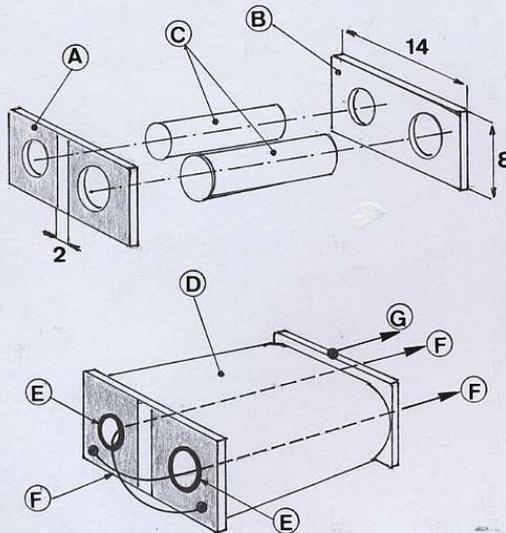
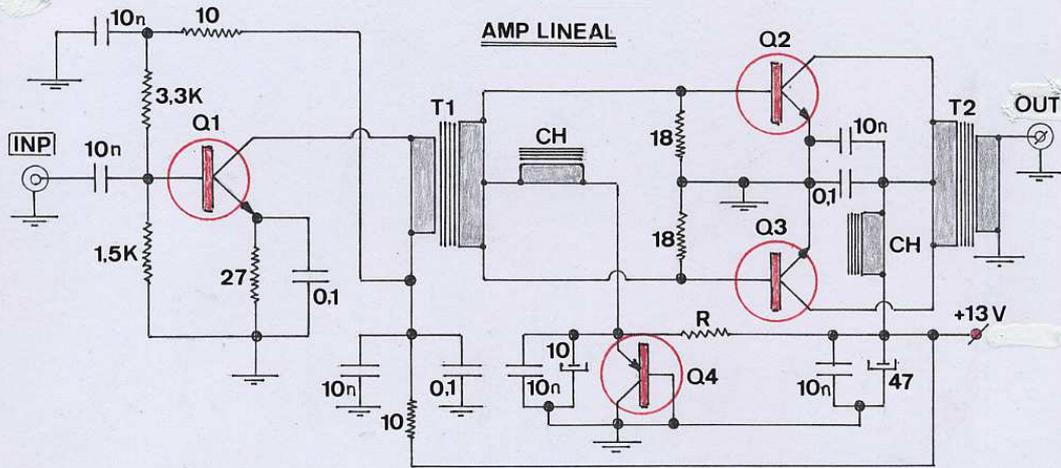
Dado el papel destacable, que juega el amplificador lineal de potencia SSB transistorizado en todo transmisor, es muy importante, el poder verificar y traducir en resultados, algunos de los parámetros que definen sus prestaciones.

Respuesta en frecuencia: Las primeras pruebas que se han efectuado de tipo cuantitativo, han sido establecer las curvas de respuesta de los amplificadores lineales transistorizados en la modalidad SSB, los parámetros cuyos resultados se presentan son: la potencia de salida en función de la frecuencia y de la señal de entrada, esta prueba se ha efectuado en tres versiones de amplificador lineal en contrafase, en cada uno de los ensayos, se indican de manera gráfica, las curvas de potencia de salida especificadas en W_{pwp} , la de señal de entrada en V_{pp} y la frecuencia dentro de un margen de 1,84 a 28,8 MHz. También se adjunta, un diagrama del dispositivo que se ha utilizado para conseguir los resultados. Observando la progresión de las curvas de potencia y de la señal de entrada en función de la frecuencia, se aprecia la diferencia que hay en la respuesta entre los transistores 2SC1945 (HF) y 2SC1971 (VHF), 2SC1972 (VHF) sobre todo, en las frecuencias más altas de este margen lo cual indica, el tener que decidirse por el transistor más adecuado según las necesidades. Véanse los resultados, en las Figuras N° 7, N° 8 y N° 9.

Prueba de intermodulación: La prueba siguiente en SSB ha sido de carácter cualitativo o de apreciación, esta prueba llamada también de doble tono, es la que define el comportamiento dinámico de un amplificador lineal en lo que respecta a la intermodulación y saturación de las señales que son amplificadas a máxima potencia de salida, aquí se presentan por razón de espacio, los resultados de uno de los amplificadores lineales en versión multibanda y se han escogido cuatro de las bandas más representativas: 80, 40, 20 y 15 Metros. Este tipo de prueba muy popular en el mundo de los radioaficionados y que figura en los principales manuales, no requiere de grandes dispendios económicos si se cuenta con un osciloscopio, se ha utilizado el mismo dispositivo que en la prueba anterior. El resultado de este ensayo, es que puede apreciarse con bastante exactitud, si la polarización de la etapa de potencia está en el punto óptimo y si hay recorte de la señal de salida, por exceso de señal en la entrada lo cual, se traduciría en barbas o splatters al emitir en SSB. Ver los resultados en la Figura N° 10.

Respuesta armónica: Esta prueba de carácter cuantitativo, es de una gran importancia al definir, el nivel de radiación armónica que está emitiendo un transmisor que trabaje en cualquier modalidad y por supuesto, para indicar si dicho nivel es aceptable según la normativa vigente. La evaluación se ha hecho también, en uno de los amplificadores lineales multibanda y en las bandas que son más representativas: 80, 40, 20 y 15 Metros. Esta prueba se ha hecho, con un analizador de espectro cuya procedencia no es comercial, es un Kit de Radio Communication, que ha sido montado por mi amigo Francisco Ortiz, EA3-RN el cual, ha tenido la gentileza de cedérmelo, muchas gracias Paco, me has hecho muy feliz, al poder saber ahora lo que está pasando más arriba de la frecuencia de trabajo. Es evidente, que con este medio de comprobación se puede saber, de la eficacia por la disposición en contrafase del paso final de potencia y de los filtros LPF, ante el segundo y tercer armónicos los cuales, es difícil de adivinar su presencia sin un medio tan eficaz, como un analizador de espectros. Ver los resultados, en la Figura N° 11.

No querría terminar, sin mostrar mi reconocimiento hacia todos los autores que con sus trabajos, de carácter estimulante, formativo y altruista, nos animan a sentir curiosidad e interés por este tipo de radio. Entre tanto, saludos de Joan, EA3-EIS.



**Transformadores T1 y T2.
Detalles constructivos.**

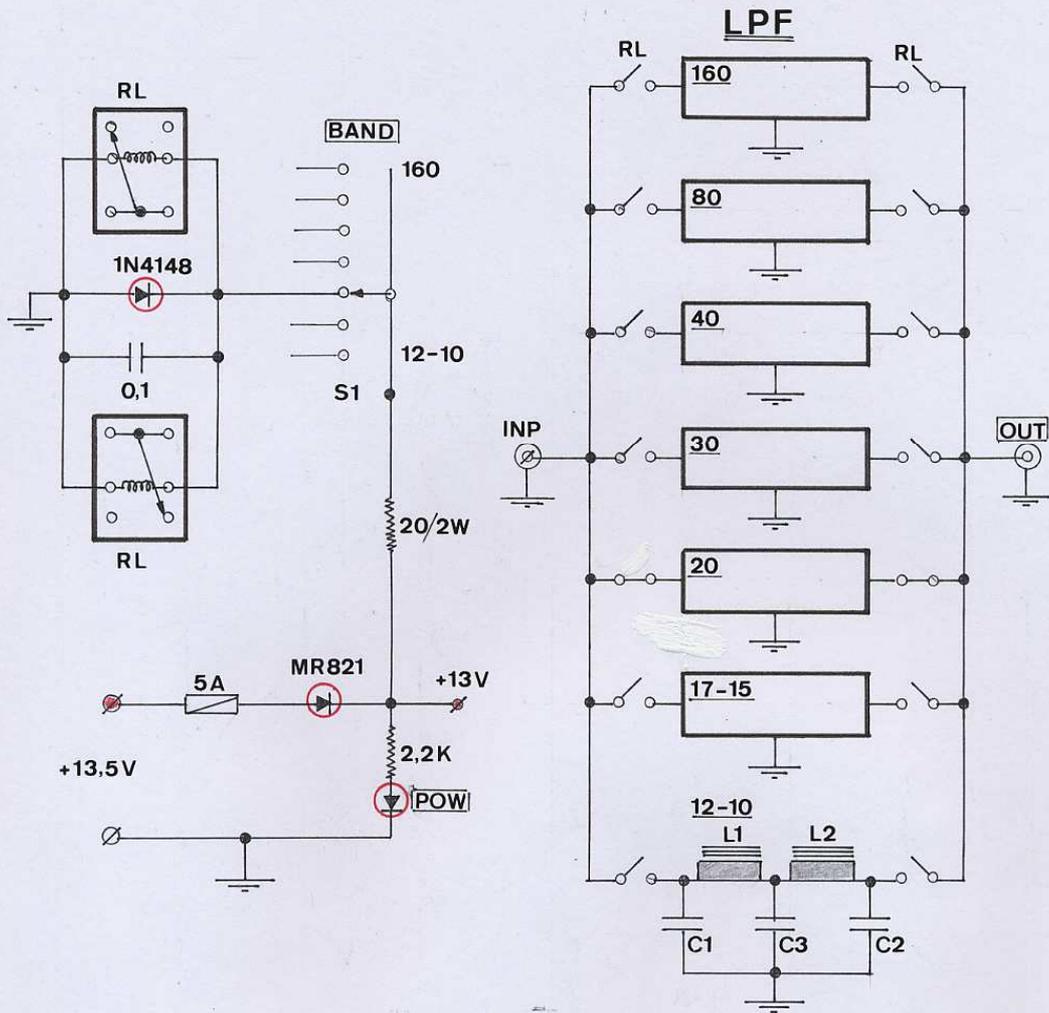
- A: Placa CI, una sola cara, con un corte de 2 m/m.
 - B: Placa CI, una sola cara.
 - C: Tubos plancha lat 0,2.
 - D: Núcleo balum, T1 y T2.
 - E: Soldadura tubos lat y CI por ambos lados.
 - F: Bobinados de 2 espiras con toma méd (G), T1 y T2.
- Notas:** Las medidas, en m/m. Diam taladr y tubo, s/balum.

Figura N° 1: Esquema eléctrico Amplific lineal HF transistorizado.

- Q1: 2N4427, NPN, 400 MHz.
- Q2, Q3: NPN, transist. finales.
- Q4: BD136, PNP, 50 MHz.
- T1: Balum FB8, P 4e, S 2e c/tm.
- T2: Balum FB14, P 2e c/tm, S 4e.
- CH: Choque RF, VK200..

Notas: Los transistores finales, según potencia y banda: 2SC1945, 2SC1971, 2SC1972 y la resist. (R), según el tipo de transistor final, ver las Figuras: N° 7, N° 8 y N° 9.

**AMPLIFICADOR LINEAL
HF MULTIBANDA
TRANSISTORIZADO**
EA3-EIS, 30-02-06.



FILTROS PASO BAJO (LPF)					
Datos según ARRL 94, cap 2 – 34 y 44.					
Band	L1-L2	Núcl	Espir	C1-C2	C3
Metr	μH	Toro	Hilo	pF	pF
160	4,70	T50-2	31/0,3	1500	2700
80	2,37	..	22/0,4	820	1500
40	1,25	..	16/0,5	470	820
30	0,96	..	14/0,5	330	560
20	0,59	..	11/0,6	220	390
17-15	0,40	T50-6	10/0,6	150	330
12-10	0,32	..	09/0,6	120	270

Figura N° 2: Esquema eléctrico de los filtros LPF y selector de banda.

- RL: Relés 12 V cc, 1 inversor.

- S1: Selector rotativo, 7 pos, 1 cir.

Nota: Los contactos de los relés RL, (20 Metros) en situación activa.

AMPLIFICADOR LINEAL HF MULTIBANDA

Filtros LPF y Selector de banda
EA3-EIS, 30-02-06.



Figura N° 3: Amplificador lineal HF multibanda (2 x 2SC1972). Este amplificador de carácter más bien experimental, complementa el Excitador HF multibanda SSB y CW. De derecha a izquierda, el conector de entrada BNC, el amplificador lineal con los transistores de potencia Q2 y Q3 adosados a la base metálica, a continuación los filtros LPF seleccionados por relés y conmutador rotativo de bandas, todo según esquemas: Figuras N° 1 y 2, finalmente el conector PL para la señal de salida.

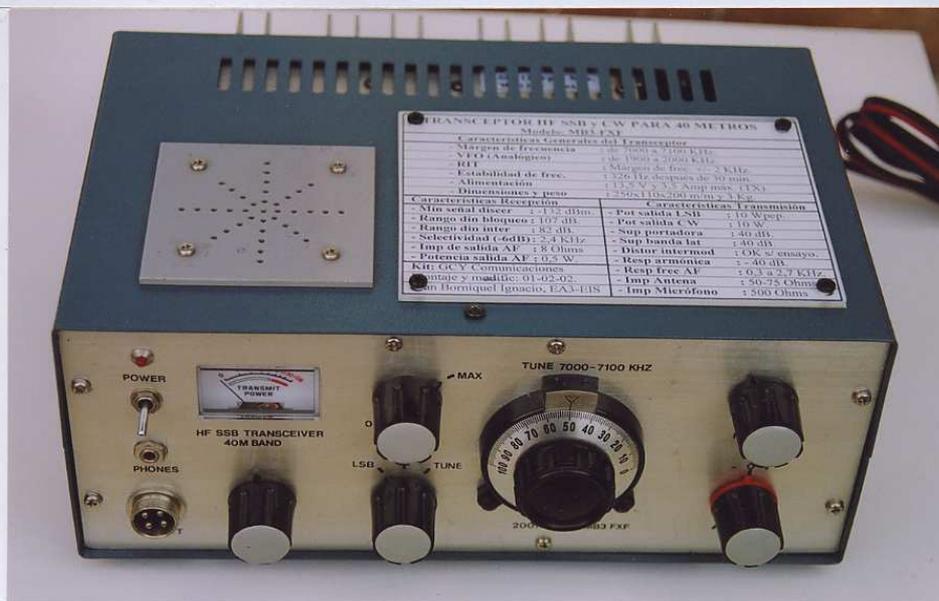


Figura N° 4: Transceptor HF para 40 metros SSB y CW, Modelo MB3-FXF correspondiente a un Kit de GCY Comunicaciones. Con un amplificador lineal (2 x 2SC1945) más filtro LPF, montados en la misma placa de CI en el panel posterior provisto de aletas de refrigeración. Es un buen ejemplo de solución QRP y de comportamiento óptimo en esta banda tan concurrida.

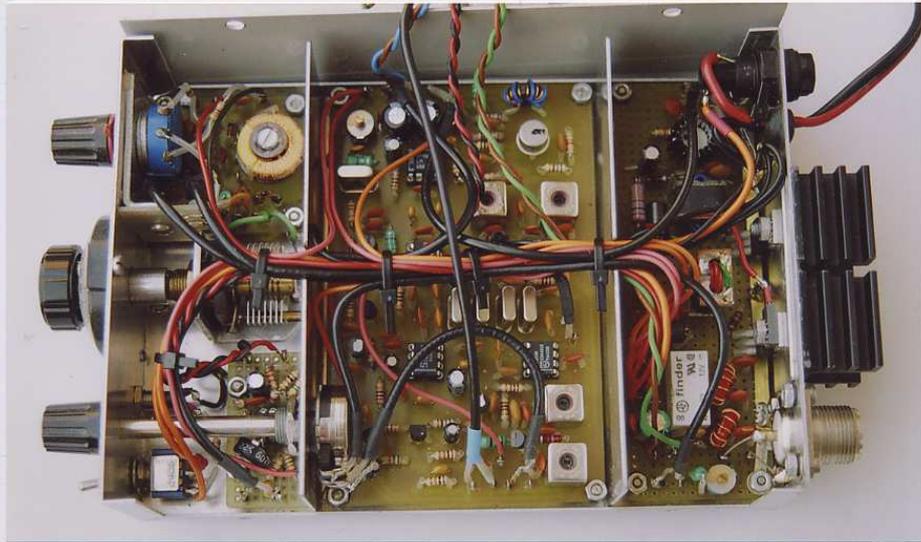


Figura N° 5: Transceptor experimental HF para 15 Metros SSB. Dispone de un amplificador lineal (2 x 2SC1971) y se presenta en dos vistas interior y exterior. En la vista interior a la derecha, aparecen el amplificador y filtro LPF montados ambos en la misma placa de CI, el panel posterior incluye dos refrigeradores TO220 para los transistores de potencia. Queda un conjunto compacto y acorde con el tamaño del equipo. Indicar que el rendimiento, es muy aceptable para esta banda que permite buenos contactos QRP, cuando la propagación aunque sea esporádica nos es favorable.

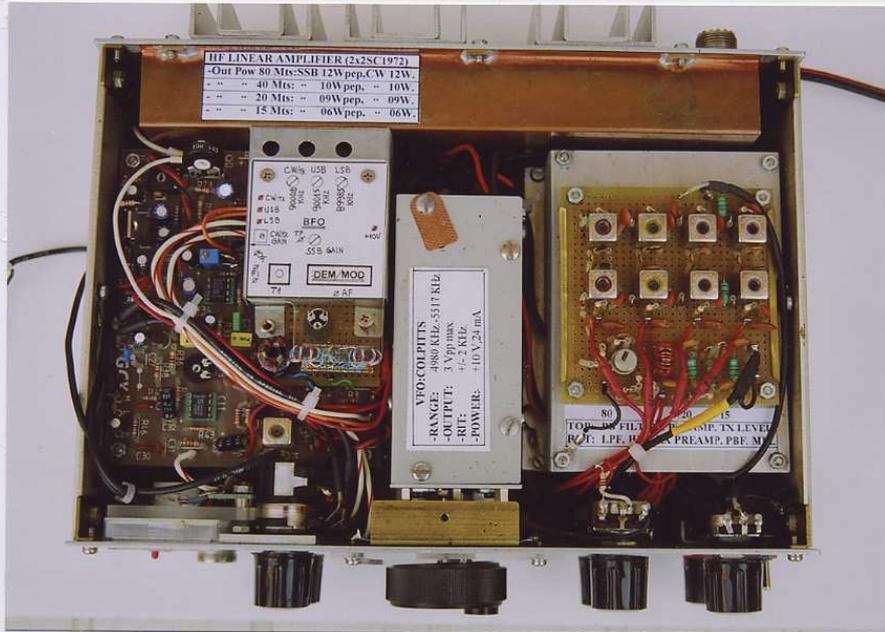
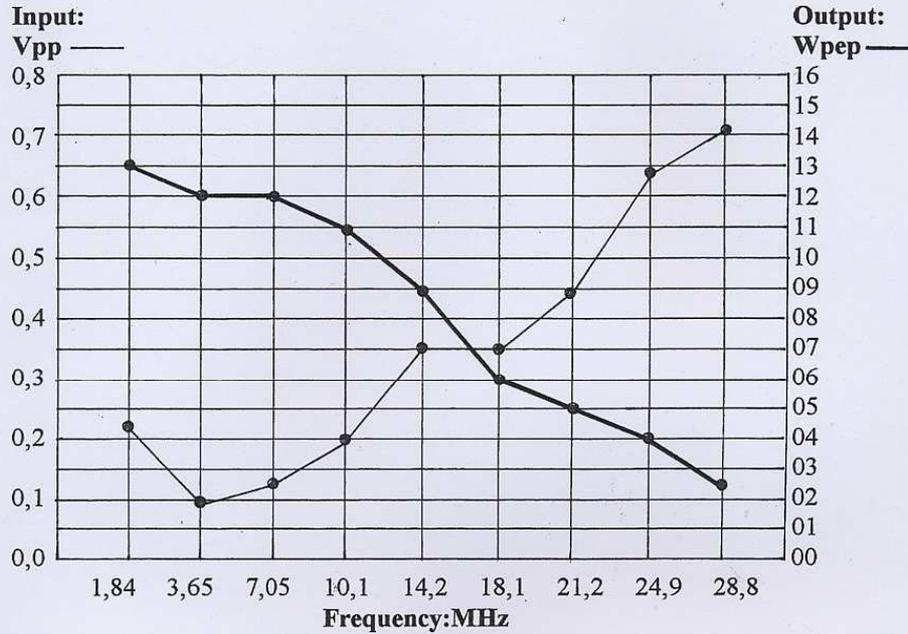
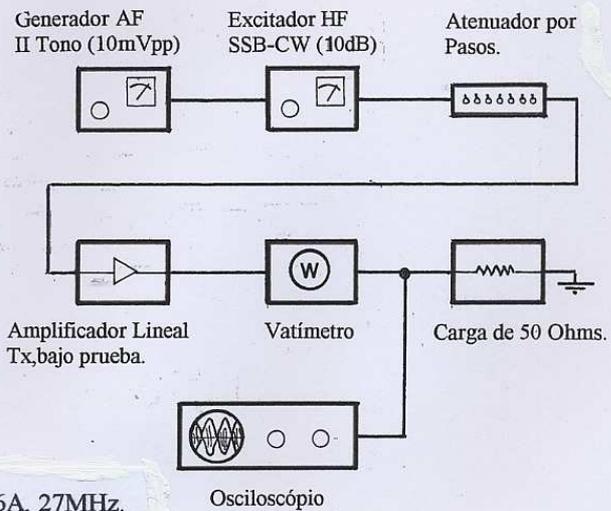


Figura N° 6: Transceptor HF multibanda para SSB y CW. Este equipo también de carácter experimental, incorpora un amplificador lineal en contratase (2x 2SC1972). Tenemos dos vistas del mismo, interior y exterior; en la vista interior arriba, aparece el panel posterior provisto de aletas de refrigeración y adosados al mismo aunque no se ven, están el amplificador lineal más los filtros LPF seleccionados estos por relés, todo el conjunto queda envuelto por un blindaje electrostático de Cu de 0,5 m/m. Hay que decir, que la aplicación de este conjunto como etapa de potencia y salida hacia la antena, cumple bien las prestaciones de un equipo QRP multibanda.

AMPLIFICADOR LINEAL EN CONTRAFASE (2x2SC1945)



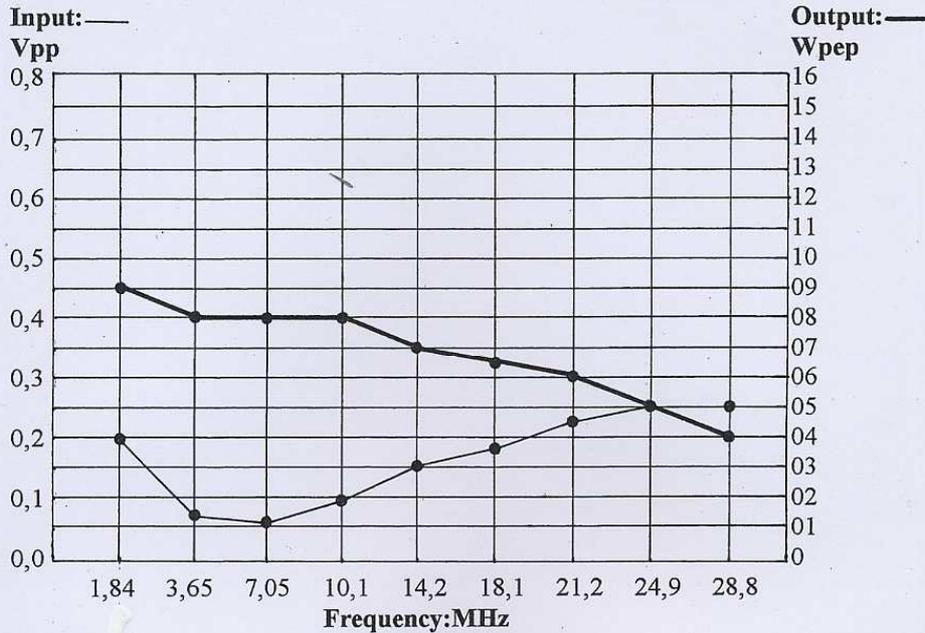
Freq Mhz	Input dBm	Input Vpp	Output Wpep
1,84	-09	0,223	13
3,65	-17	0,090	12
7,05	-14	0,125	12
10,1	-10	0,199	11
14,2	-05	0,335	09
18,1	-05	0,335	06
21,2	-03	0,446	05
24,9	0	0,632	04
28,8	1	0,709	2,5



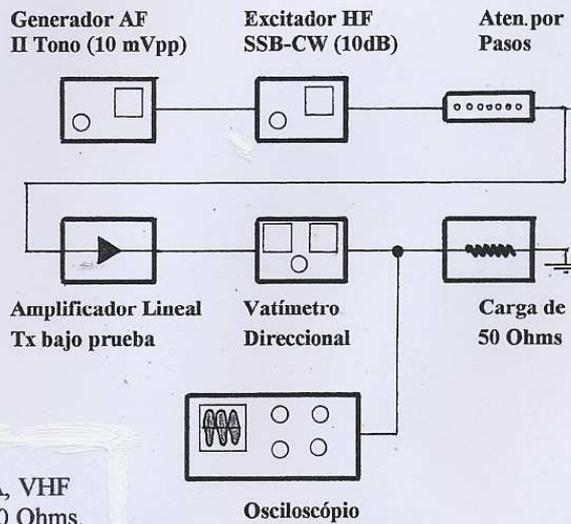
Notas: Transistor 2SC1945, NPN, 80V, 6A, 27MHz.
Resistencia de polarización "R", 135 Ohms.

Figura N° 7: Amplificador lineal HF multibanda transistorizado, con etapa final de 2x2SC1945. Representación gráfica, de la potencia de salida SSB en Wpep y de la señal de entrada en Vpp, para cada frecuencia o banda de HF. La potencia de salida es máxima, con mínima distorsión por intermodulación y saturación según control cualitativo. Además de la gráfica, se adjunta un listado de las frecuencias en MHz, lecturas en Vpp y equivalencias en dBm para cada nivel de salida en Wpep. También hay un diagrama, del dispositivo utilizado para conseguir estos resultados.

AMPLIFICADOR LINEAL EN CONTRAFASE (2x2SC1971)



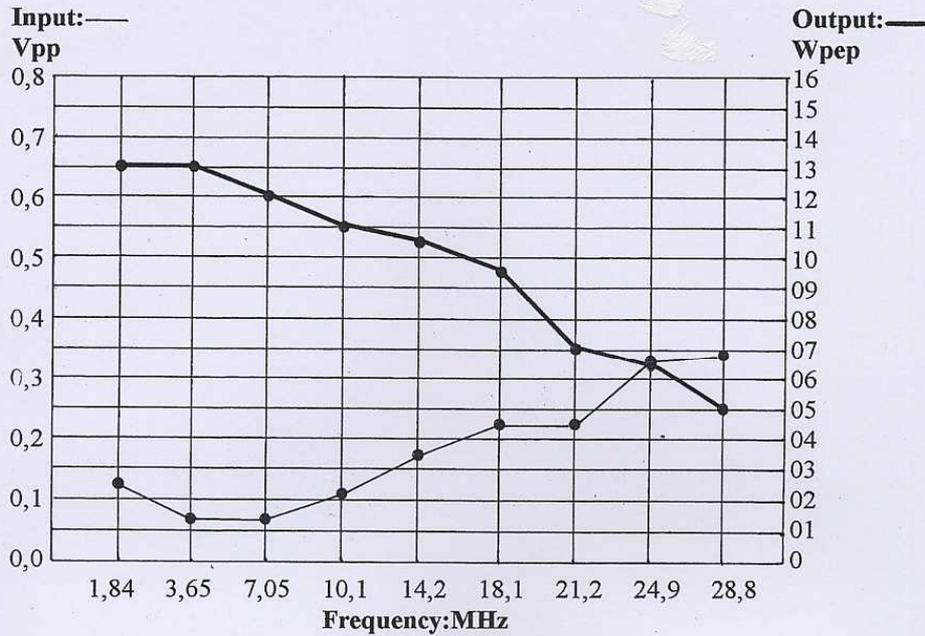
Freq MHz	Input dBm	Input Vpp	Output Wpep
1,84	-10	0,199	9,0
3,65	-19	0,070	8,0
7,05	-21	0,056	8,0
10,1	-16	0,099	8,0
14,2	-12	0,158	7,0
18,1	-11	0,177	6,5
21,2	-09	0,223	6,0
24,9	-08	0,251	5,0
28,8	-08	0,251	4,0



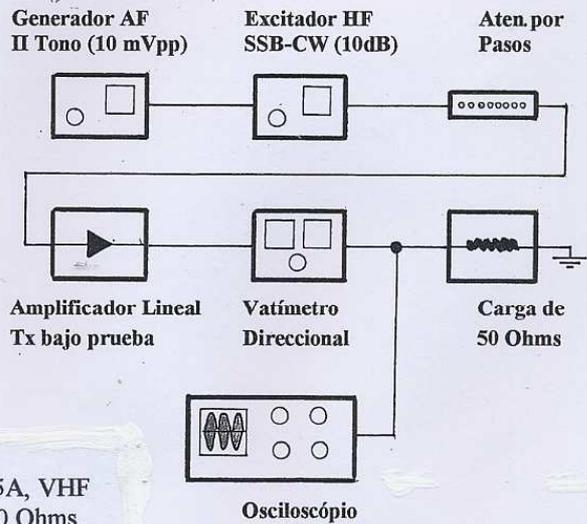
Notas: Transistor 2SC1971, NPN, 35V, 2A, VHF
Resistencia de polarización "R", 100 Ohms.

Figura N° 8: Amplificador lineal HF multibanda transistorizado, con etapa final de 2x2SC1971. Representación gráfica, de la potencia de salida SSB en Wpep y de la señal de entrada en Vpp, para cada frecuencia o banda de HF. La potencia de salida es máxima, con mínima distorsión por intermodulación y saturación según control cualitativo. Además de la gráfica, se adjunta un listado de las frecuencias en MHz, lecturas en Vpp y equivalencias en dBm para cada nivel de salida en Wpep. También hay un diagrama, del dispositivo utilizado para conseguir estos resultados.

AMPLIFICADOR LINEAL EN CONTRAFASE (2x2SC1972)



Freq MHz	Input dBm	Input Vpp	Output Wpep
1,84	-14	0,125	13
3,65	-19	0,070	13
7,05	-19	0,070	12
10,1	-15	0,111	11
14,2	-11	0,177	10,5
18,1	-09	0,223	9,5
21,2	-09	0,221	7,0
24,9	-05	0,335	6,5
28,8	-05	0,338	5,0



Notas: Transistor 2SC1972, NPN, 35V, 3,5A, VHF
Resistencia de polarización "R", 110 Ohms.

Figura N° 9: Amplificador lineal HF multibanda transistorizado, con etapa final de 2x2SC1972. Representación gráfica, de la potencia de salida SSB en Wpep y de la señal de entrada en Vpp, para cada frecuencia o banda de HF. La potencia de salida es máxima, con mínima distorsión por intermodulación y saturación según control cualitativo. Además de la gráfica, se adjunta un listado de las frecuencias en MHz, lecturas en Vpp y equivalencias en dBm para cada nivel de salida en Wpep. También hay un diagrama, del dispositivo utilizado para conseguir estos resultados.

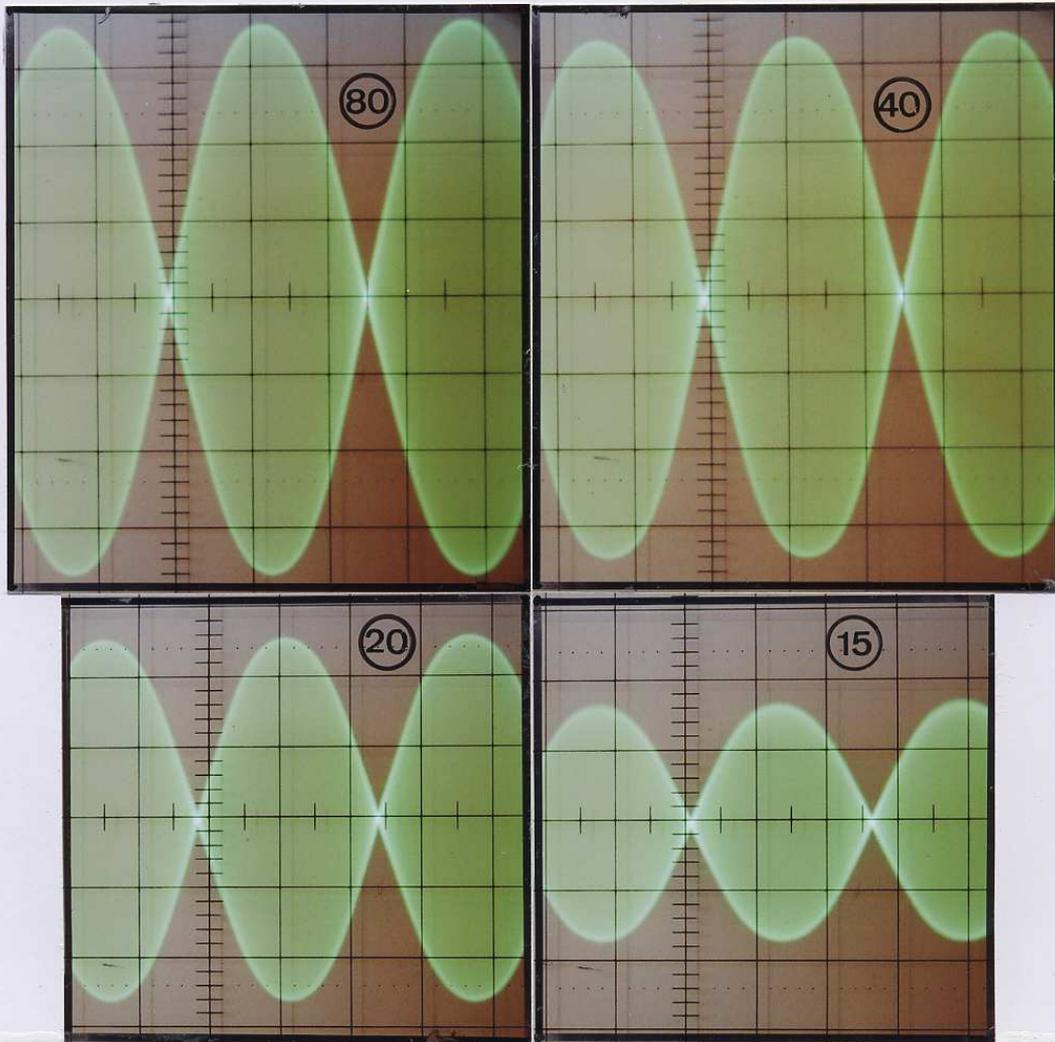


Figura N° 10: Prueba de doble tono, sobre el amplificador lineal HF multibanda (2 x 2SC1972) según la Figura N° 3. Este ensayo de carácter cualitativo, permite valorar el comportamiento dinámico del amplificador en lo que respecta, a distorsión por intermodulación y saturación, al trabajar a máxima potencia de salida en el modo SSB. Por razón de espacio, se indican los resultados de las cuatro bandas más representativas: 80, 40, 20 y 15 Metros, con potencias de: 12, 11, 9 y 7 W_{pep} respectivamente. Recuerdese que en este tipo de ensayos se valoran, la intersección central en forma de "X" de las envolventes la cual, debe de ser óptima y también, el no achatamiento de las cúspides de las envolventes superior e inferior, todo ello es una indicación visual, de polarización correcta sin sobrecarga a máxima señal y en el centro de cada banda. El dispositivo utilizado, es el que se indica en las Figuras N° 7, 8 y 9, el osciloscopio es de 20 MHz (-3 dB) y la sensibilidad vertical es de 10V / cm al utilizar una sonda atenuadora 10:1.

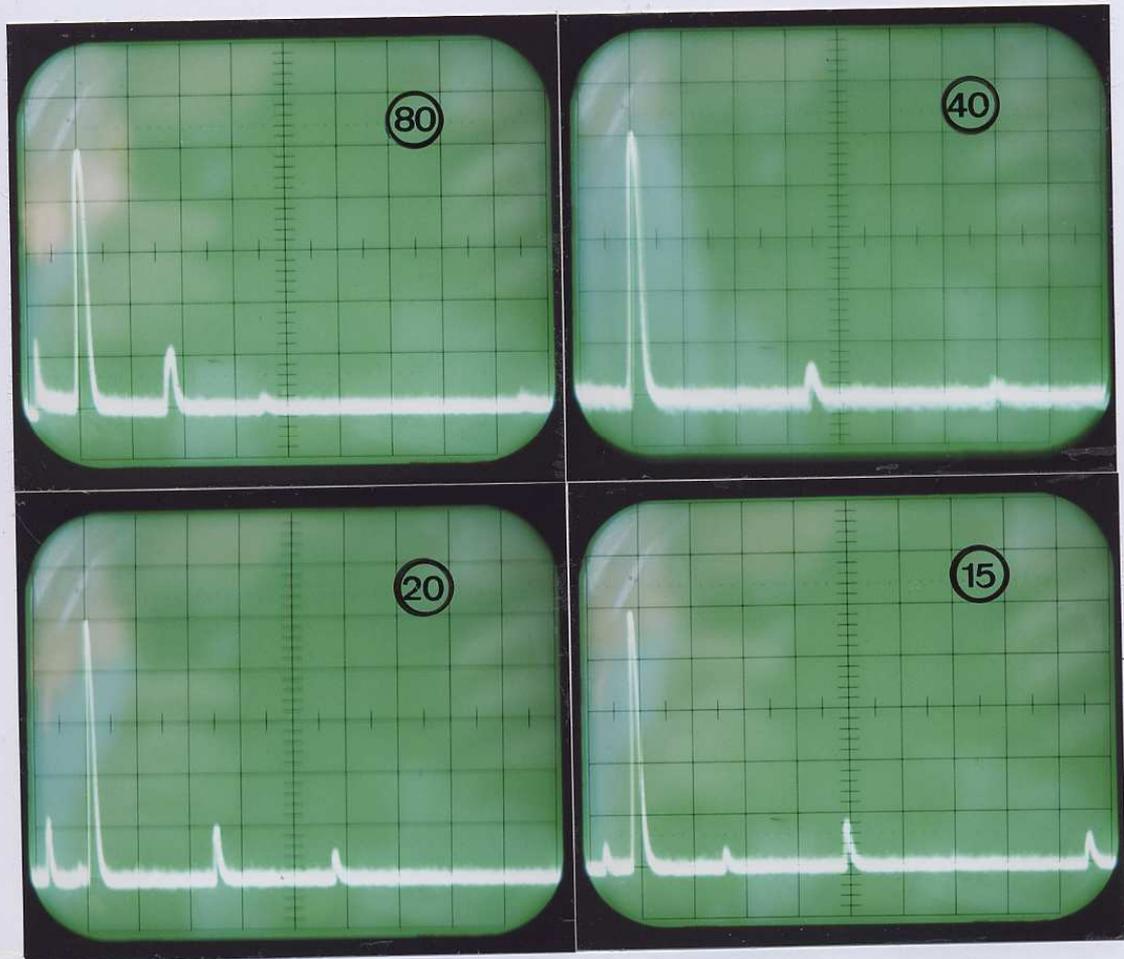
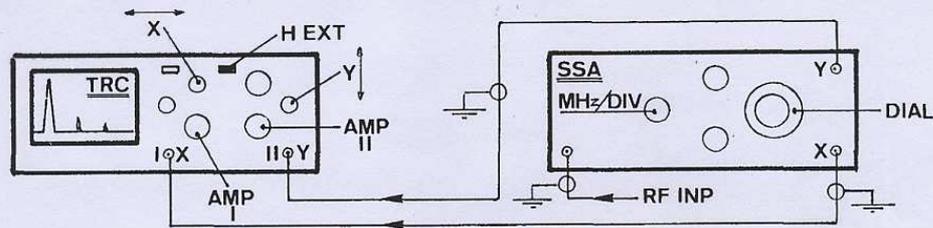


Figura N° 11: Prueba de respuesta armónica del amplificador lineal HF multibanda (2 x 2SC1972) según la Figura N° 3. Ensayo de carácter cuantitativo, que permite valorar a la salida de dicho amplificador, el nivel en dB del segundo y tercer armónico con respecto a la señal fundamental, a potencia máxima y modo CW. Aquí también se indican los resultados, en el punto central de las bandas más representativas: 80, 40, 20 y 15 Metros con potencias máximas de: 12, 11, 9 y 7 W respectivamente. Para hacer este ensayo, se ha utilizado un analizador de espectro para HF, un osciloscopio de servicio y el amplificador lineal bajo prueba, con un acoplador direccional de muestreo. Para poder valorar la gráfica en pantalla del TRC, se ha establecido la amplitud vertical (Y) en 10 dB/cm y la deflexión horizontal (X), de manera aproximada con respecto a las bandas de: 80 y 40 Metros en 2 MHz/cm y 20 y 15 Metros en 5 MHz/cm. Después de los resultados se puede observar, que en todas las bandas el segundo armónico, está a -40 dB de la señal fundamental y el tercer armónico queda por debajo con lo cual, la respuesta armónica de este amplificador, se puede considerar correcta. Añadir que este análisis preliminar en un amplificador de potencia, es necesario para constatar el recorte de los productos no deseados de orden superior.



Amplitud TRC vertical II (Y): 0,1 V/cm. Amplitud TRC horizontal I (X): 0,1 V/cm.
Deflexión horizontal TRC: Exterior. TRC: Osciloscopio HAMEG HM 203.

Frec. MHz	Frecuencia fundamental y ancho de exploración MHz/cm, según dial de 0 a 999.					
	10 MHz/cm	5 MHz/cm	2 MHz/cm	1 MHz/cm	0,5 MHz/cm	0,2 MHz/cm
2	950	768	630	585	565	550
5	930	757	625	579	553	542
10	920	740	608	563	539	524
20	910	737	580	531	503	489
30	892	718	550	501	472	451
40	880	707	530	475	444	425
50	865	690	507	446	415	395
60	845	658	469	395	374	358
70	815	552	384	300	287	283

Márgen de frecuencia SSA: de 1 a 75 MHz. Máxima señal RF de entrada SSA: - 40 dBm.
Simple Spectrum Analyser (SSA), Radio Communication 11-89. Francisco Ortiz, EA3-RN.
Nota: Las frecuencias fundamentales son orientativas. Modificado: EA3-EIS, 18-02-06.

Figura N°11 (B): Sistema utilizado para efectuar la prueba de respuesta armónica del amplificador lineal HF transistorizado. En primer lugar tenemos, un analizador de espectros o SSA (Simple Spectrum Analyser) que efectivamente es simple y limitado en frecuencia (75 MHz) pero efectivo; interconectado este a un osciloscopio de servicio, con entradas de señal X-Y posicionables en pantalla del TRC mediante los mandos de centrado y pulsada la tecla de barrido exterior, es suficiente. Con esta disposición y previos ajustes para cada una de las bandas en el SSA, se puede visualizar en la pantalla graduada del osciloscopio, el análisis de la señal fundamental, el segundo y el tercer armónico de una determinada frecuencia, en cada una de las bandas como queda indicado en la figura anterior. La entrada máxima de señal de RF en el SSA (-40 dB), es un condicionante muy importante pues no hay que olvidar, que un analizador de espectros es en síntesis, un receptor con un sistema de escaner automático de todo el ancho de exploración a realizar y la entrada de señal de RF, representa la entrada de antena de esta especie de receptor y para ello, habrá que acomodar esta amplitud limitada, mediante los atenuadores de 10 y 20 dB de que dispone el SSA. Si se trata de analizar una señal de entrada de mayor amplitud como puede ser la de este amplificador lineal, será necesario el utilizar un sensor o acoplador direccional con un factor de acoplamiento de 30 dB o sea, con una atenuación añadida sobre la entrada de RF del SSA de unos 30 dB. Este sería el principio de funcionamiento del SSA, asociado a un osciloscopio como visualizador de la respuesta armónica de un amplificador lineal HF.

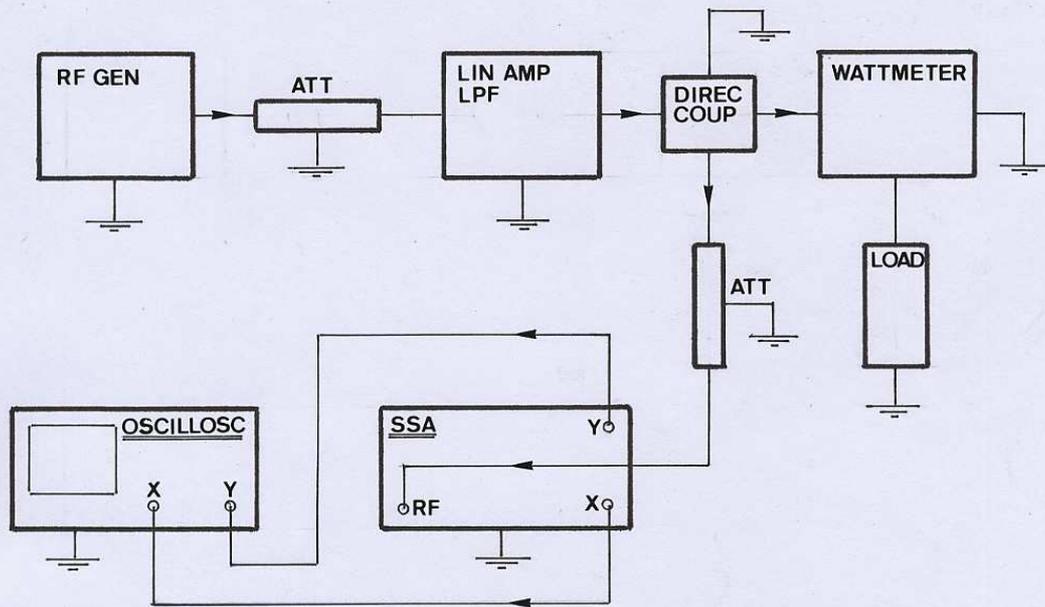


Figura N°11(C): Sistema general de interconexión y disposición, para comprobar la respuesta armónica de un amplificador lineal multibanda HF. Partimos de un generador de RF capaz de entregar a la salida 20 mW, +13 dBm constantes, con un rango de frecuencia de 0,1 a 160 MHz y con una impedancia de salida de 50 Ohms; un atenuador por pasos de 80 o 100 dB máximo y 50 Ohms de impedancia; el amplificador lineal multibanda HF con filtros LPF bajo prueba y cuya potencia máxima no sobrepase los 100 W; el acoplador direccional que ha de permitir extraer la señal de muestra sin afectar para nada la condición normal de trabajo, al estar intercalado en la línea de alimentación de 50 Ohms; un vatímetro direccional, para controlar la potencia de salida a disipar sobre una carga artificial de 50 Ohms LOAD. La salida de muestreo del acoplador direccional, va hacia otro atenuador por pasos de las mismas características que el anterior y hacia la entrada de RF del analizador SSA el cual, interconectado con el osciloscopio de servicio por las vías X -Y, permitirá visualizar en la pantalla reticulada del TRC el resultado del ensayo. La interconexión entre los distintos aparatos y accesorios que forman el sistema, se hace por cable coaxial de 50 Ohms y conectores BNC y PL.

T1: Núcleo FT50-43, 30 esp 0,4.
R: Resist. 45 Ohms total y 2 W.
Notas: Los conectores Tx y Load son PL y el de Sample es BNC.
 El blindaje entre los conectores y el transformador T1, es estanco de plancha de zinc y todo el conjunto queda dentro de una caja de alum del mercado med: 90x60x30 m/m.

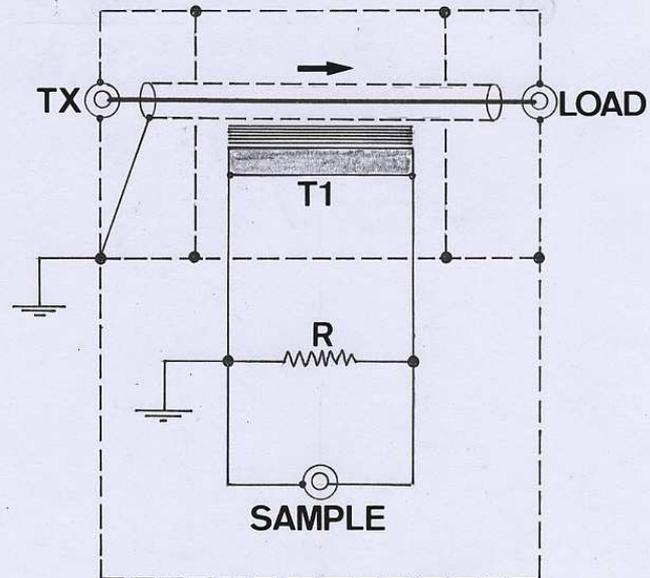


Figura N°11 (D): Esquema del acoplador direccional, utilizado para extraer una muestra de señal de un amplificador lineal HF multibanda y ser sometida a un análisis de la respuesta armónica. Básicamente consiste en un transformador de intensidad cuyo devanado primario, estaría formado por una sola espira representada por una pequeña porción de la línea de transmisión entre el amplificador lineal y la carga de 50 Ohms, esta espira estaría acoplada inductivamente mediante un núcleo de ferrita toroidal, a otro devanado secundario de 30 espiras entre extremos del cual, tendríamos una señal cuya tensión es inversamente proporcional al número de espiras dando como resultado, un factor de acoplamiento de 30 dB entre primario y secundario, lo cual equivale a decir que la señal en el secundario, estaría unos 30 dB por debajo de la potencia nominal que transcurre por el primario de T1 del amplificador lineal HF multibanda hacia la carga de 50 Ohms. A título de ejemplos, en el caso de una potencia de 100 W, correspondería una señal de muestra de 100 mW y en el de 10 W sería de 10 mW; ambas potencias de muestreo, se pueden aplicar sin problemas de disipación sobre el atenuador por pasos que antecede la entrada del analizador SSA. La resistencia resultante de carga de 45 Ohms en paralelo con el secundario de T1, acentúa una respuesta plana en frecuencia del sensor que va de 1 a 90 MHz (1 dB).