

# FCEfyN - UNC - ELECTRÓNICA ANALÓGICA III

ALUMNO: Ferraris Domingo Jesus

## Laboratorio 1:

Acople sintonizado.

### Características del acople

Se diseño, implemento y midio un acople sintonizado con los siguientes requisitos:

- Frecuencia de resonancia:  $f_o = 16\text{MHz}$ .
- Ancho de banda:  $BW = 10\%$  de  $f_o$ .
- Impedancia de entrada:  $Z_i = 50\text{ Ohm}$ .
- Impedancia de salida:  $Z_o = 1\text{KOhm}$ .

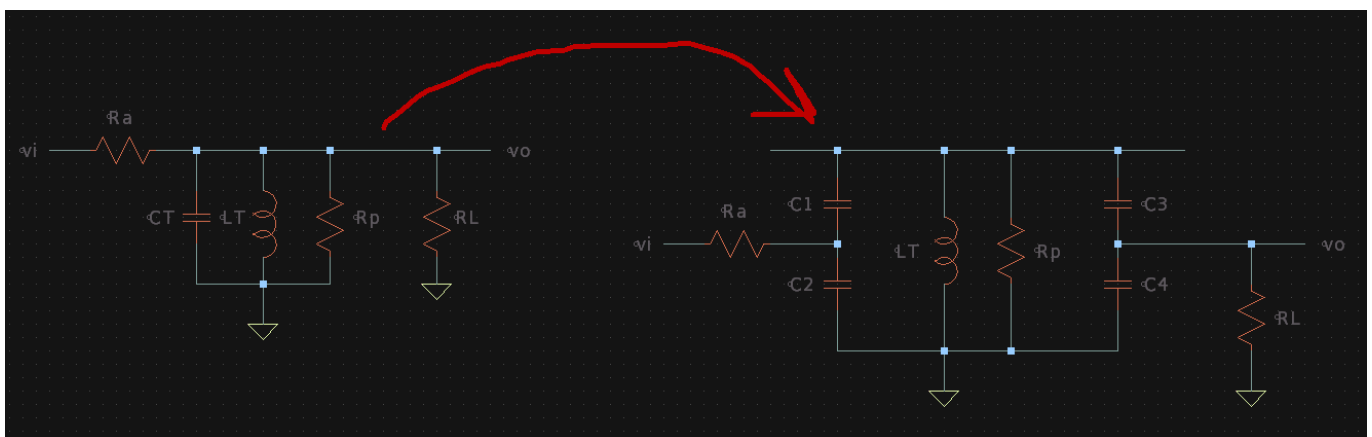
### Resumen teorico

Partimos de saber que en un **circuito RLC en paralelo** se cumplen:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LT \cdot CT}}$$

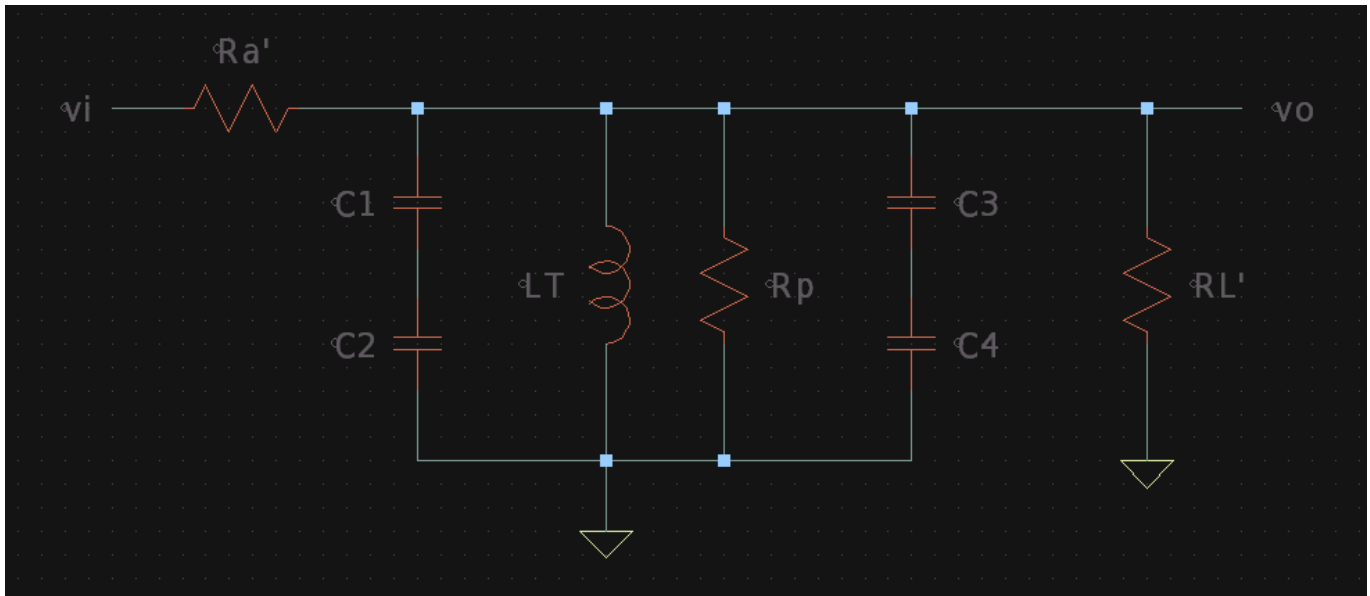
$$Q_p = \frac{RT}{2\pi f_o \cdot LT} = \frac{f_o}{BW}$$

Realizando la siguiente transformacion:



Donde suponemos  $R_a$  resistencia de antena (generador de entrada) y  $R_p$  la resistencia paralela equivalente de perdidas del inductor.

Para simplificar el analisis, basandonos en un concepto similar al del autotransformador **aplicamos una reflexion sobre  $R_a$  y  $R_L$** :



Con las impedancias reflejadas:

$$Ra' = Ra \left( 1 + \frac{C_2}{C_1} \right)^2$$

$$RL' = RL \left( 1 + \frac{C_4}{C_3} \right)^2$$

Y podemos sacar las relaciones:

$$RT = Ra' // (RL' // Rp)$$

$$CT = (C1(s)C2) // (C3(s)C4)$$

Con lo cual se ve que **variando los capacitores cambiamos el valor de impedancia vista en la entrada o salida**, logrando así la adaptación.

Además como esto cambia la RT del circuito podemos **variar el BW** del mismo.

**Definimos las siguientes igualdades para simplificar la etapa de diseño del acople:**

$$Ra' = RL' // Rp = 2RT$$

$$C1(s)C2 = C3(s)C4 = \frac{CT}{2}$$

Con estas igualdades **calculamos los capacitores y diseñamos la inductancia** para cumplir con las especificaciones dadas.

## Diseño y simulación

Usando las conclusiones teóricas se despejaron las ecuaciones para el diseño:

Para los capacitores C1 y C2:

$$C_2 = \frac{CT}{2} \sqrt{\frac{2RT}{Ra}}$$

$$C_1 = \frac{C_2}{\sqrt{\frac{2RT}{Ra}} - 1}$$

Y para C3 y C4:

$$C_4 = \frac{CT}{2} \sqrt{\frac{RL'}{RL}}$$

$$C_3 = \frac{C_4}{\sqrt{\frac{RL'}{RL}} - 1}$$

$$RL' = \frac{2RT}{1 - \frac{2RT}{Rp}}$$

Se realizo un script en **Python** para hacer los calculos y graficas, y se utilizo el **metodo de Nagaoka para diseño de inductores mono capa con nucleo de aire**.

La metodologia seguida fue:

1. Definir **diámetro de alambre y del nucleo** para el inductor.
2. Calcular inductancia para un K de 6.5 (**intentando obtener un inductor cuadrado inicialmente**).
3. Calcular la capacidad para resonar a la fo, **definir esta capacidad para comenzar**.
  - Diseñar el inductor usando la curva K y sacar **numero de espiras N**.

#### Ecuacion de diseño:

$$L[uH] = (Dind[cm])^3 * (Nsop[vue/cm])^2 * K * 1E-3$$

- Comprobar valor con la curva J y **usar este valor de inductancia**.

#### Ecuacion de verificacion:

$$L[uH] = N^2 * (Dind [cm])/2 * J * 1E-3$$

- Calcular **Q descargado** con la ecuacion del metodo y obtener la resistencia equivalente de perdidas.

#### Q descargado:

$$Qd = (8850 * \text{sqrt}(fo[MHz]) * (Dind[cm] * l[cm])) / (102l[cm] + 45Dind[cm])$$

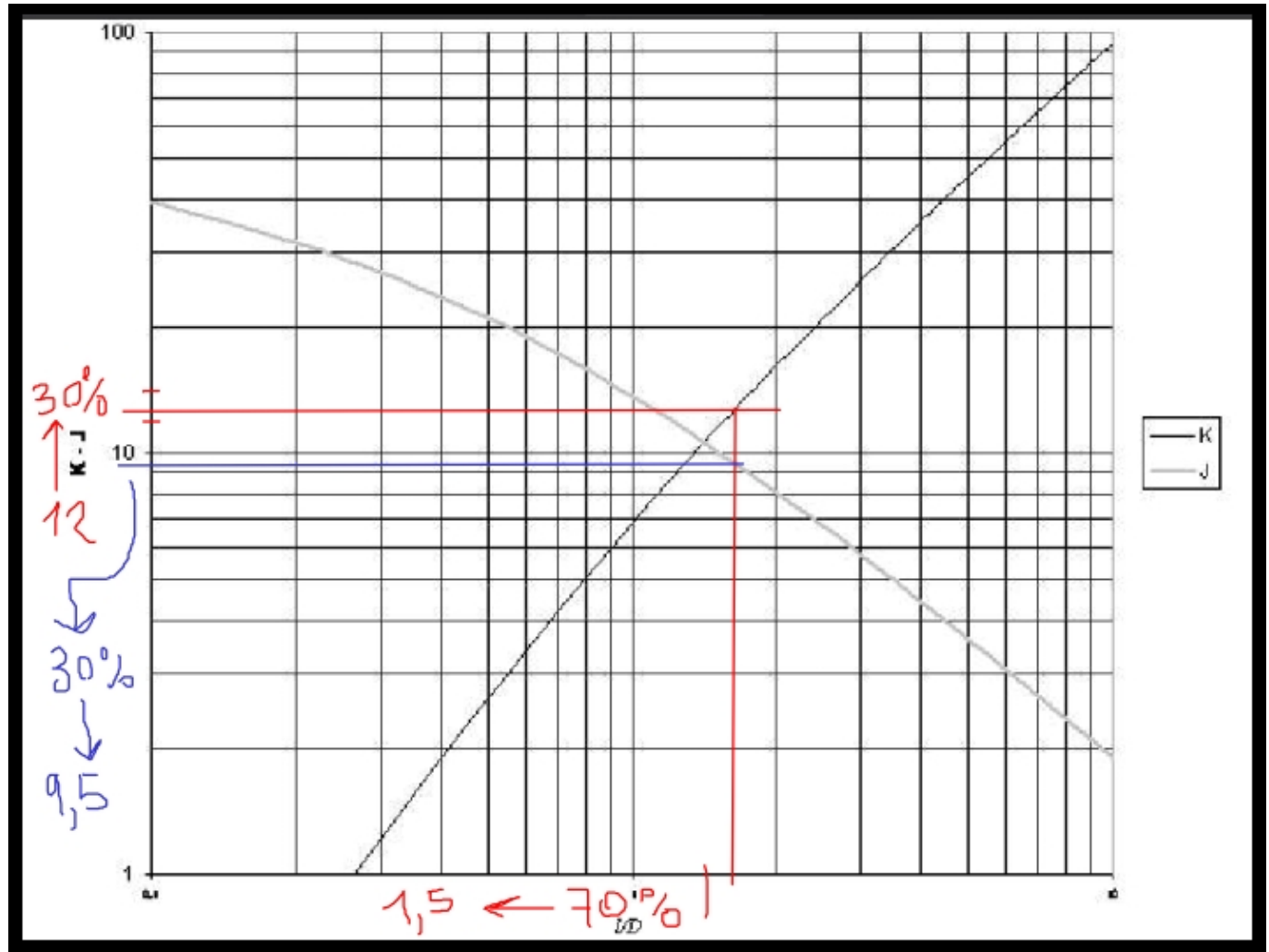
4. Con la nueva inductancia, **corregir la capacidad total** para resonar.
5. **Calcular la RT** para cumplir con el BW.
6. Buscar **capacitores C1-4**.
  - Si C3 da negativo aumentar RT, para ello, se aumenta LT, se recalcula CT para resonar y **se vuelve al paso 3**.

7. Al obtener valores de capacidades validos, **simular y comprobar.**

- **Normalizar capacitores a valores comerciales**, sacar capacidad total, cambiar valor de inductancia y volver al paso 3.

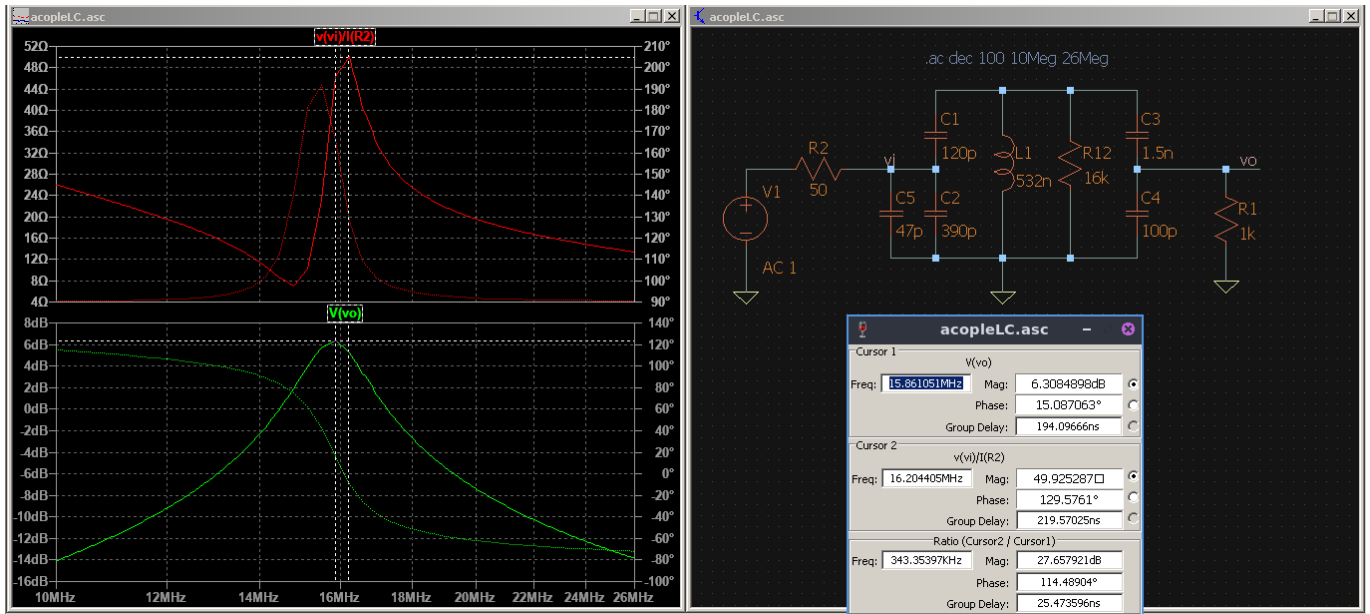
8. Simular con valores comerciales ajustados.

Se comenzo con una CT de 310pF, para luego iterar 5 veces hasta los 169pF, donde las curvas de Nagaoka:

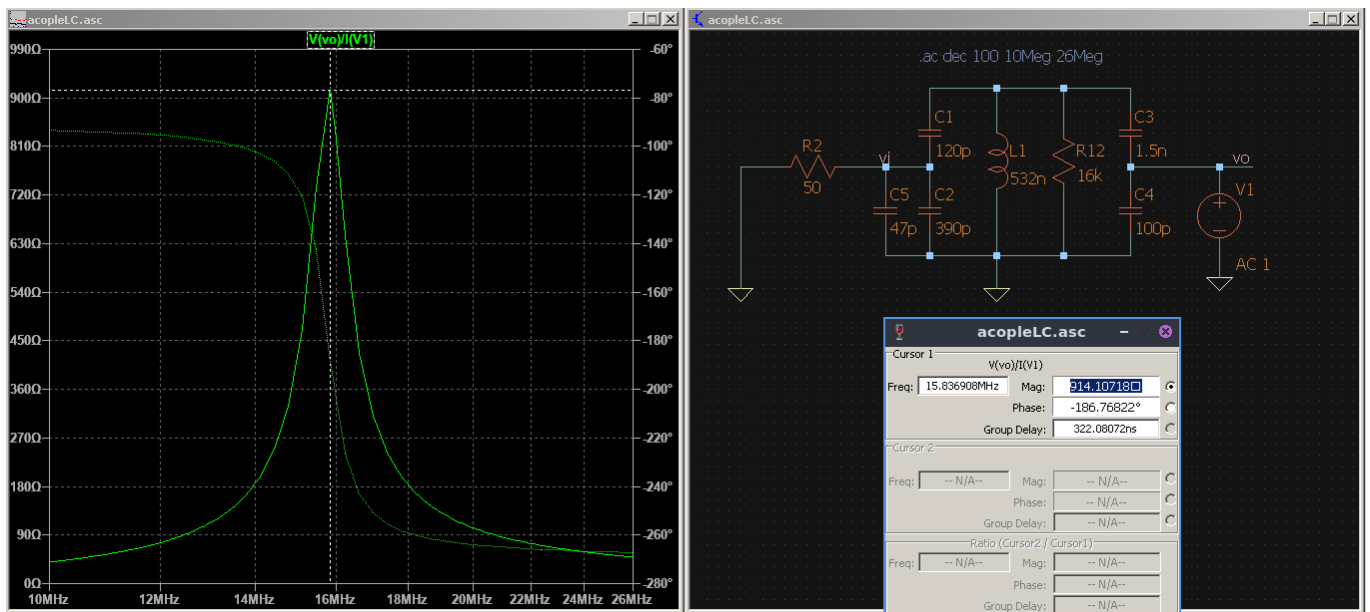


Nos dan un inductor de **10 vueltas** y 0.532uH aprox y una resistencia equivalente de perdidas de 16KOhm.

Luego se obtuvieron y normalizaron las capacidades, y utilizando **LTSpice** se simulo el circuito para la **tension de salida e impedancia de entrada:**



Y para la **impedancia de salida**:



Luego de superar satisfactoriamente el paso 8, se implemento el circuito con los siguientes componentes:

#### Inductor:

- 0.532 uH aprox.
- 10 espiras y diametro de cobre 1.2mm.
- Nucleo de 1cm, largo de 1.7cm aprox.

#### Capacitores:

- Se diseño con  $C1=120\text{pF}$ ,  $C2=(390//47)\text{pF}$ ,  $C3=1.5\text{nF}$  y  $C4=100\text{pF}$ .

#### Parametros:

- Capacidad total con valores normalizados 188pF aprox.
- Resistencia equivalente de perdidas del inductor de 16KOhm.

**Agregados:**

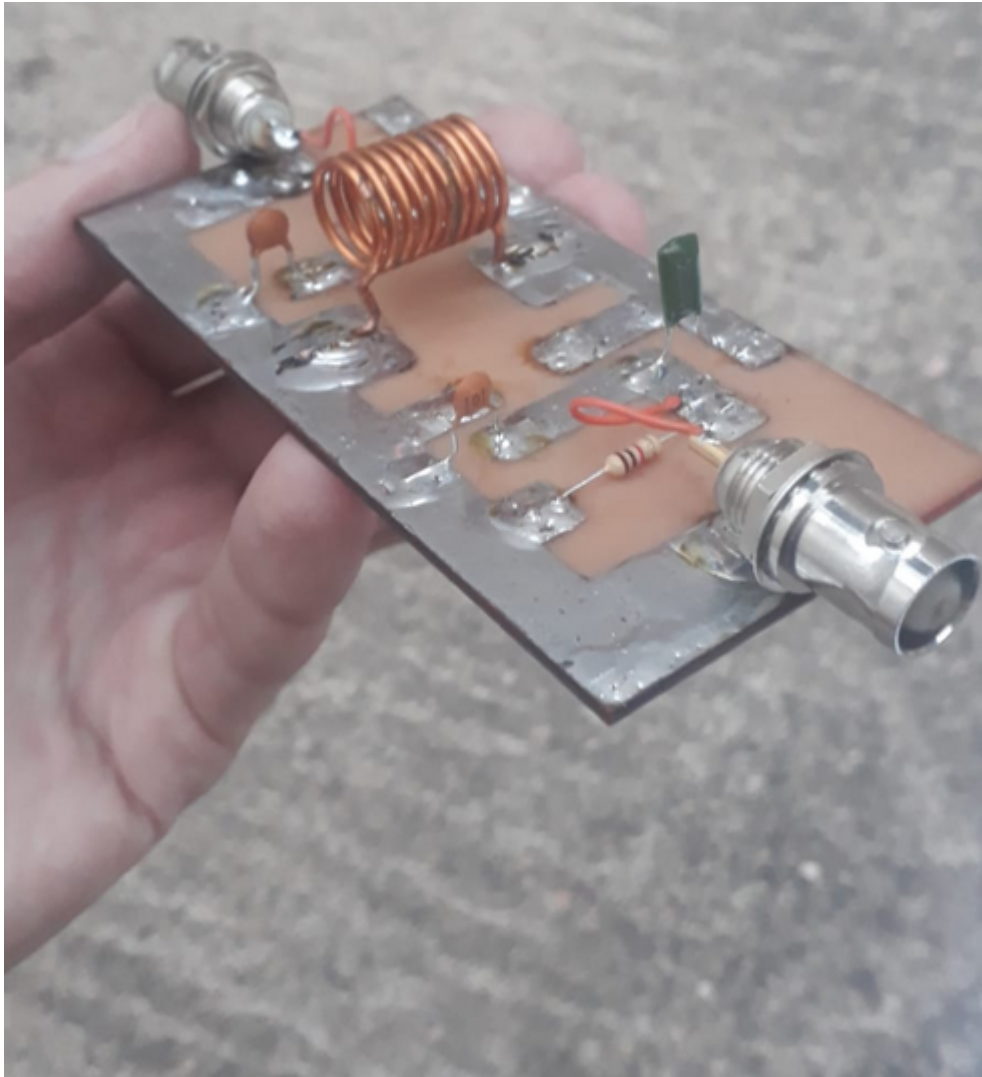
- Se agrego un  $C_x=180\text{pF}$ , para mediciones de la  $f_0$ .
- Se agrego una  $R_x=15\text{K}\Omega$ , para medir el Q descargado.

---

## Armado en PCB

Se utilizo una **PCB de 5x10cm**, haciendo el diseño con marcador indeleble, ademas se estañaron las pistas y agregaron los conectores BNC para entrada y salida.

En el diseño se agregaron pistas **que posibiliten conectar/desconectar  $C_x$ ,  $R_x$  y  $RL$** .



---

## Mediciones en placa

Se utilizo el siguiente set-up de instrumentos:

**Generador:**

- BW = 20MHz.
- Impedancia de salida 50  $\Omega$ .
- Tension de salida: 2 Vpp.

**Osciloscopio:**

- Digital con BW = 50MHz.

**Frecuencia de resonancia**

Esta se midió de forma indirecta midiendo el nodo L-C1-C3 para **simplificar la ecuación de la capacidad total**. Fue medición indirecta debido a la capacidad parasita del osciloscopio que nos **cambia la frecuencia de resonancia**.

En la misma se obtuvo la **frecuencia fo1**, y luego **fo2 agregando Cx** en paralelo con la inductancia.

Luego, aproximadamente:

$$fo1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LT \cdot (CT + C_{osc})}}$$

$$fo2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LT \cdot (CT + C_{osc} + Cx)}}$$

Dividiendo miembro a miembro y llamando k a la relación fo1/fo2

$$CT + C_{osc} = \frac{Cx}{k^2 - 1}$$

Llamando a la anterior A y reemplazando en la ecuación de fo1, se obtiene LT como:

$$LT = \frac{1}{(2\pi fo1)^2 \cdot A}$$

**Mediciones:**

- fo1 = 12.34MHz.
- fo2 = 9.87MHz.
- **Con lo que LT = 0.520uH.**

Utilizando el valor de capacidad total calculado y reemplazando en la ecuación para resonancia:

**Finalmente: fo = 16.1MHz.**

**Q descargado**

**Quitando la resistencia de carga** y poniendo el circuito en resonancia **se agrega Rx en serie con el generador**. Se midió la **tensión vi en el punto de inserción al circuito** y **vo en el nodo L-C1-C3**.

Para estas condiciones y en resonancia, se cumple:

$$vo = vi \frac{Rp}{Rp + Rx}, \quad \text{despejamos :} \quad Rp = \frac{Rx}{\frac{vi}{vo} - 1}$$

Y por último el Q descargado:

$$Q_{desc} = \frac{Rp}{2\pi fo \cdot LT}$$

**Mediciones:**

- $f_o = 12.34\text{MHz}$ .
- $v_i = 2\text{Vpp}$ .
- $v_o = 0.49\text{Vpp}$ .
- **Con lo que:  $R_p = 4.87\text{K}\Omega$ .**

**Finalmente:  $Q_{desc} = 120$ .**

## Impedancia de salida

En este caso se cambio el punto de **insercion de señal al nodo C1-C2** y se puso el circuito en resonancia. Seguidamente se midio en el nodo C3-C4 la **tension  $v_o(vac)$  sin carga** y luego se midio la tension  **$v_o$  agregando la carga.**

Considerando el equivalente de Thevenin del circuito, se cumple:

$$v_o = v_{o_{vac}} \frac{RL}{RL + Z_o}, \quad \text{despejamos:} \quad Z_o = \left( \frac{v_{o_{vac}}}{v_o} - 1 \right) RL$$

**Mediciones:**

- $v_o(vac) = 7.1\text{Vpp}$ .
- $v_o = 4.2\text{Vpp}$ .

**Finalmente:  $Z_o = 690\text{ }\Omega$ .**

## Impedancia de entrada

En este caso se midio la tension  **$v_i(vac)$  del generador sin conectar** y luego se midio la **tension  $v_i$  sobre el nodo C1-C2.**

Considerando el equivalente de Thevenin del circuito y tomando  $R_g = 50\text{ }\Omega$  del generador, se cumple:

$$v_i = v_{i_{vac}} \frac{Z_i}{Z_i + R_g}, \quad \text{despejamos} \quad Z_i = \left( \frac{R_g}{\frac{v_{i_{vac}}}{v_i} - 1} \right)$$

**Mediciones:**

- $v_i(vac) = 2\text{Vpp}$ .
- $v_i = 0.71\text{Vpp}$ .

**Finalmente:  $Z_o = 27.5\text{ }\Omega$ .**

## BW y respuesta en frecuencia

Por ultimo con el circuito en **resonancia y con carga**, se midio a la salida la **tension  $v_o(res)$**  y se fue variando la frecuencia hacia arriba y abajo hasta que la **salida decayo al 0.707 (-3dB) de  $v_o(res)$** . De esta forma se obtuvieron las frecuencias de corte  $f_l$  y  $f_h$  y el BW como la diferencia entre ellas.

**Mediciones:**



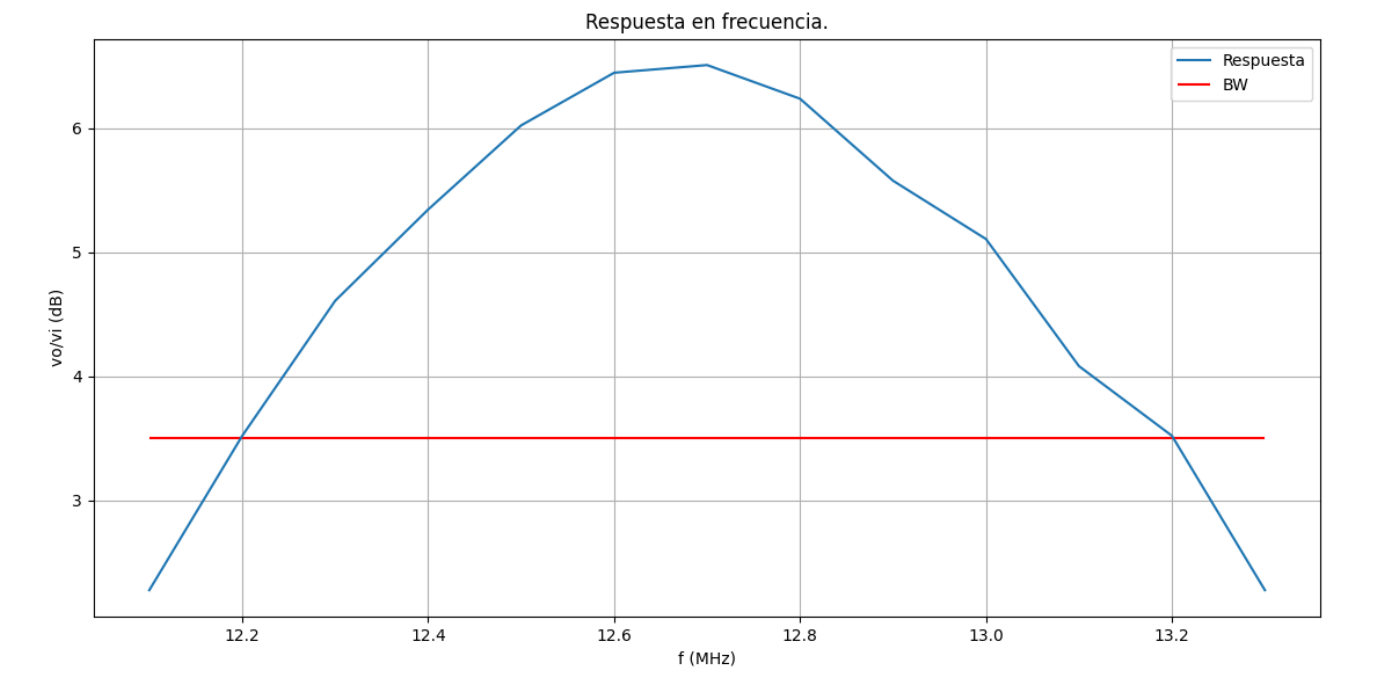
- $v_o(\text{res}) = 4.2\text{Vpp}$ .
- $v_o(-3\text{dB}) = 2.97\text{Vpp}$ .
- **$f_l = 12.2\text{ MHz}$ .**
- **$f_h = 13.2\text{ MHz}$ .**

**Finalmente: BW = 1MHz.**

Adicionalmente se realizo una tabla para la tension de salida con  $v_i = 2\text{Vpp}$  y variando la frecuencia en pasos de 100KHz.

<b>f (MHz)</b>	<b>vo(Vpp)</b>
12.1	2.6
12.2	3
12.3	3.4
12.4	3.7
12.5	4
12.6	4.2
12.7	4.23
12.8	4.1
12.9	3.8
13.0	3.6
13.1	3.2
13.2	3
13.3	2.6

Y se graficaron los puntos en **Python**:



Resultados finales

Param	Valor	Error porcentual
LT	0.520 uH	2.2%
fo	16.1 MHz	Menos del 1%
BW	1 MHz	37.5%
Zi	27.5 Ohm	45%
Zo	690 Ohm	31%
Rp	4.87 KOhm	69.5%
Qdesc	120	-

Anexo:

Script de diseño/Simulaciones:  
<https://github.com/Clifferto/carrerpath/tree/analogica3/nationalUniversity/2022/analogElectronics3/lab1>