CAPÍTULO 4: REALIZACIÓN DEL LAYOUT DE FILTROS TOW THOMAS DE 2º ORDEN CON CELDAS QFG.

Como se comentado en apartados anteriores, este proyecto parte de los valores obtenidos en otros dos proyectos. En los distinos apartados de este capítulo explicaremos las modificaciones realizadas y mostraremos el diseño de los esquemáticos y Layout de las diversas celdas así como el filtro final.

Este bloque del proyecto consta de dos filtros, cada uno de ellos con tres etapas TT2, diferenciadas entre ellas por el tipo de celdas QFG de que se componen. En principio, el alcance de este proyecto sólo abarcaría la realización de uno de ellos, pero se comprobó, que, debida a una pequeña modificación de las celdas QFG, se producía una mejora en la respuesta frecuencial del filtro. Es por ello por lo que se decidió introducir este nuevo filtro en este trabajo.

Antes de comenzar, resaltar que para el estudio, diseño y demás simulaciones se ha usado el programa *"Cadence Design Enviroment"*.

4.1.- Descripción del filtro completo.

El filtro final (TOP) se compone a su vez de otros tres filtros TT2 (TOW THOMAS de 2º orden) que difieren entre ellos por el tipo de celda que se utiliza para implementar las resistencias. Estos filtros, nombrados TQE_QFG_1R_final, TQE_QFG_2R_final y TQE_TRIODO_final, presentan cómo es lógico una respuesta frecuencial distinta que posteriormente se comentará.

Los primeros dos filtros se componen, como se aprecia en la figura 4.1, de 3 celdas QFG (QFG_CELL_iR) cuya variación supone una modificación de la frecuencia de corte (f_o), de otra celda QFG distinta (QFG_CELL_iR_Q) con la que se controla el factor de calidad (Q), y de dos amplificadores operacionales AB diferenciales.

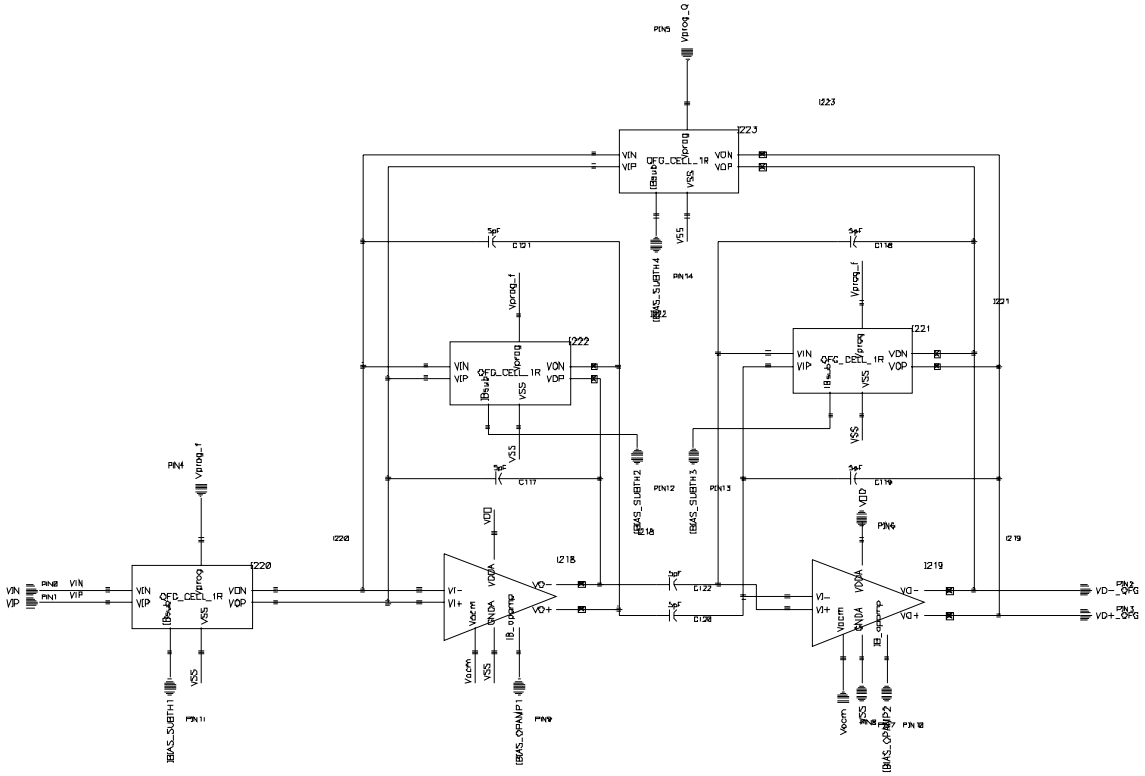

Figura 4.1.- TQE_QFG_1R_final

El último mantiene la misma estructura, pero realmente no son celdas QFG las utilizadas para implementar las resistencias. Estas celdas, se componen únicamente de dos transistores MOS. Pero, del mismo modo, se utilizan 3 celdas MOS_CELL para el control de la frecuencia de corte (f_o), una celda MOS_CELL_Q, con la que, igual que antes, se controla el factor de calidad (Q), y de dos amplificadores operacionales AB diferenciales idénticos a los de los filtros con celdas QFG.

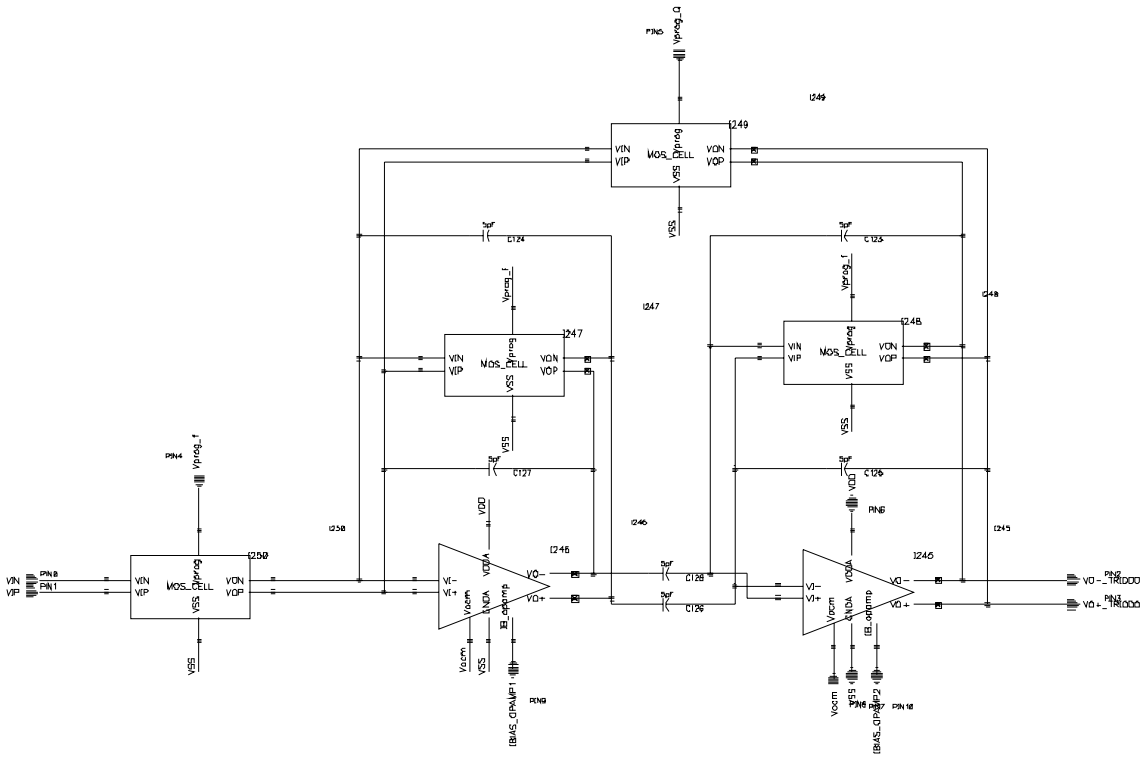

Figura 4.2.- TQE_TRIODO_final

En el siguiente apartado se explican y muestran el diseño de las distintas celdas comentadas.

4.2.- Análisis y diseño de las Celdas.

Empezaremos por la celda más sencilla: la MOS_CELL. Realmente no se debería considerar como tal ya que, cómo se observa en la figura 4.3, se trata únicamente de dos transistores nmos unidos por su sustrato a los que se le fija una tensión (V_{prog}). El hecho de que sean dos se debe al carácter diferencial de nuestro circuito.

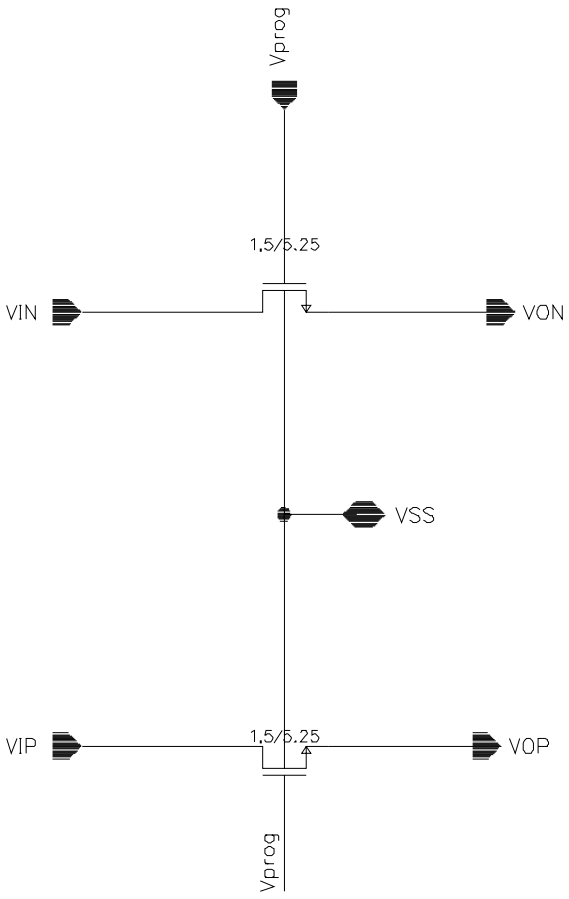

Figura 4.3.- Celda MOS

La única diferencia entre esta celda y la utilizada para el control del factor de calidad (Q), está en la longitud de los transistores. Aquí el transistor tiene una l=5.25µm mientras que en la MOS_CELL_Q la longitud del transistor es de l=3.3µm. Esto se debe a que cada celda tiene que implementar un valor de resistencia diferente de media. Como se comprobará esta es la única diferencia entre las celdas encargadas de controlar un término u otro.

Cabe decir que el filtro TQE_TRIODO_final compuesto de las celdas arriba explicadas, es el único que permanece inalterado en los dos filtros objetos de este capítulo.

Una vez explicado la celda básica anterior, pasemos a explicar las otras dos celdas que tienen un poco más de complejidad. Lo que se pretende con ellas es, manteniendo la bidireccionalidad, dotar de más linealidad la resistencia resultante.

La celda QFG_CELL_1R es la estudia en el capítulo 3 y representada en la Figura 3.2.

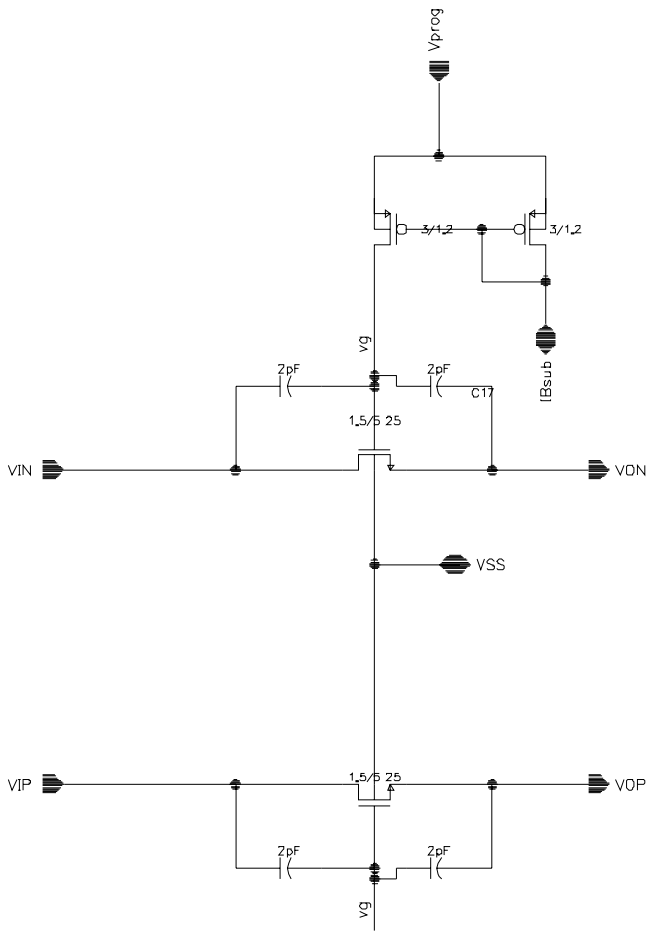

Figura 4.4.- Celda QFG_CELL_1R

Como se explicó en la introducción, las altas capacidades son las responsables del los grandes tamaños de los circuitos. El problema de esta celda a nivel de diseño del Layout es las elevadas capacidades que presenta (C=2p), lo que hace que ocupe una supercie muy grande comparada con las otras dos celdas. Añadir que al igual que en el caso de la celda MOS_CELL, la diferencia entre esta celda y la QFG_CELL_1R_Q es la longitud de los transistores nmos (l=3.3µm).

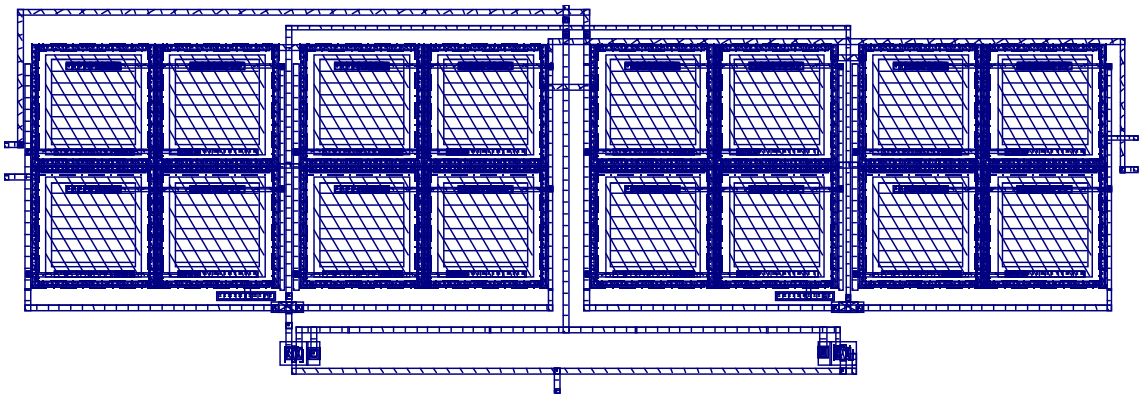

Figura 4.5.- Layout de la celda QFG_CELL_1R.

Se observó experimentalmente que una variación en la configuración anterior mostraba una mejora en la respuesta frecuencial como se comprobará en el apartado de simulaciones, dando paso a la celda QFG_CELL_2R. El comportamiento de esta celda es prácticamente el mismo que el explicado en el capítulo 3. Destacar, no obstante que las capacidades ahora son diez veces más pequeñas que las anteriores.

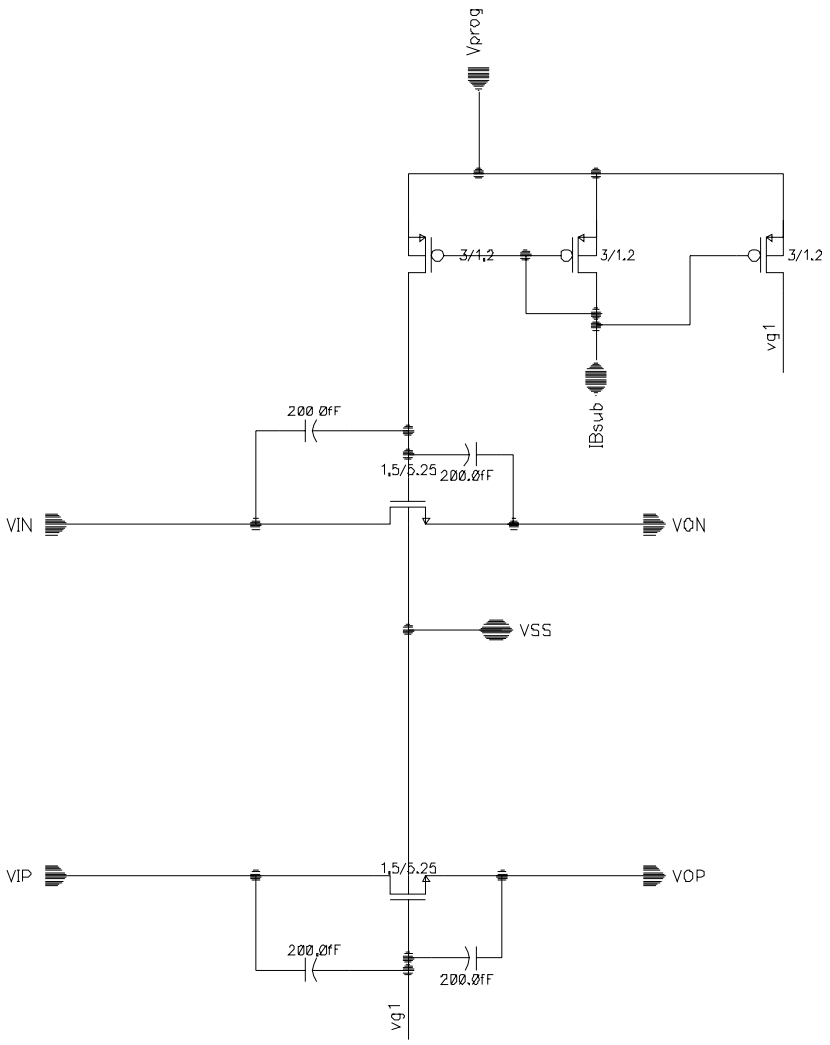

Figura 4.6.- Celda QFG_CELL_2R

4.2.1.- Modificación en las celdas QFG.

Como se ha dicho en la introducción de este capítulo, el alcance de este proyecto habría terminado en la mejora y realización del Layout del filtro TOP. Cómo sabemos un solo transistor puede implementar una resistencia bidireccional pero poco lineal. Es por ello que aparece cada celda ya vista, haciendo más lineal el resultado y manteniendo la bidireccionalidad. No obstante, se comprobó que se podía suprimir la capacidad de cada celda QFG

que se conectaba a la entrada de los distintos amplificadores operacionales con el consiguiente ahorro en la superficie de los filtros. La consecuencia de suprimir esta capacidad supone la pérdida de la bidireccionalidad, por lo que hay que añadir fuentes de intensidad para asegurar la dirección que deseamos. La eliminación de esta capacidad en la celda QFG_CELL_1R da origen a la celda QFG_CELL_4R.

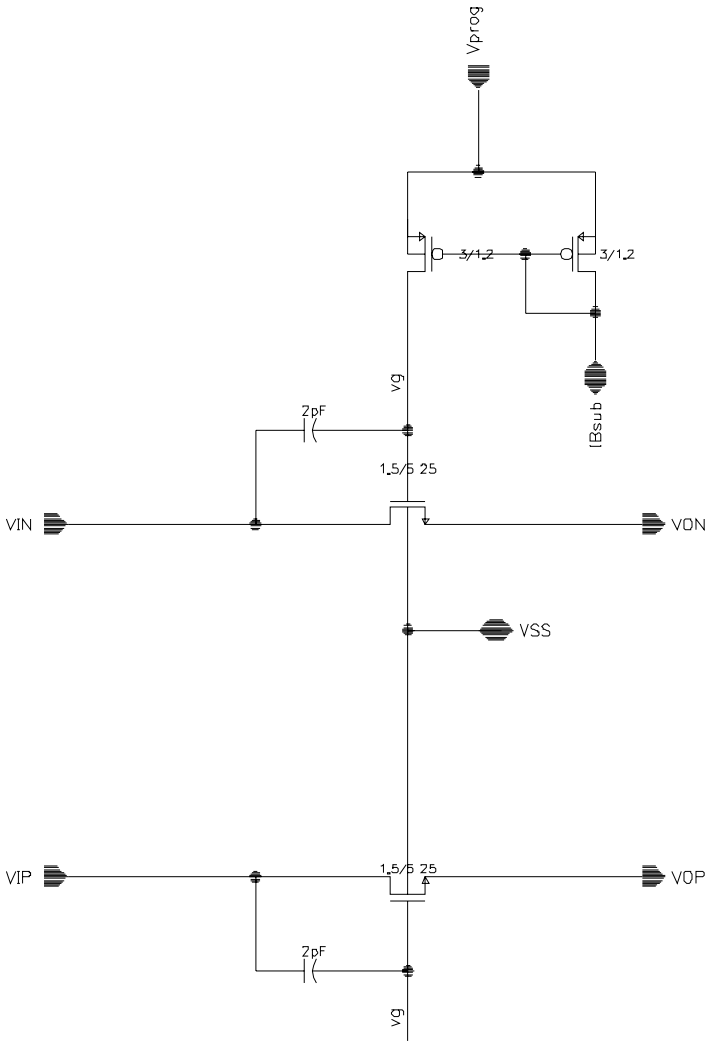

Figura 4.7.- Celda QFG_CELL_4R

Del mismo modo, el hecho de suprimir la capacidad en la celda QFG_CELL_2R es el origen de QFG_CELL_3R.

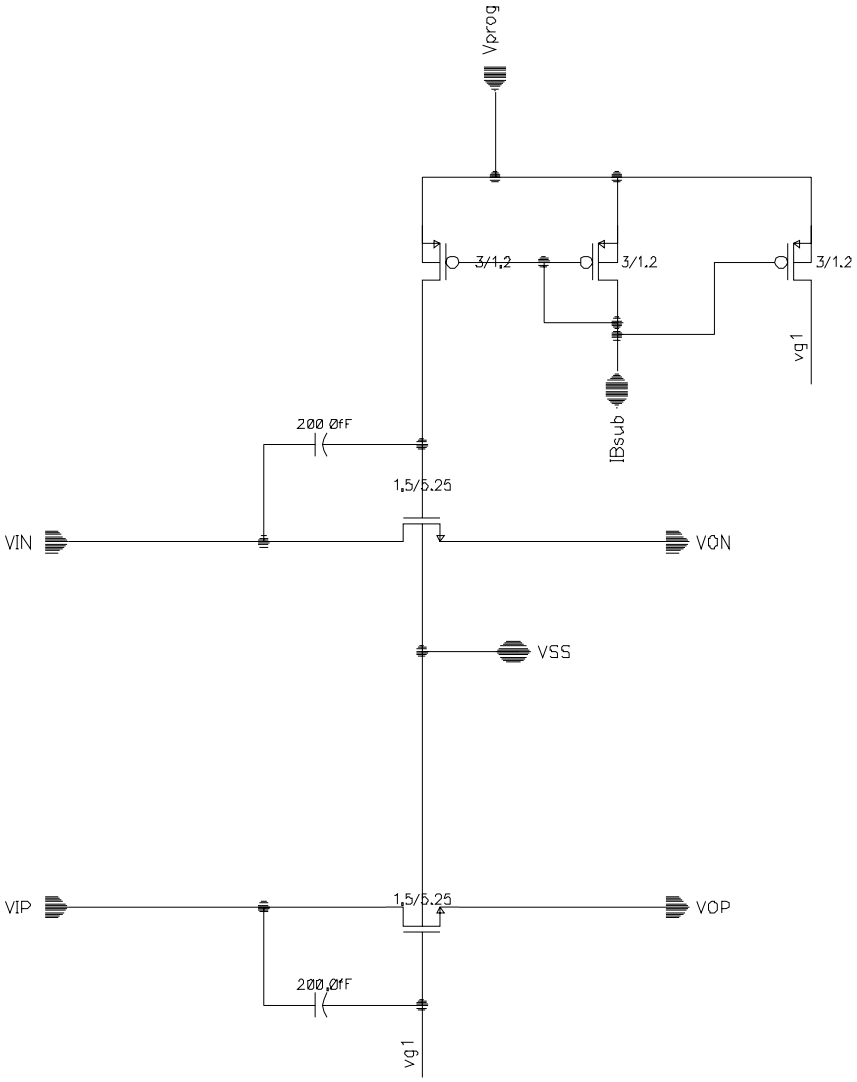

Figura 4.8.- Celda QFG_CELL_3R

Este cambio se tradujo en la pérdida de simetría por parte de las celdas, por lo que también hubo que variar las conexiones de entrada y salida de las mismas. Es decir, no se estaba suprimiendo la misma capacidad en cada celda, sino que se eliminaba la que se conectaba directamente a la entrada del amplificador, que en unos casos correspondía a la del nodo de entrada de la

celda y en otros a la del nodo de salida de la misma. Por lo que, si se quería seguir usando la misma celda en todo el filtro se debían cambiar las conexiones.

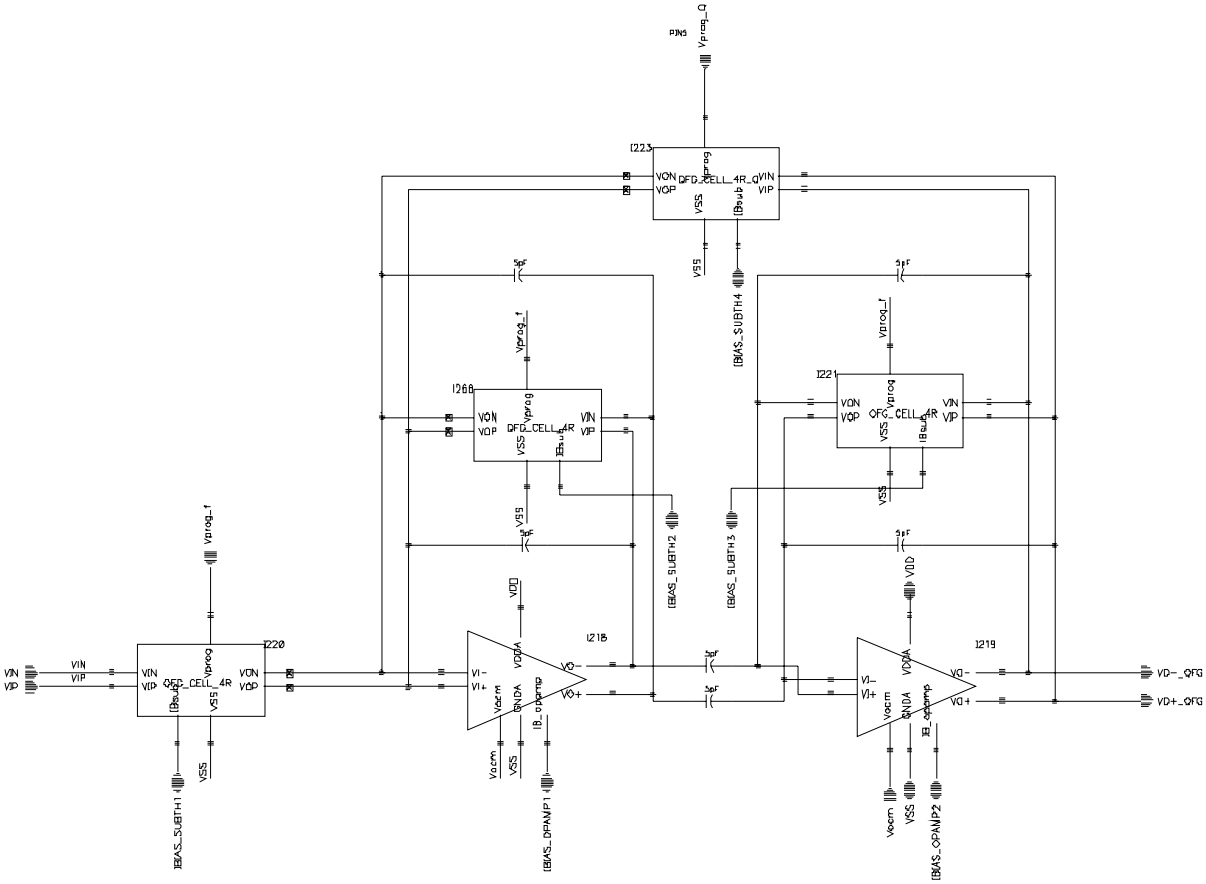

Figura 4.9.- TQE_QFG_4R_final

4.3.-Diseño del amplificador operacional y del circuito de control de modo común.

En el apartado 3.3. se ha realizado un completo estudio sobre el amplificador operacional. En éste, se muestra el layout del mismo y el diseño de su circuito de control de modo común.

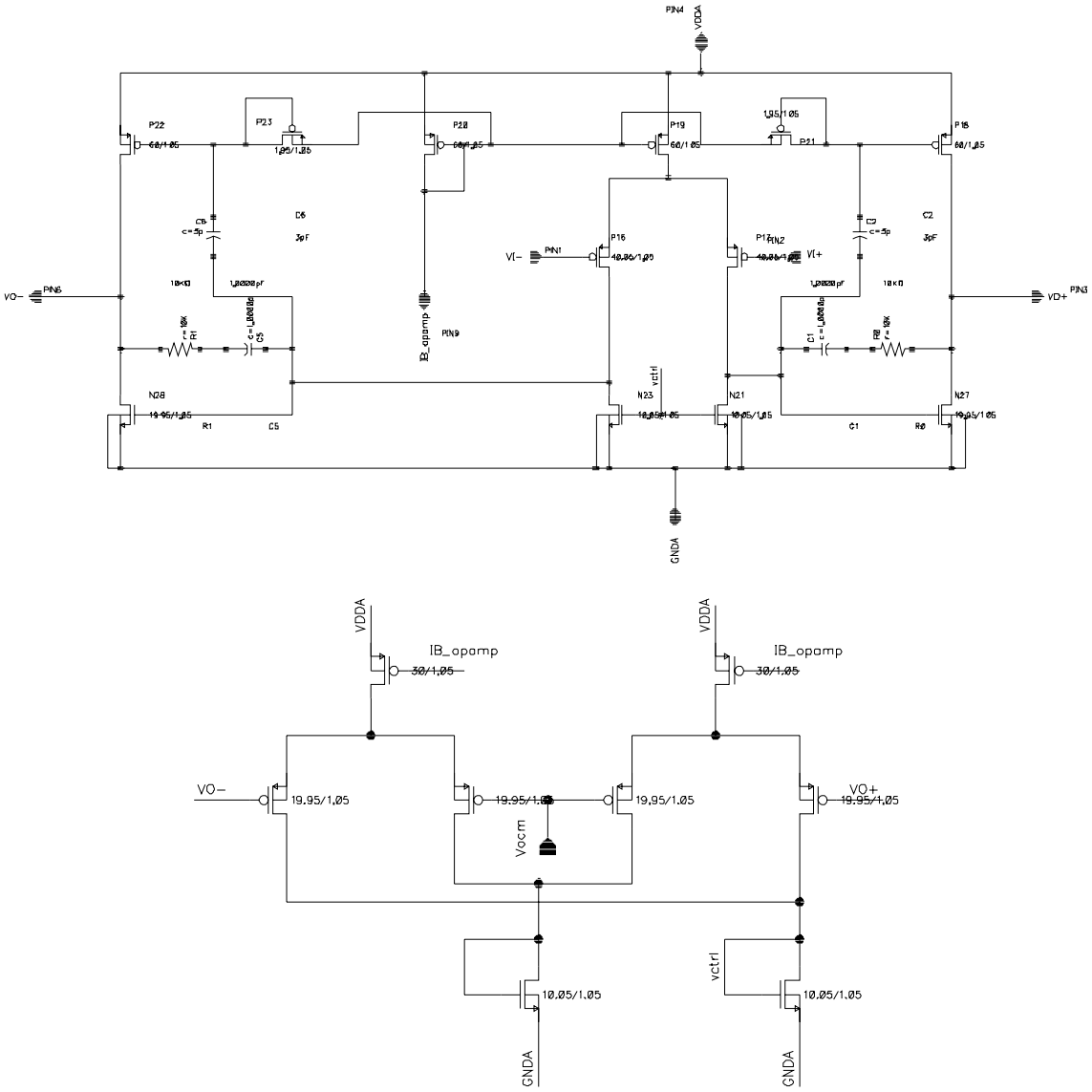

Figura 4.10.- (a) Amplificador operacional AB diferencial con (b) circuito para el control del modo común

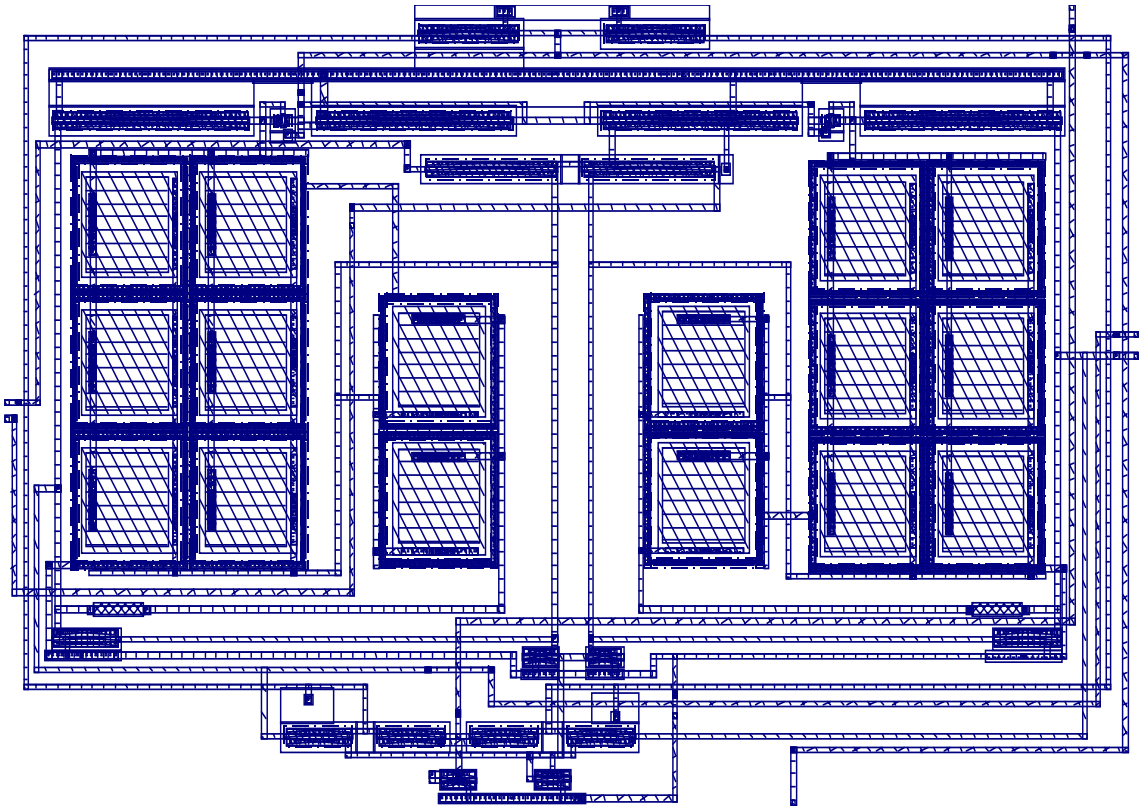

Figura 4.11.- Layout del amplificador operacional AB diferencial con circuito para el control del modo común.

4.4.-Layout del filtro completo.

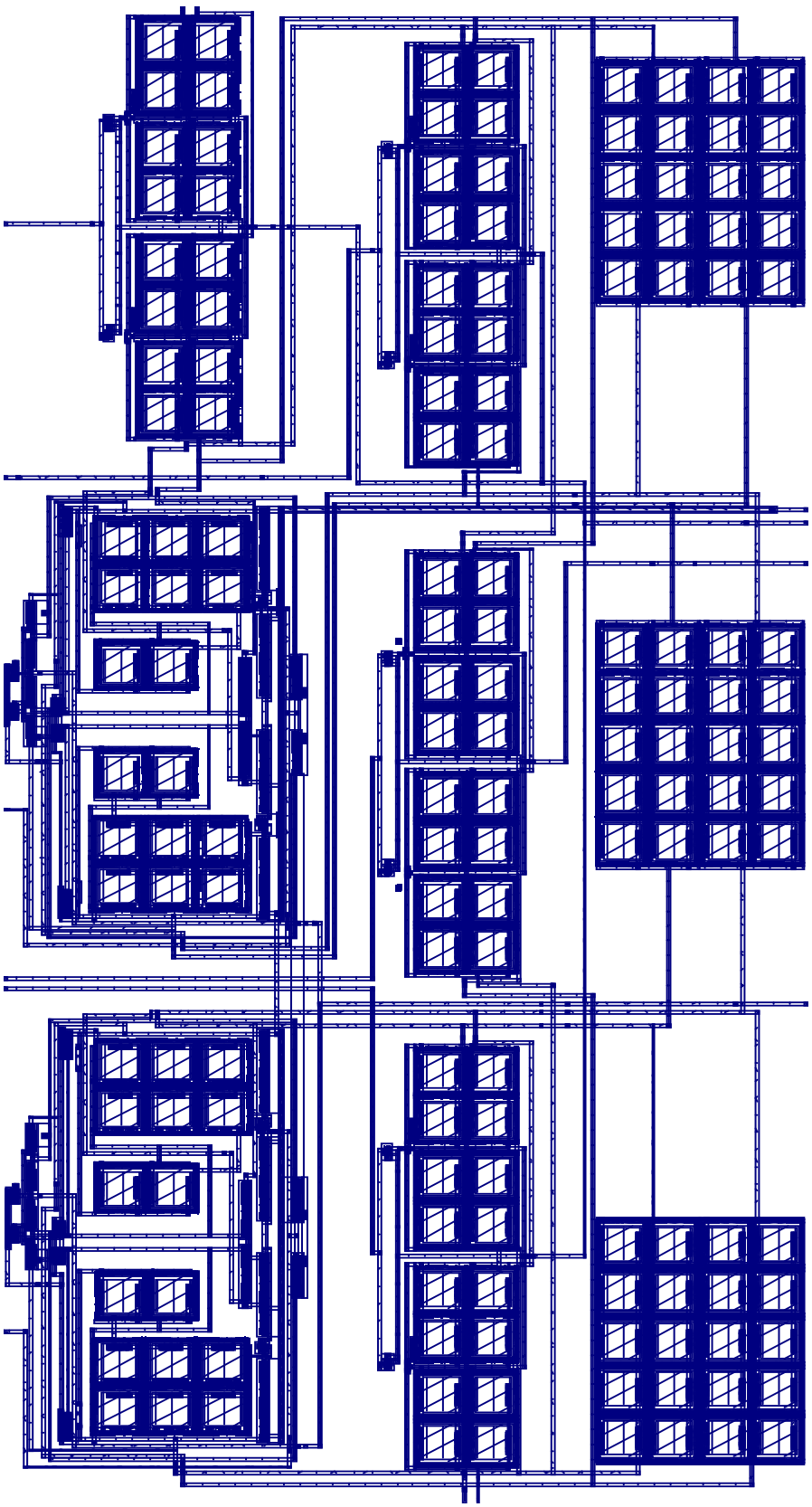

Figura 4.12.- Layout del filtro TQE_QFG_1R_final.

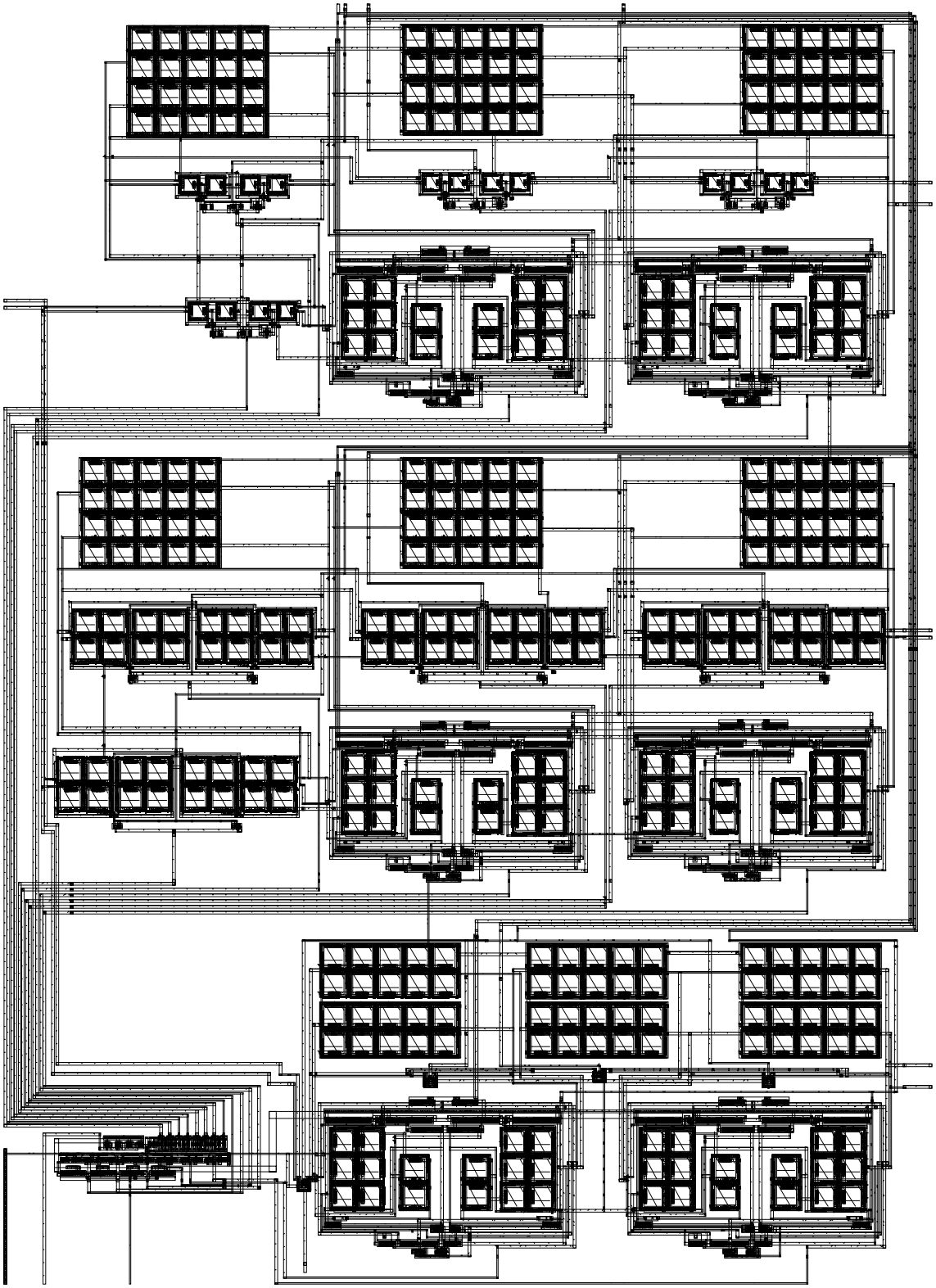

Figura 4.13.- Layout del filtro completo (TOP).

4.5.-Simulaciones de respuesta frecuencial y distorsión.

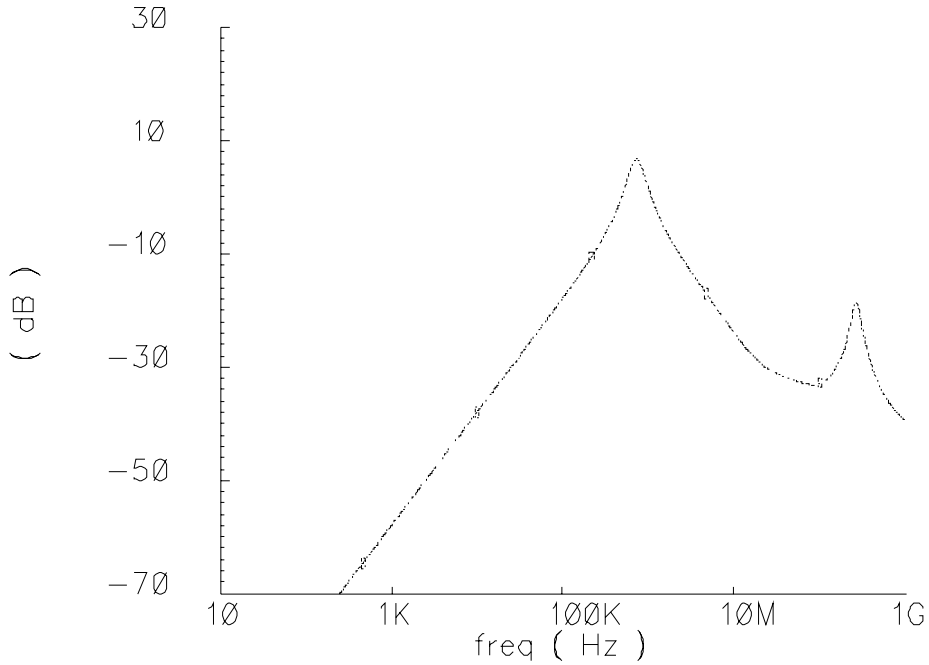

Figura 4.14.- Respuesta frecuencial del filtro TQE_TRIODO_final.

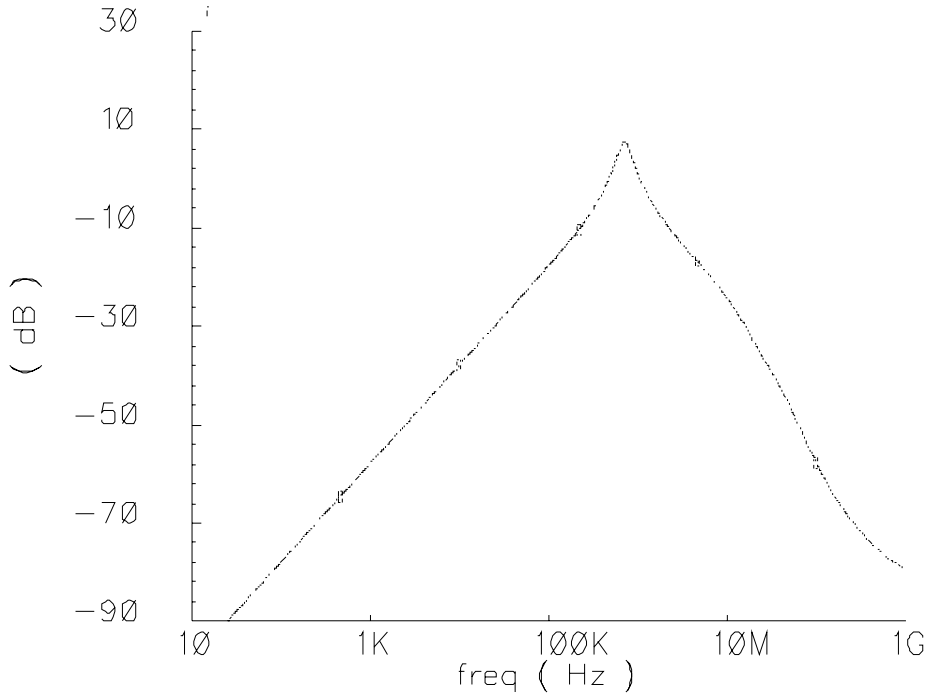

Figura 4.15.- Respuesta frecuencial del filtro TQE_QFG_1R_final.

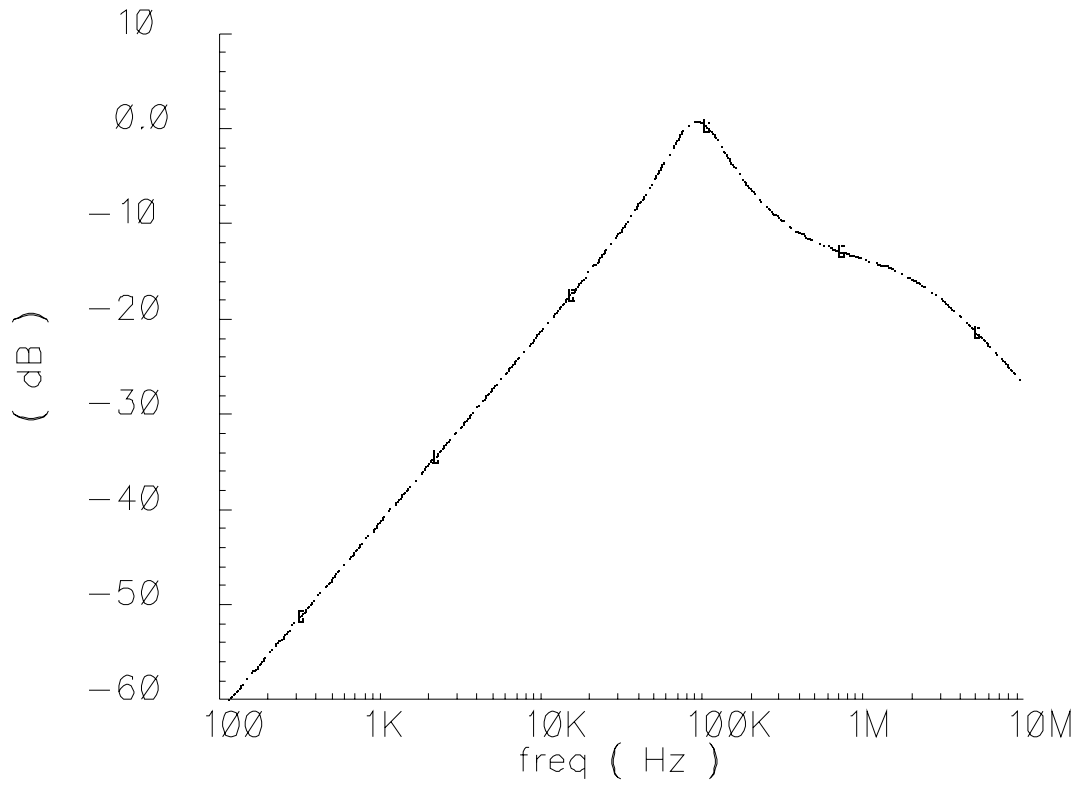

Figura 4.16.- Respuesta frecuencial del filtro TQE_QFG_2R_final.

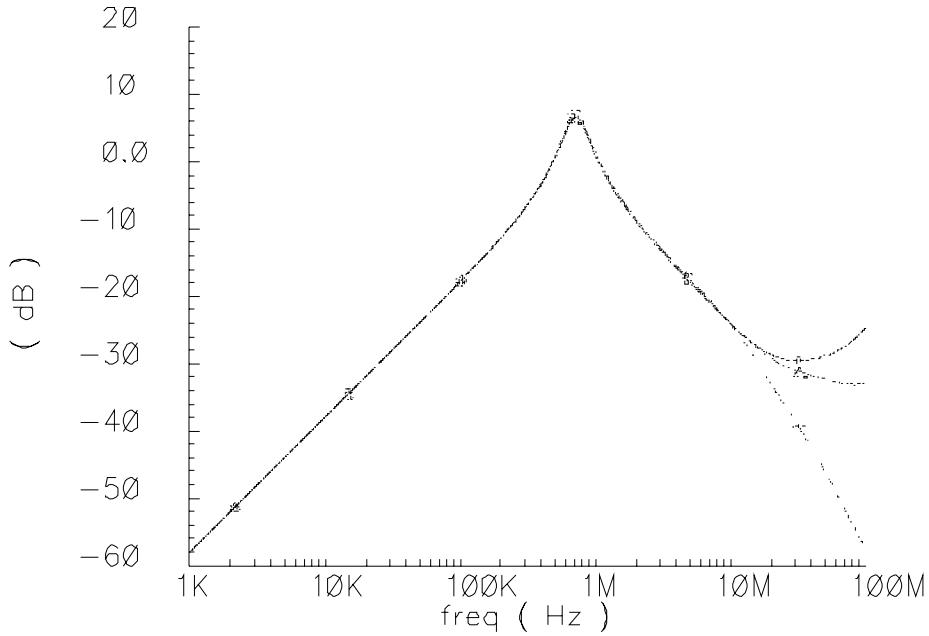

Figura 4.17.- Comparación de las respuestas frecuenciales de los tres filtros.

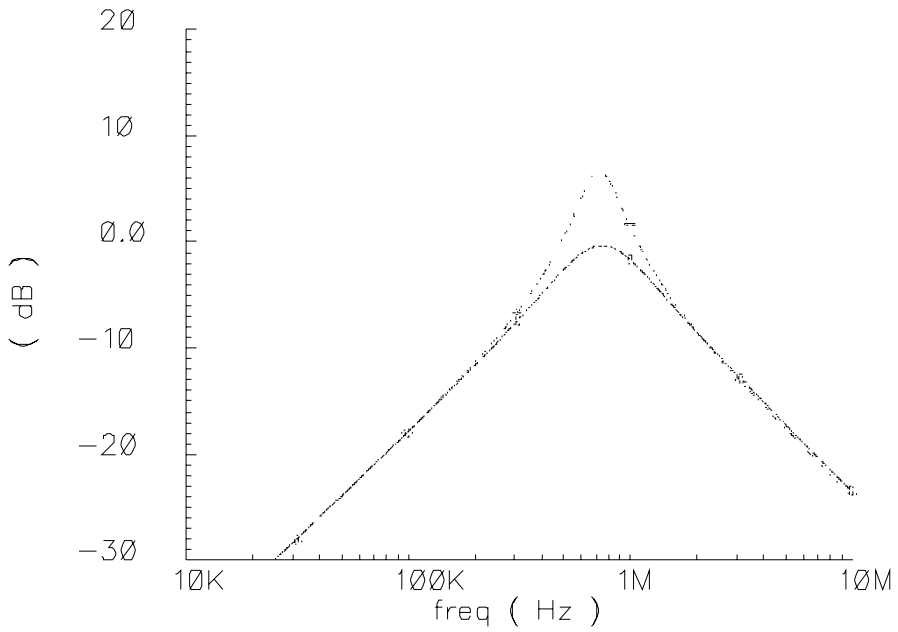

Figura 4.18.- Comparación de las respuestas frecuenciales del filtro_TRIODO y la de su layout.

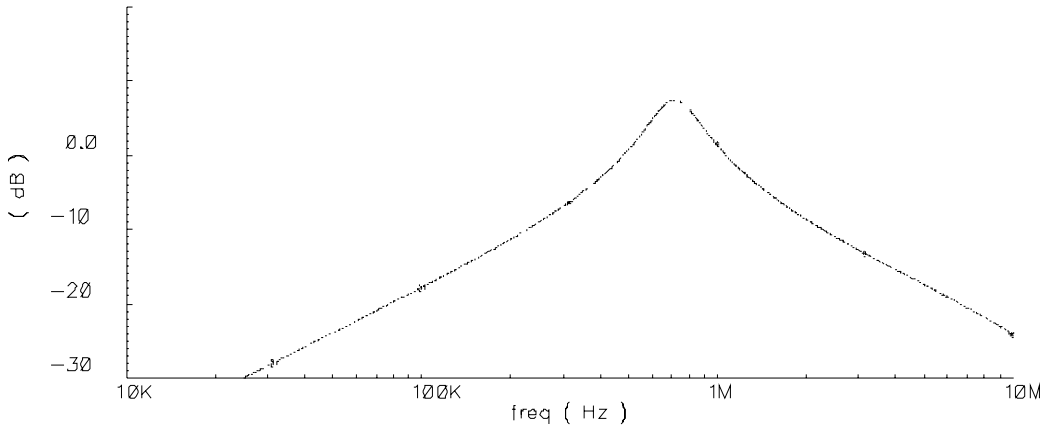

Figura 4.19.- Comparación de las respuestas frecuenciales del filtro_QFG_1R y la de su layout.

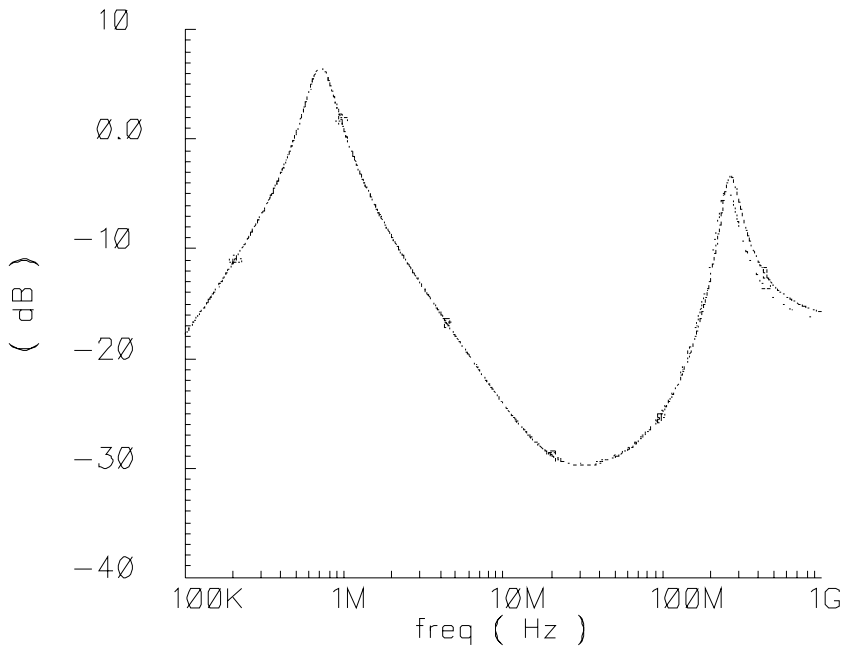

Figura 4.20.- Comparación de las respuestas frecuenciales del filtro_QFG_2R y la de su layout.

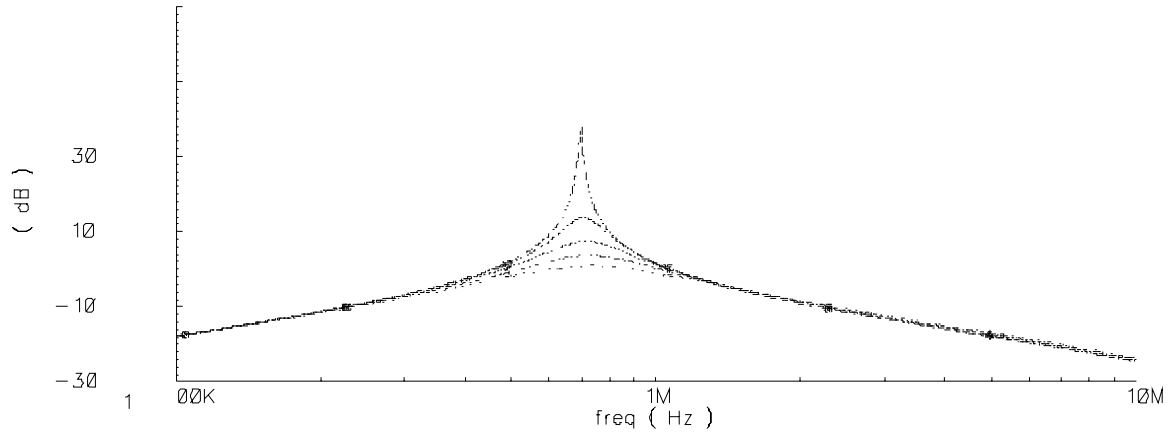

Figura 4.21.- Variación de la respuesta frecuencial del filtro_QFG_1R para distintos valores de vprogQ.

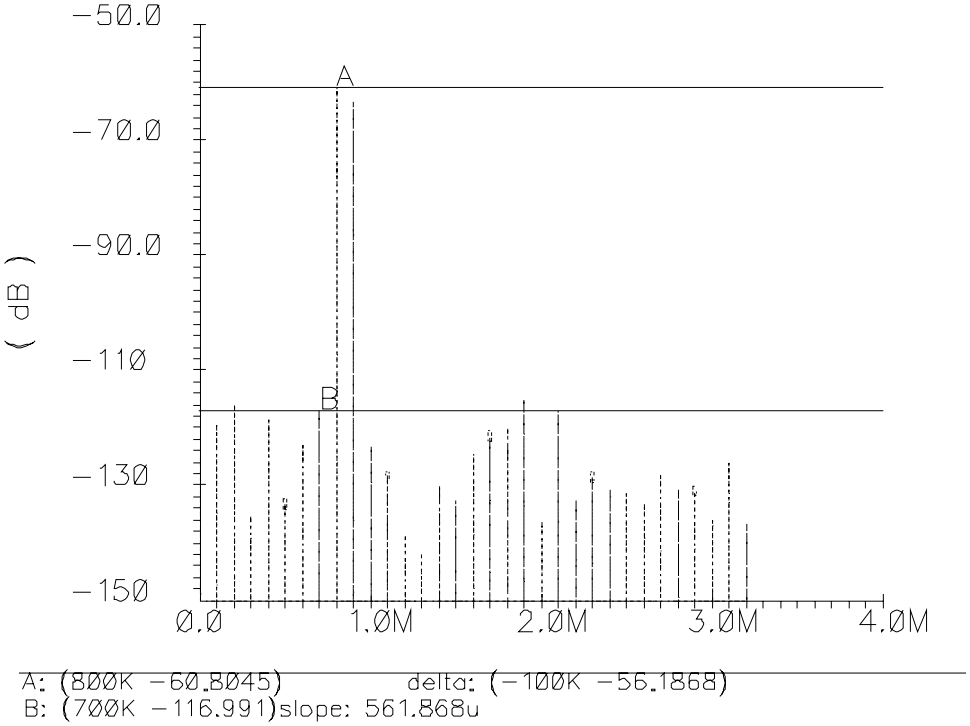

Figura 4.22.- IM3 del filtro TQE_TRIODO.

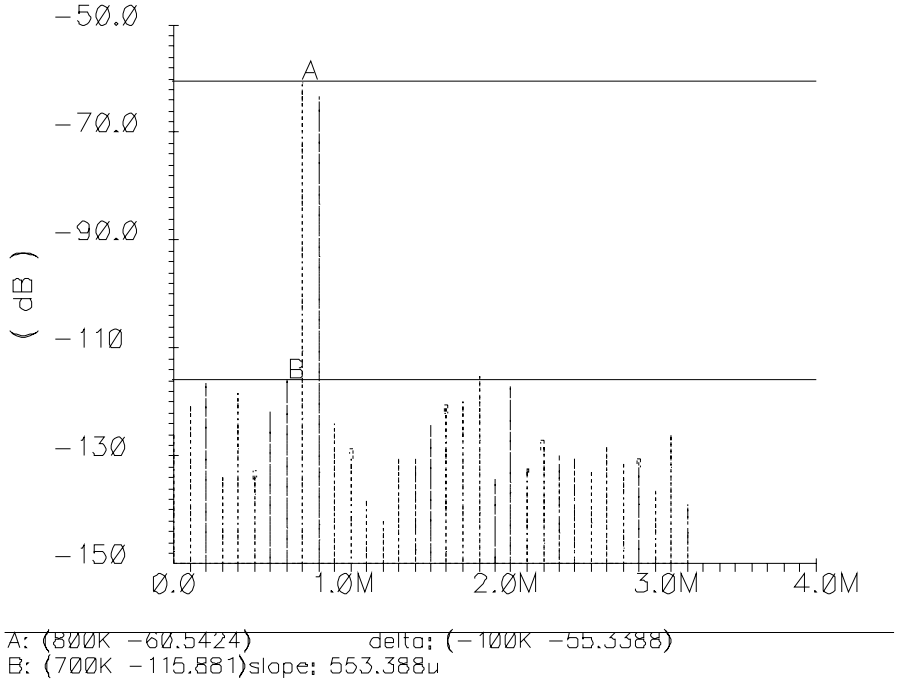

Figura 4.23.- IM3 del filtro TQE_QFG_1R.

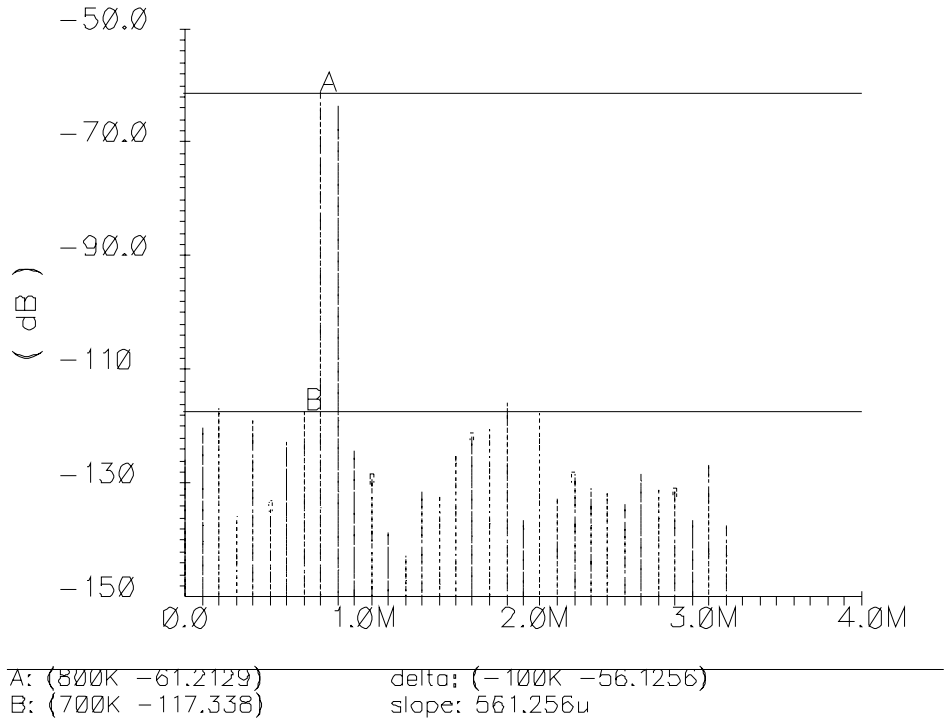

Figura 4.23.- IM3 del filtro TQE_QFG_1R.

4.6.-Conclusiones.

Estudiadas las gráficas se corrobora que la técnica QFG influye positivamente en la linealización al implementar la resistencia. También se comprueba que las respuestas de los Layout de los distintos filtros se asemeja prácticamente a su ideal.

Viendo las gráficas de las IM3, puede parecer que éste método no ofrece ninguna ventaja, pero como se dijo anteriormente, las celdas QFG mantienen la respuesta ante "mismatch" no así la celda TRIODO, cuya distorsión aumenta notablemente.