

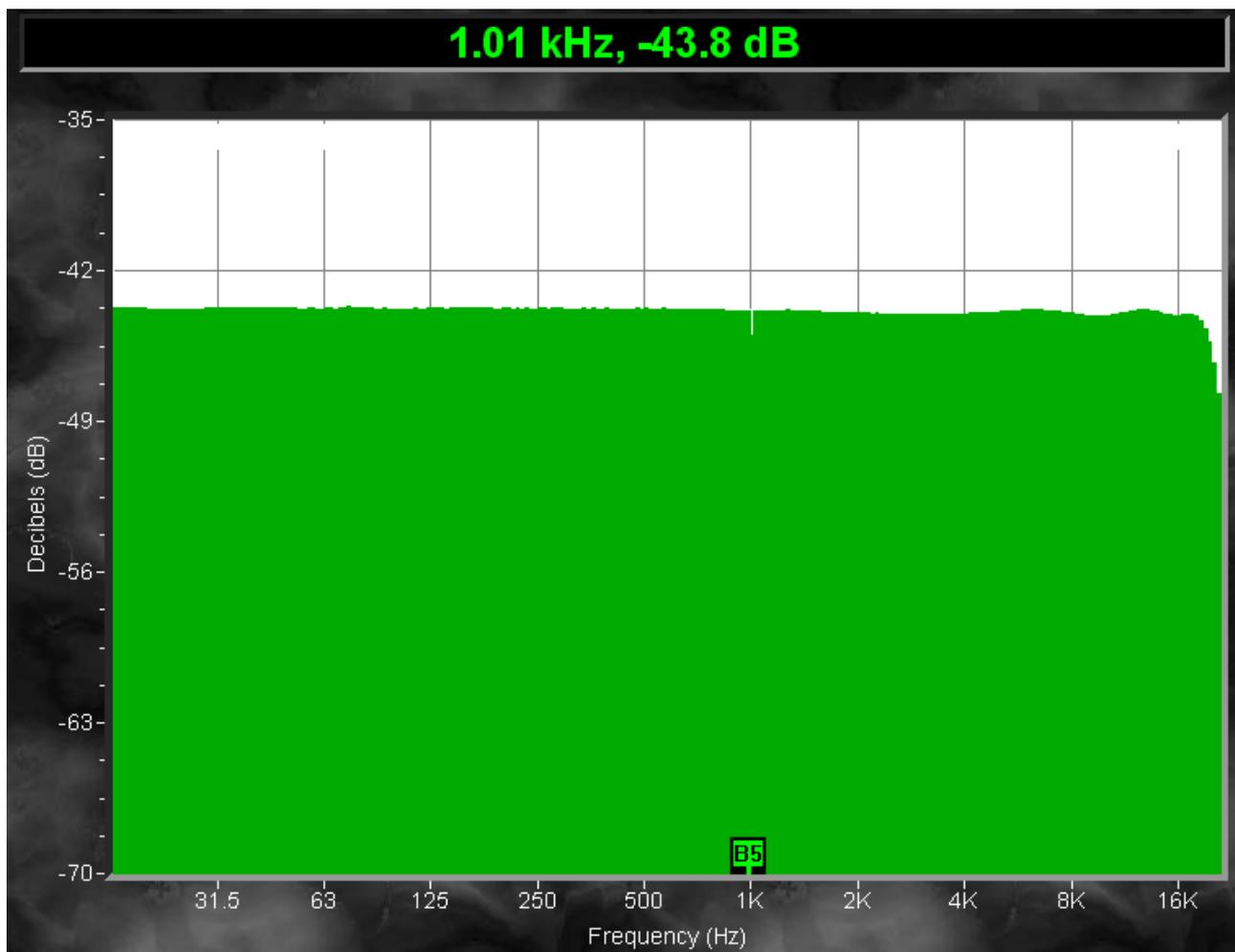
3.- Simulaciones y mediciones

3.1- Medidas iniciales

En este apartado se van a exponer los comportamientos esperados de las distintas partes del sistema utilizando simulaciones realizadas con MicroCap y se van a contrastar con mediciones realizadas directamente en el proyecto para ver hasta que punto la realización práctica del equipo cumple con los objetivos de diseño que se marcaron en un principio.

Para la realización de las mediciones se ha utilizado un pseudogenerador de ruido blanco por software que se usa normalmente para la prueba de amplificadores, filtros y altavoces llamado winisd, este programa se puede encontrar en el cdrom de documentación en la carpeta Programas, y es de uso libre y gratuito.

En cuanto a la medición en si, se ha usado el programa Smartlive 5, que entre otras opciones incluye un analizador de espectro para la banda de audio, que nos representa la señal medida en decibelios y en escala logarítmica de frecuencia la onda medida. El programa usa una implementación de la transformada rápida de fourier para estimar la medición del espectro, pero usa una muestra la suficientemente grande para poder considerar la medida como fiable. De hecho si se observa la siguiente curva que se obtiene de medir directamente la señal de ruido blanco se ve como la medición se ajusta perfectamente a lo que esperábamos incluso a frecuencias muy bajas.

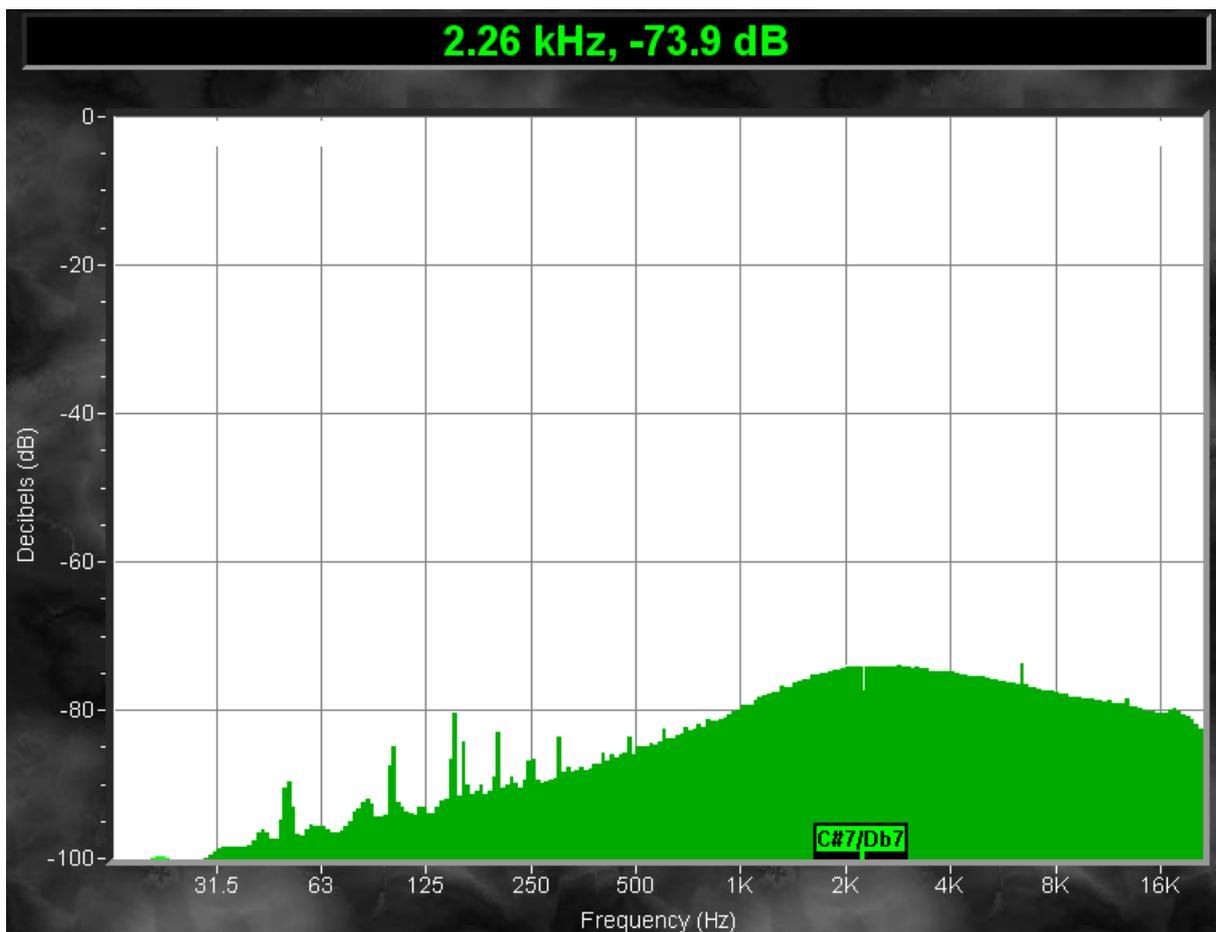


Se puede observar sin embargo una irregularidad en la parte de alta frecuencia donde hay una caída repentina del nivel de señal. Esto era de esperar ya que la muestras frecuencia de muestreo del equipo es de 48.000 Hz lo que hace provoca esa caída por efecto del aliasing. Este efecto lo encontraremos en todas las curvas siguientes, pero no se tendrá en cuenta por tratarse de un efecto producido por el aparato de medida y externo al mezclador.

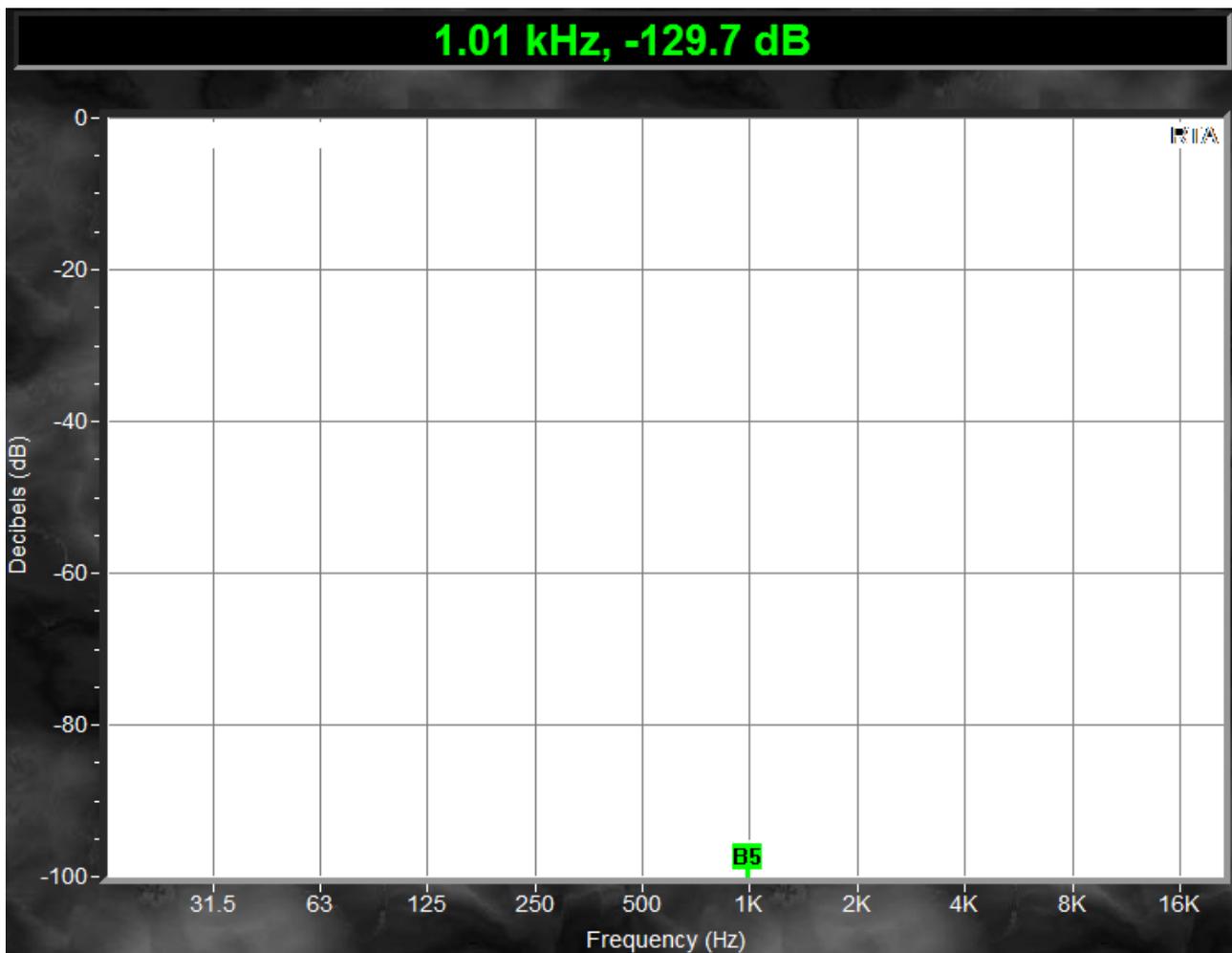
Esta señal será la que se use en adelante siempre y cuando no se especifique lo contrario como señal de entrada a nuestro equipo, y por lo tanto será la referencia a tomar para analizar las curvas a la salida del mezclador. Podemos ver que la señal que se toma tiene un nivel de -43.8dB. Esto se ha tomado así por dos razones. La primera es el situarnos en mitad del rango dinámico del sistema ya que si me coloco en el máximo de señal que me permite el equipo, cuando aplique ganancias de en torno a los 10dB que me permiten los ecualizadores la señal se saturará y por lo tanto las medidas no serán válidas ya que no representarán el comportamiento del equipo. Por otro lado como ya hemos comentado anteriormente los amplificadores operacionales que se han usado no son rail to rail, por lo que no solo no serán capaces de proporcionar señales de salida de 5V de amplitud, sino que su salida se limitará en torno a los 2V de amplitud de pico a pico sin producir distorsiones importantes, por lo que se ha introducido una señal pequeña para evitar deformaciones y recortes en la onda.

Teniendo esto en cuenta se ha pasado a medir el ruido que tenemos a la salida del equipo con las entradas al aire en dos situaciones, la primera con los ecualizadores y el control de volumen en posición de máxima ganancia, y la segunda con todos los controles en mínima ganancia.

Primer caso:

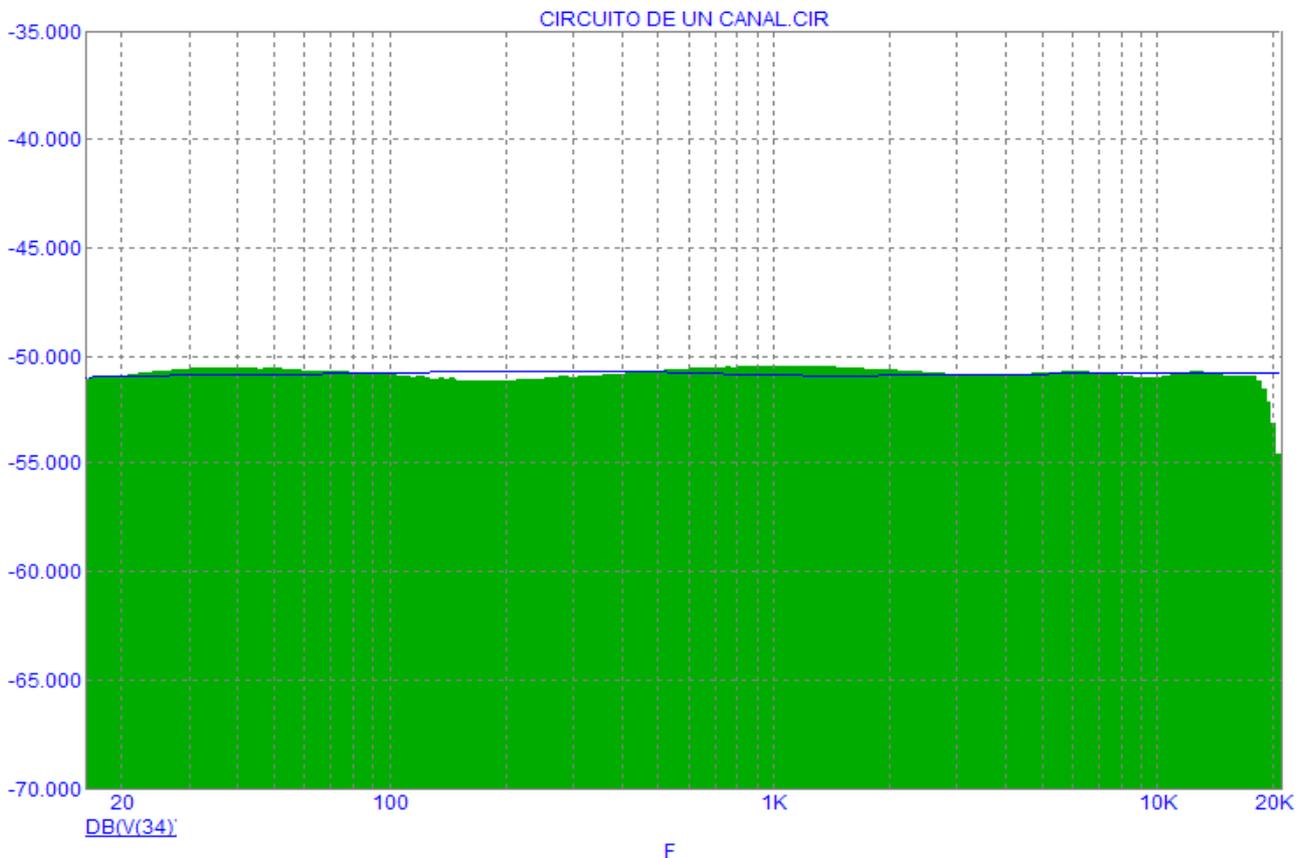


Segundo caso:



Vemos que el ruido en el primer caso tiene su máximo en -80dB que es una cifra bastante buena, pero que en ciertas situaciones, como por ejemplo la existencia de decenas de canales, puede resultar demasiado alto. Pero se observa que en el segundo caso el ruido existente está rondando los -130dB que ya es una cifra más que aceptable para un mezclador analógico. De todos modos esta cifra debe tomarse con cautela ya que las mediciones están tomadas con un convertidor analógico digital de 16bits de precisión lo que nos da un límite de medición teórico de -98.1dB, por lo que al menos sabemos que el límite de señal rondará los -100dB. Por lo que es importante que mantengamos los controles en máxima atenuación cuando no vayamos a utilizar alguno de los canales disponibles para evitar aumentar la cantidad de ruido que tenemos a la salida.

Introduciendo la señal de ruido blanco a la entrada de sonido y colocando los potenciómetros de manera que se obtenga una señal lo más plana posible tenemos la siguiente curva:



En la curva anterior podemos ver en azul el resultado de simular el circuito y en verde la medición sobre el circuito original, se puede ver que la curva que se obtiene no es totalmente plana aunque esto tampoco se llega a conseguir en la simulación. El nivel medio de la curva es de -51.1dB y las variaciones sobre este nivel son en el peor de los casos de 0.3dB , lo que representa unas variaciones de nivel totalmente inaudibles para el oído humano. Hay que tener en cuenta que al ser los pasos de los controles discretos, es difícil tener una curva totalmente plana ya que entre paso y paso hay diferencias apreciables en la señal puesto que solo hay 64 posiciones posibles para cada potenciómetro.

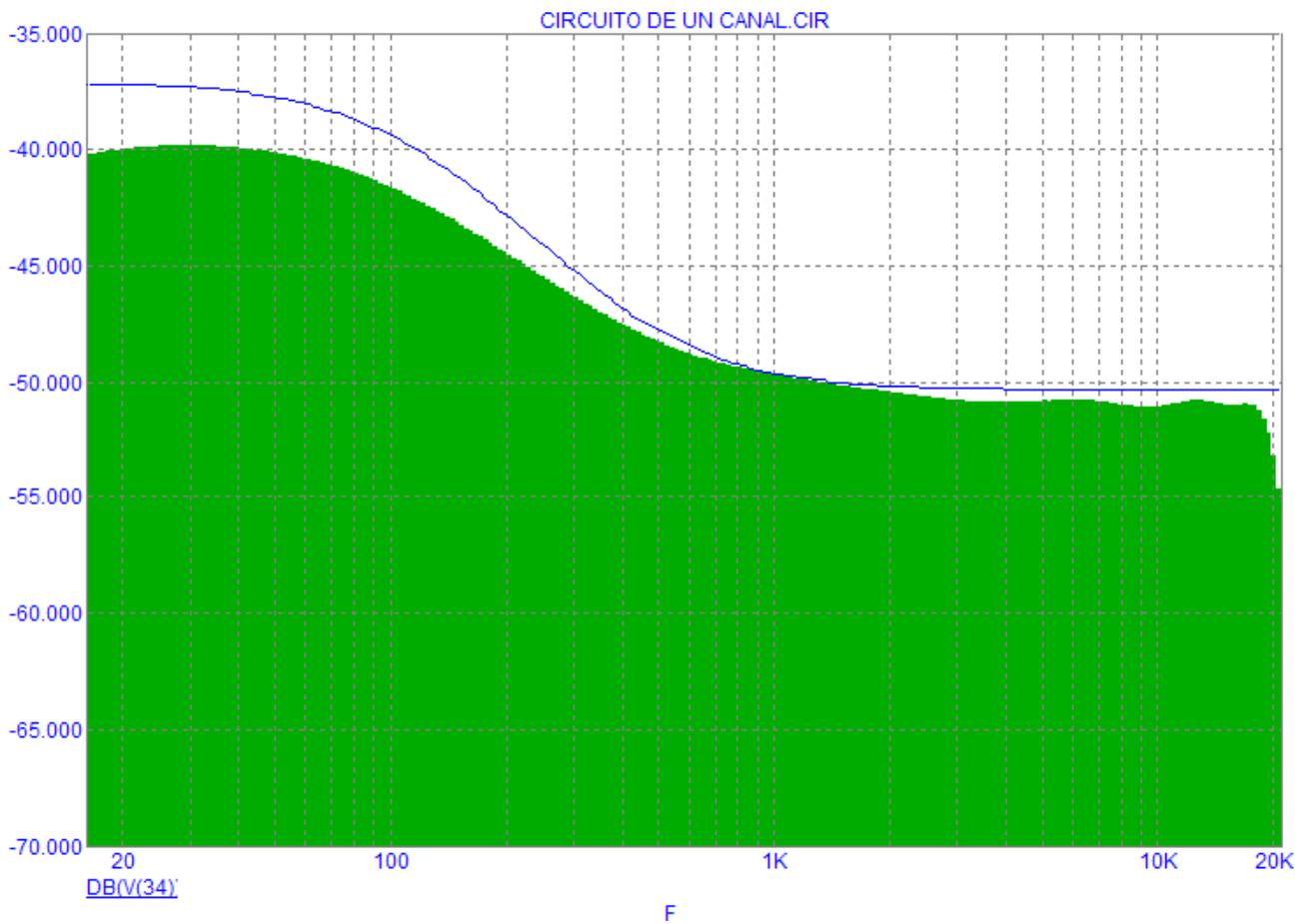
También podemos ver que la señal ha sufrido una atenuación de 7dB con respecto a la señal de entrada, esto como ya se explicó anteriormente, se debe a que se sustituyeron algunas resistencias por otras de distinto valor de modo que se tuviera una atenuación para evitar que saturasen los operacionales en etapas intermedias del filtrado. También contribuye a este efecto el hecho de que cada potenciómetro digital tiene una resistencia parásita que es muy variable según el datasheet del integrado y que dependiendo del caso podría llegar a valer hasta $1\text{k}\Omega$ añadiendo atenuaciones al camino de señal. Se ha introducido cambios en el circuito simulado con respecto al original para simular esta atenuación pero sin modificar la forma de la curva para poder comparar la forma de ambas curvas, tanto en esta gráfica como en las siguientes

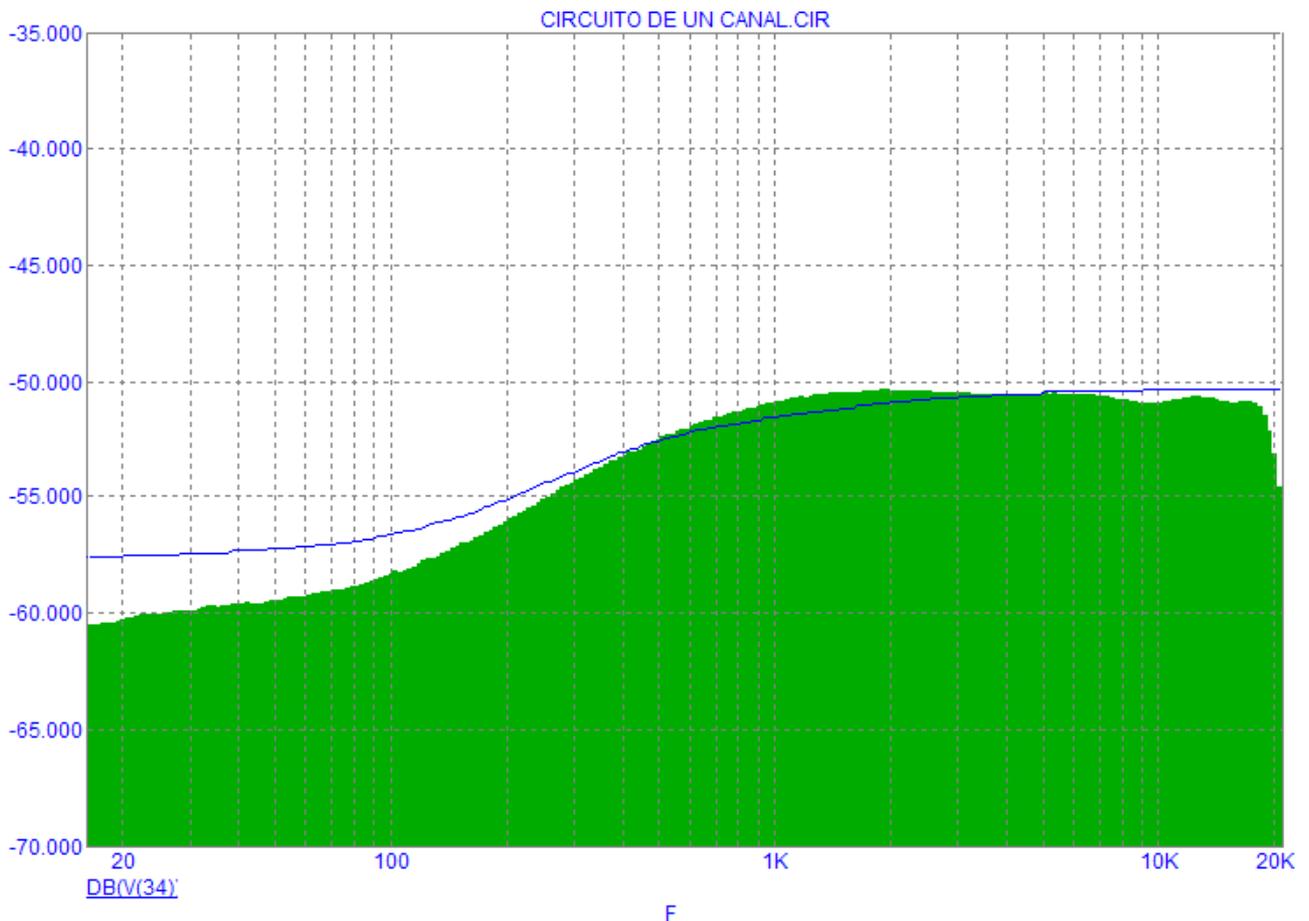
En cuanto al control de volumen este es capaz de ofrecer una atenuación máxima de 42.6dB , frente a los 63dB que según el fabricante sería posible obtener del dispositivo. Los datos que aparecen en el datasheet del integrado no parecen del todo coherentes a tenor de los resultados tanto medidos como simulados ya que en el datasheet se afirma que entre los pines del potenciómetro hay $45\text{k}\Omega$ de resistencia y si simulamos el circuito con una resistencia de este valor nos encontramos con que la atenuación que proporciona el circuito es de 33dB y que para obtener 42dB la resistencia disponible en el integrado debería ascender a los $100\text{k}\Omega$ al menos. Por otro lado los saltos de volumen en cada paso del circuito están equiespaciados en dB si bien no en saltos de 1dB por tener el circuito menor atenuación.

3.2- Ecuador de Graves y agudos

El ecualizador de graves y agudos como ya se vio anteriormente está basado en una red clásica de Baxendall pasiva que es capaz de dar unos 6dB de atenuación y amplificación sin modificar apreciablemente la señal en las frecuencias en las que no actúa que ha sido modificada mediante la introducción de transistores bipolares en activa para conseguir aumentar la amplitud de la ecualización y evitar pérdidas en el nivel de la señal.

A continuación podemos ver los resultados de las simulaciones y las medidas realizadas modificando el potenciómetro del control de graves:



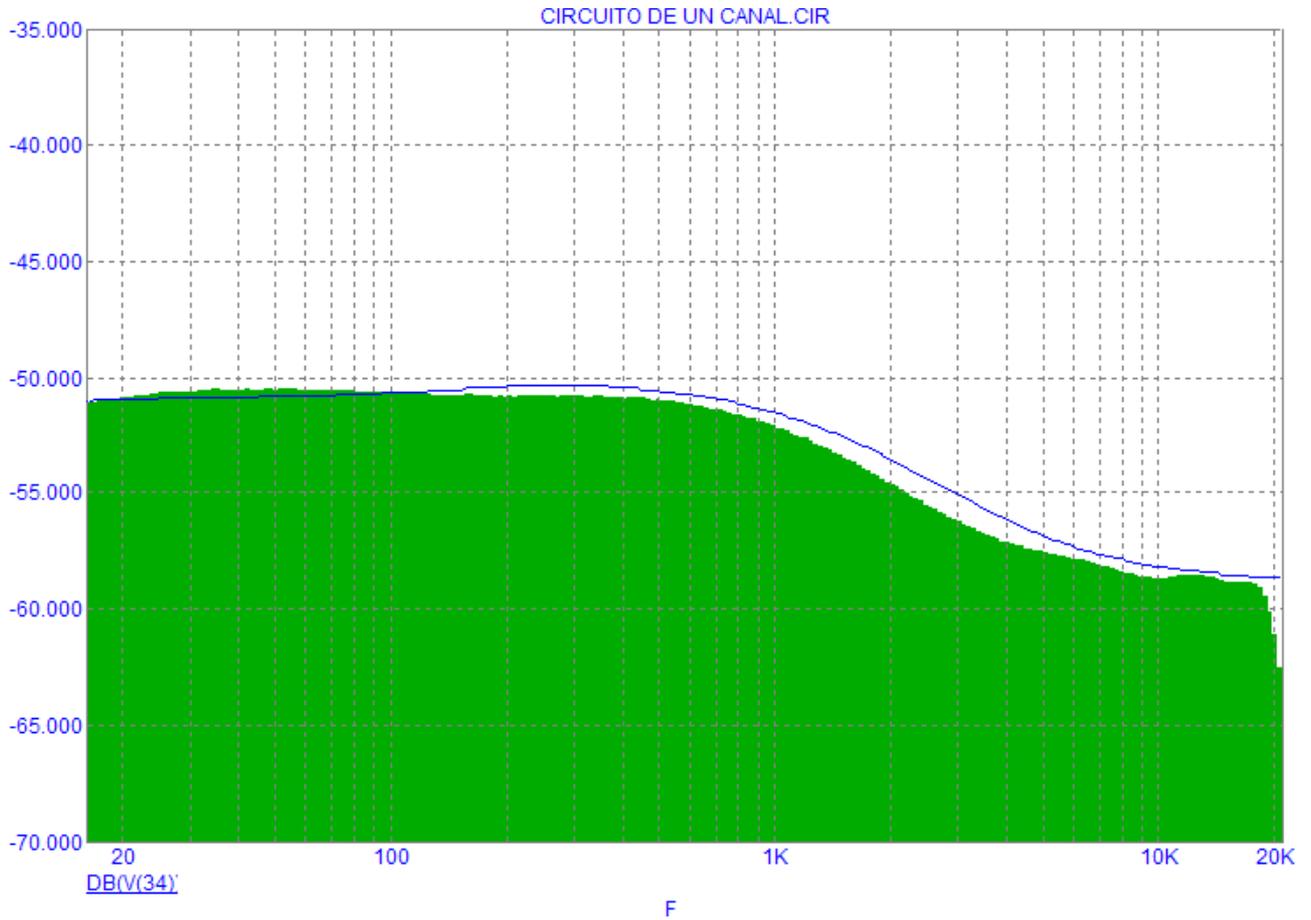
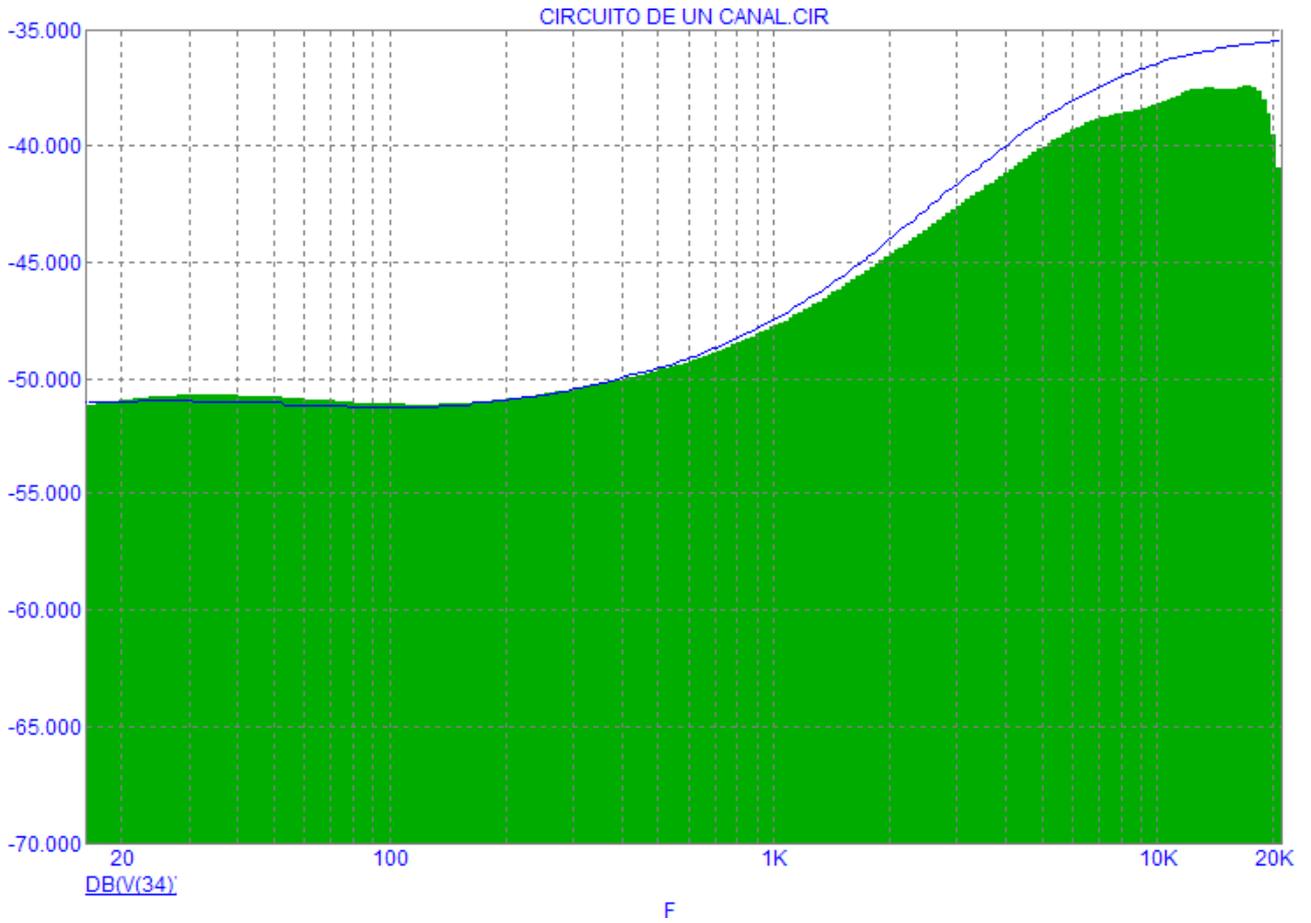


Al igual que en gráficas anteriores, la línea azul representa la curva teórica y la curva verde de la medición realizada, vemos que la curva se ajusta aproximadamente a la curva teórica teniendo una ganancia y una atenuación de 10 dB centrada sobre la curva original en sus posiciones extremas. La curva teórica marcaba sin embargo una ganancia máxima de 13,5dB y una atenuación de 6,5dB, por lo que el rango dinámico del ecualizador es el mismo, pero este se ha desplazado ligeramente del lado de la atenuación resultando un ecualizador más centrado en la curva original que el teórico.

Hay que recalcar que las dos curvas mostradas son evidentemente las que más difieren de la curva teórica, ya que a medida que nos acercamos a la posición de reposo, en la que como ya hemos visto las curvas se encuentran prácticamente superpuestas, la respuesta teórica y práctica se van pareciendo más.

En cuanto a las curvas intermedias, al ser el potenciómetro logarítmico, el modo en el que está conectado hace que existan más posiciones de este que correspondan la parte en que se amplifican las bajas frecuencias que posiciones en las que se atenúen. De hecho tan solo 4 las 4 primeras posiciones atenúan la señal y el resto la amplifican.

A continuación tenemos las curvas correspondientes al ecualizador de agudos:



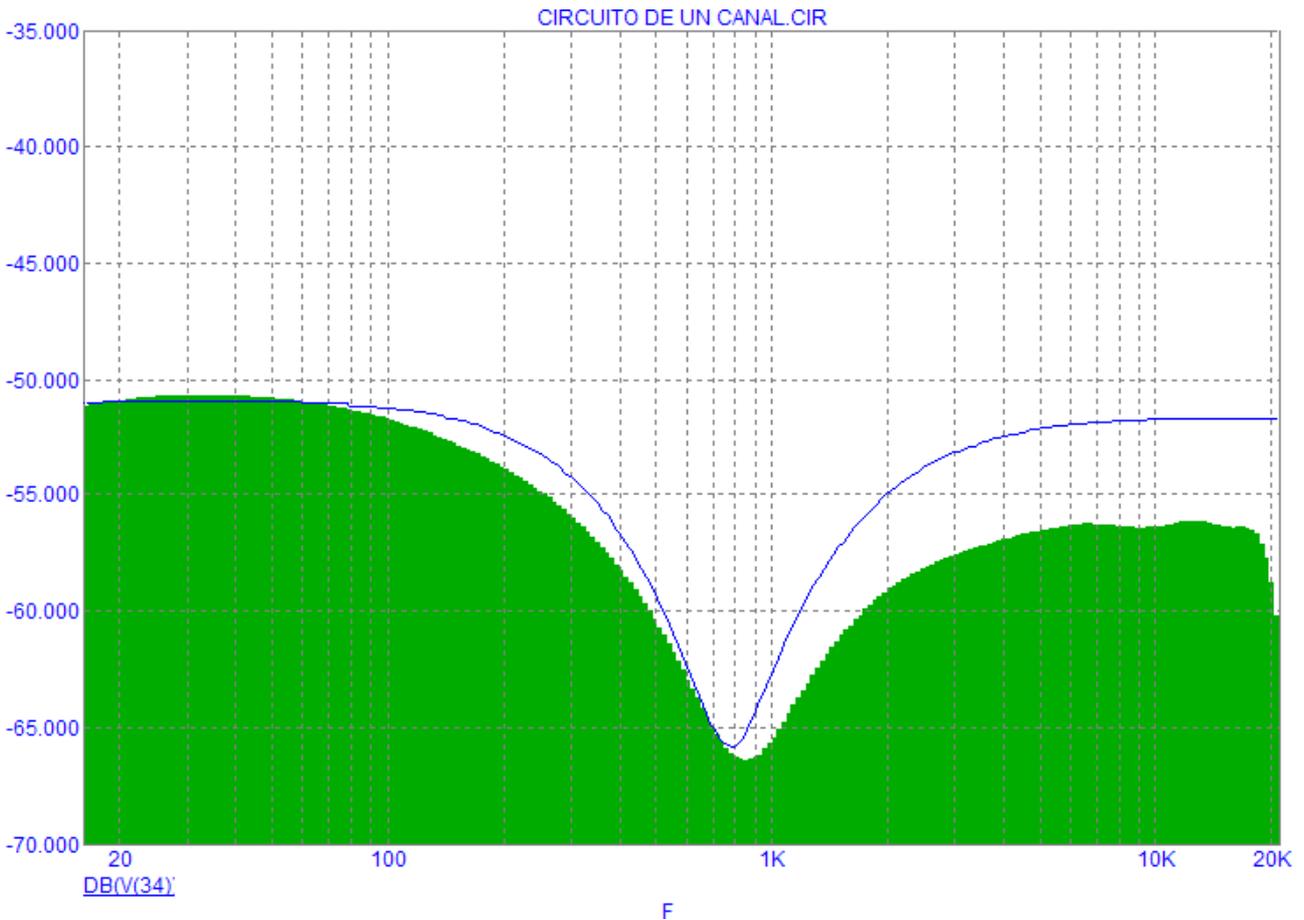
Al igual que en la parte de baja frecuencia, la primera gráfica muestra la respuesta del circuito con el control dispuesto en máxima ganancia, y la segunda corresponde a máxima atenuación. Vemos que esta sección del ecualizador resulta aún más fidedigna a la curva teórica del anterior, obteniéndose una ganancia máxima de 12.5dB y una atenuación máxima de 8dB. Este ecualizador si se compara con otras realizaciones de una red de bandpass se puede ver que se ha actuado en frecuencias más altas de lo usual para no interferir demasiado con el ecualizador de medias frecuencias, ya que es importante que cada control actúe sobre una zona determinada del sonido para que sea más sencillo de conseguir el sonido deseado al ser los controles más independientes unos de otros.

En cuanto al efecto de la curva logarítmica del potenciómetro al ser esta parte muy similar a la de baja frecuencia, sucede el mismo efecto de tener más posiciones correspondientes a amplificación que a atenuación.

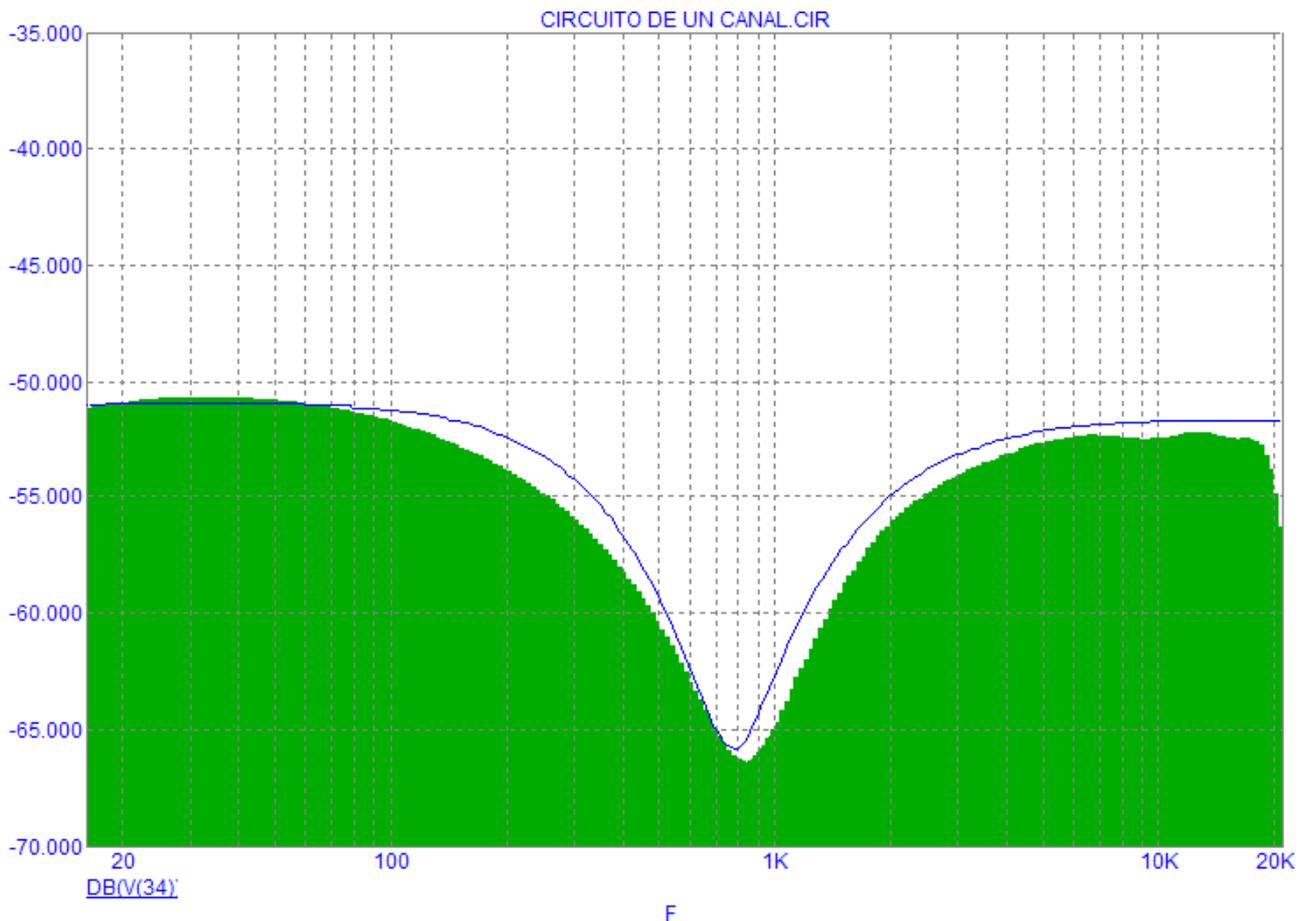
3.2- Ecuador de medios

El ecualizador que tenemos a continuación es un ecualizador de tipo paramétrico mucho más complicado de utilizar que los controles anteriores pero a la vez más potente. Sin embargo parte de la dificultad de uso que tiene será eliminada por el uso del ordenador como veremos a continuación. Este ecualizador permite actuar sobre tres parámetros: la ganancia, Q o la anchura de actuación, y la frecuencia central.

A continuación vemos el efecto de modificar la ganancia del ecualizador:



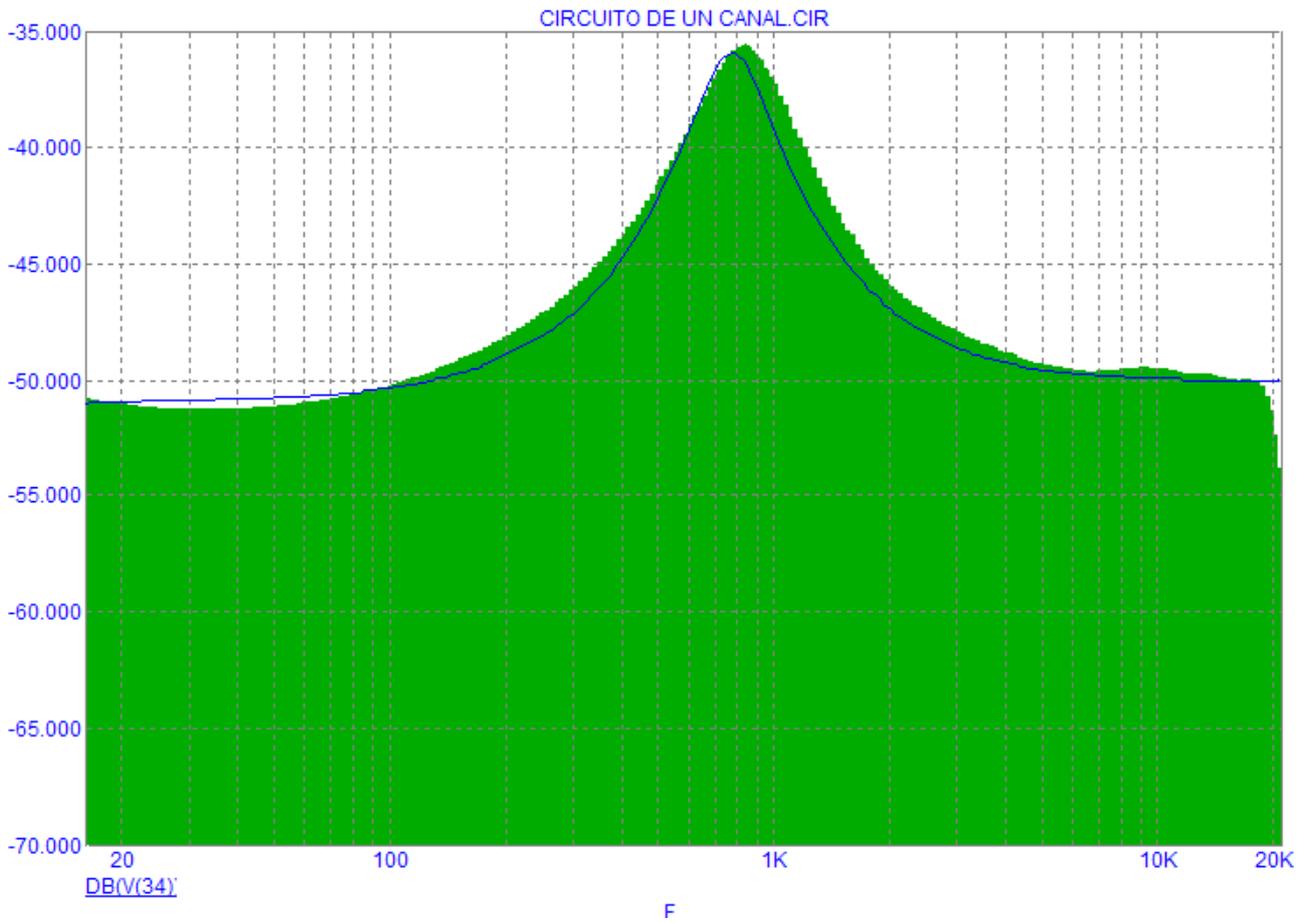
La curva anterior corresponde a tener el control en máxima atenuación con una anchura media y frecuencia de actuación al mínimo. La frecuencia central está en torno a los 800Hz, ligeramente superior a la teórica pero muy cercana a esta. Hay un efecto que no se ve en la curva teórica y es la gran atenuación sufrida en las altas frecuencias, en torno a los 6dB. Esto se debe a la interacción entre las distintas impedancias que conforman esta sección del ecualizador y es difícilmente corregible. Esta atenuación afectará de una forma muy fuerte al sonido que obtendremos de esta parte del mezclador, sin embargo podemos aprovechar otras partes del circuito para corregir esto. En la siguiente gráfica podemos observar la curva corregida:



Ahora la nueva curva es muy similar a la curva teórica, y la calidad del sonido obtenido por lo tanto es muy superior. Para corregir este efecto, tan solo hemos aumentado la ganancia del ecualizador de agudos proporcionalmente a la atenuación seleccionada en la parte de medios. Esto que en principio se ha realizado de un modo manual, se ha implementado en el software, de modo que el usuario final no tiene que estar aplicando estas correcciones, lo que representa una clarísima ventaja frente al un mezclador tradicional en el que resultaría inviable este tipo de calibración, y en el que el usuario debería corregir las intromisiones de un filtro de modo intuitivo.

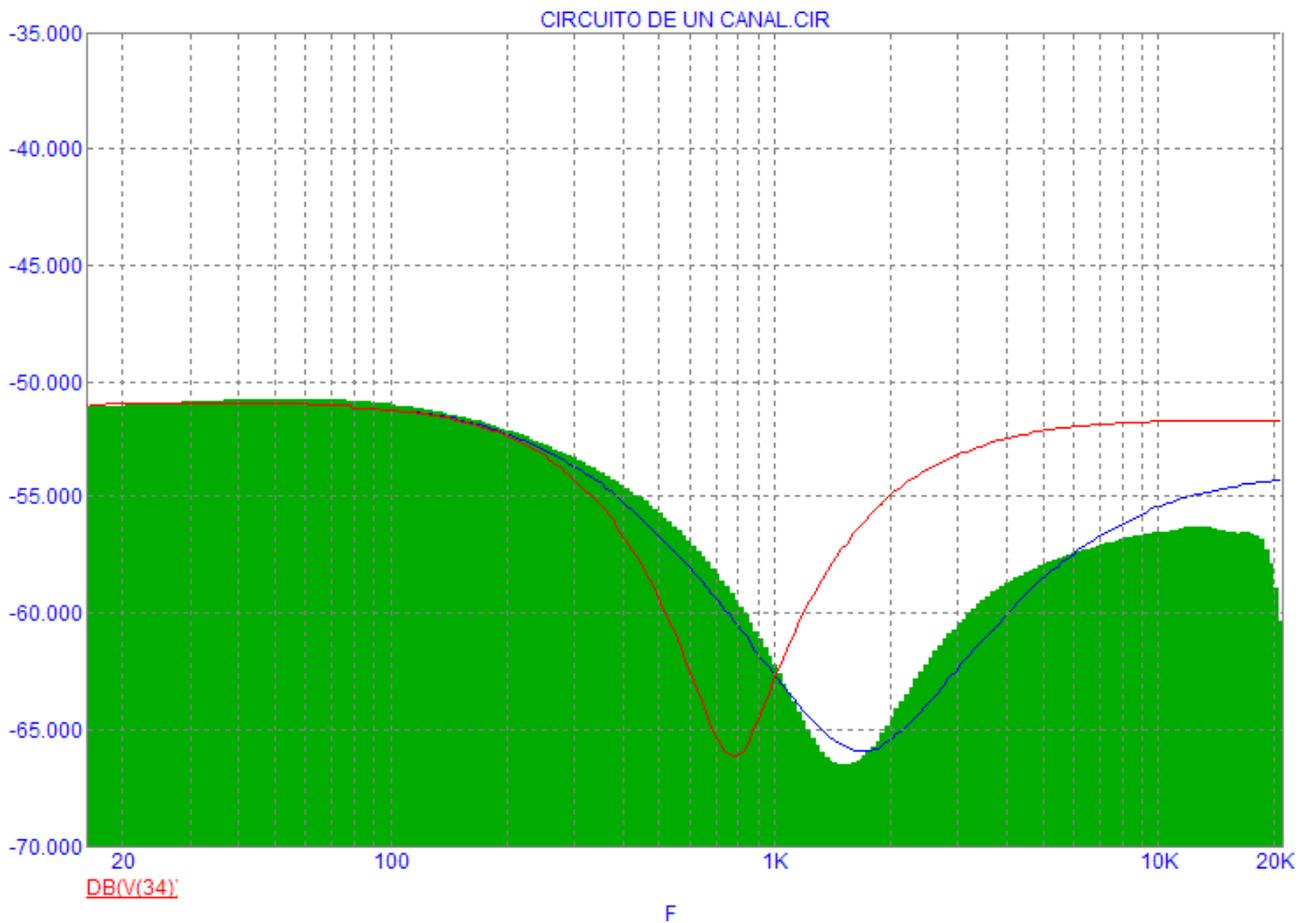
Como cabía esperar, este efecto es cada vez menos pronunciado a medida que disminuimos la ganancia del filtro, y por lo tanto la corrección a aplicar es cada vez menor. En el caso de aplicar amplificación en el filtro el efecto es el contrario, hay que atenuar en la sección de agudos para acercarnos a la curva plana en esta parte del espectro de audio. A continuación podemos ver el resultado de aplicar la máxima amplificación en medios y aplicar la corrección del mismo modo que el anterior.

Esta es una de las importantes mejoras con respecto a un ecualizador normal que presenta este diseño mezcla de analógico y digital. Es posible introducir correcciones automáticas en los potenciómetros digitales de manera que la curva de ecualización sea lo más parecida a la buscada-



Vemos que este caso, la coincidencia de la gráfica teórica con la experimental es casi perfecta.

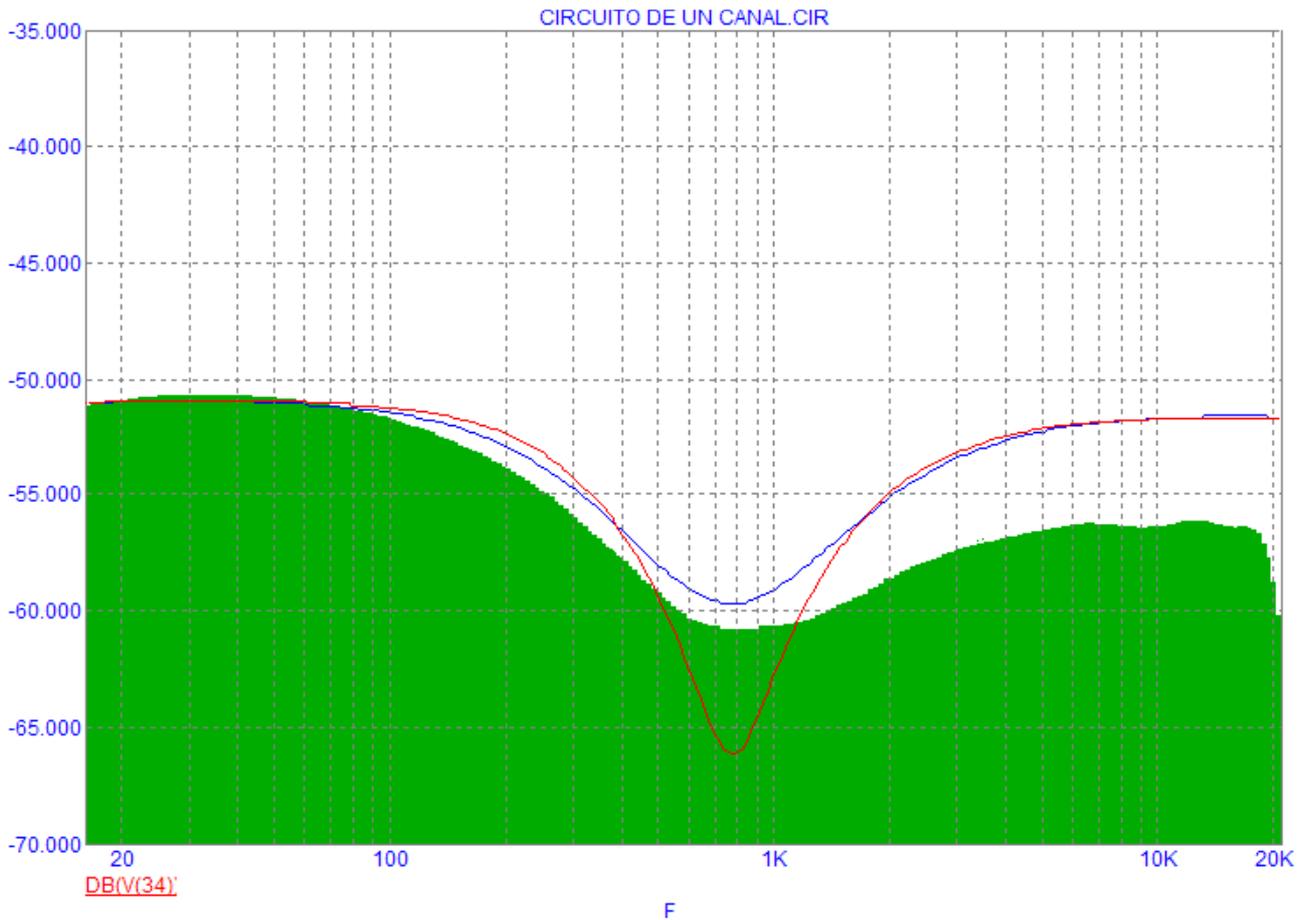
En segundo lugar, tenemos el control de frecuencia, este ya se explicó anteriormente, pero básicamente permite desplazar el centro de actuación del ecualizador desde los 800Hz actuales hasta prácticamente los 1600Hz, y si se deseara con solo encadenar más potenciómetros se podría aumentar este valor. A continuación podemos ver la gráfica correspondiente al máximo valor de la frecuencia.



En este gráfico vemos en rojo la curva teórica de mínima frecuencia y en azul la de máxima frecuencia, mientras que en verde vemos el comportamiento real. Podemos ver que las curvas teóricas se ensanchan mucho al aumentar la frecuencia central del filtro. En principio se esperaba poder usar el control Q de anchura para corregir este factor, sin embargo en la curva real no se observa un ensanchamiento tan significativo de la curva, por lo que finalmente se ha optado por no corregir este efecto por ser despreciable, y dejar el control de anchura como un parámetro más al usuario.

Además, esta curva es susceptible de corregirse como ya se hizo anteriormente en la zona de alta frecuencia mediante el ecualizador de agudos, lo que tiene un doble efecto, por un lado corrige el nivel en alta frecuencia, y por el otro reduce ligeramente la curva de anchura con lo que se puede obviar con más razón la corrección de anchura.

Finalmente tenemos el control de anchura que podemos ver en funcionamiento en la siguiente gráfica.



Igualmente las curvas roja y azul corresponden a simulaciones, la azul es la curva antes de actuar en el control y la roja después, mientras que la verde corresponde a la respuesta real del circuito. Vemos que el efecto de ampliar el ancho de la curva es doble, por un lado disminuye el valor máximo de amplificación, pero por otro lado aumenta la zona de actuación. Sin embargo la señal se modifica en la misma cantidad, esto es, la cantidad de energía (área) añadida o eliminada del espectro es la misma. El control es muy flexible y permite actuar concentrando el efecto en tan solo unos 200Hz con actuaciones de hasta 20dB, o bien actuar en los 20Khz pero con modificaciones del orden de 0.5dB.