

# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

22.42 LABORATORIO DE ELECTRÓNICA

---

## Trabajo práctico 4

---

### *Grupo 7*

STEWART HARRIS, María Luz	57676
PARRA, Rocío	57669
PIERDOMINICI, Matías Nicolás	57498
GONZÁLEZ ORLANDO, Tomás Agustín	57090

### *Profesores*

COSSUTTA, Pablo Martín  
WEILL, María Alejandra  
SALVATI, Matás Damián

Presentado: 26/10/2018

# Índice

<b>1</b>	<b>Comparación de los metodos de medición de equilibrio de puentes</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Puente de Wien</b>	<b>3</b>
2.1	Diseño del puente . . . . .	3
2.1.1	Elección de componentes . . . . .	3
2.1.2	Analisis de sensibilidad . . . . .	3
2.1.3	Mediciones . . . . .	6
2.1.4	Convergencia del puente . . . . .	6
2.1.5	Conclusión . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Medición de capacitores</b>	<b>7</b>
3.1	Elección de componentes . . . . .	7
3.2	Analisis de sensivilidades . . . . .	8
3.3	Calculo del error . . . . .	8
3.4	Convergencia . . . . .	9
3.5	Manual de uso . . . . .	10
3.6	Mediciones . . . . .	10
3.6.1	Analizador de impedancia . . . . .	10
3.6.2	Puente . . . . .	11
3.7	Conclusión . . . . .	12

# **1 Comparación de los metodos de medición de equilibrio de puentes**

## **Osciloscopio**

El osciloscopio es un instrumento que no permite visualizar una tensión en el tiempo, por ende nos permite visualizar el punto de equilibrio del puente. Se varían las variables de ajuste de tal manera de que la amplitud de la señal de salida del puente sea lo menor posible. Pero el equipo es sensible al ruido, provocando que sea difícil encontrar el mínimo. Sin embargo, se podría medir en vez de la tensión, el cambio abrupto de fase provocado en el equilibrio, otorgando una mayor precisión.

## **Multímetro de precisión**

En contraposición del osciloscopio, no permite visualizar la señal en el tiempo, sin embargo se puede medir el valor RMS de la señal de salida y variando las variables de ajuste permite encontrar el mínimo de la señal. Como el quipo realiza el valor medio de la señal, es menos susceptible al ruido. Además no se depende del observador para hallar gráficamente el mínimo de la señal, debido a que el multímetro devuelve números. Sin embargo no permite detectar el cambio de fase que ocurre en el equilibrio.

## **Amplificador de Instrumentación**

Por si solo no permite medir el equilibrio, sino que se lo tiene que utilizar con alguno de los equipos ya mencionados. Este dispositivo permite eliminar las señales de modo común que provienen del circuito, por ejemplo el ruido. Por ende permite mejorar la medición. Combinándose con el osciloscopio otorgaría una mejor medición de la tensión de salida y además se podría observar las fase.

## 2 Puente de Wien

### 2.1 Diseño del puente

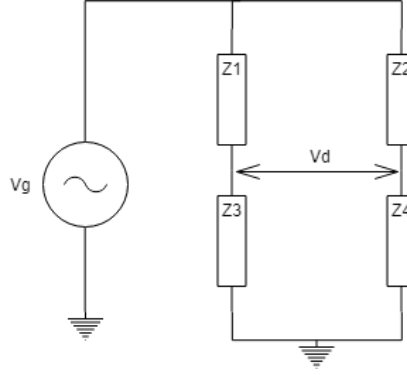


Figura 1: Puente con Impedancias genericas

La tensión de salida del puente de la figura 1, es  $V_d = V_g \frac{Z_3 Z_2 - Z_1 Z_4}{(Z_1 + Z_3)(Z_2 + Z_4)}$ . En el equilibrio ( $V_d = 0$ ), se cumple que  $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$ . En el caso del puente de Wien  $Z_1 = R_1 + \frac{1}{sC_1}$ ,  $Z_2 = R_2$ ,  $Z_3 = R_3 + \frac{1}{sC_3}$  y  $Z_4 = R_4$ . En el equilibrio se cumple que  $\frac{C_3 R_1}{C_1 R_3} = \frac{R_2}{R_4}$  y  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_3 C_1 C_3}}$ . Si  $R = R_1 = R_3$ ,  $C = C_1 = C_3$  y  $R_2 = 2R_4$  entonces  $f = \frac{1}{2\pi RC}$ .

#### 2.1.1 Elección de componentes

Asumiendo que  $R = R_1 = R_3$ ,  $C = C_1 = C_3$  y  $R_2 = 2R_4$ , se obtuvo que  $f = \frac{1}{2\pi RC}$ . El intervalo de frecuencias que se desea medir es  $f \in [10KHz, 100KHz]$ , fijando  $C = 820pF$ ,  $R_2 = 20K\Omega$  y  $R_4 = 10K\Omega$  entonces  $R \in \left[ \frac{1}{2\pi f_{max} C}, \frac{1}{2\pi f_{min} C} \right] = [1941\Omega, 19409\Omega]$ . Para conseguir dichos valores de  $R$  se utilizó un preset de  $25K\Omega$ .

#### 2.1.2 Analisis de sensibilidad

Tal como ya fue mencionado,  $R = R_1 = R_3$  y dichas resistencias se implementaron con una resistencia de  $1.5K\Omega$  en serie con un preset de  $25K\Omega$ . El preset es de 25 vueltas y suponiendo que lo minimo que se puede girar es un cuarto de vuelta, definimos nuestro  $\Delta R = 250\Omega$ . A ademas se supuso que la maxima diferencia entre una resistencia de ajuste era  $\Delta R = 250\Omega$ , de esta manera se graficaron las sensibilidades de  $V_d$  respecto de  $R_1$  y  $R_3$  variando  $R$  en el rango indicado en la seccion anterior. Ademas se analizó la sensibilidad de  $V_d$  respecto a las mismas resistencias, pero variando la frecuencia en el rango de medición del puente.

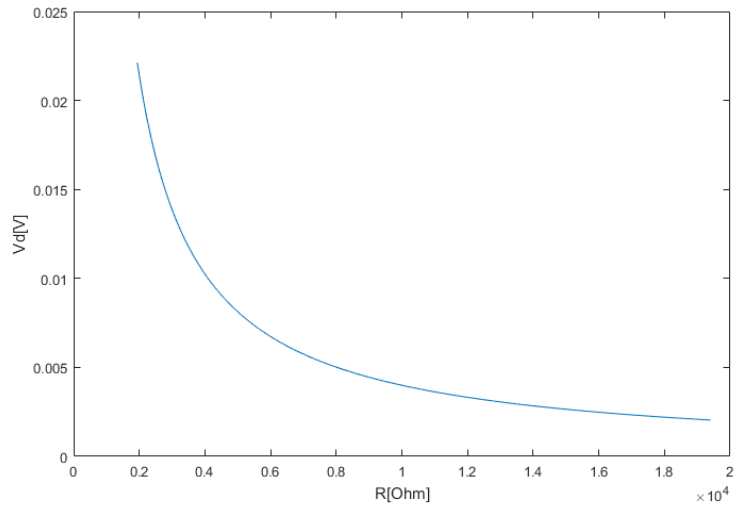


Figura 2: Sensibilidad de  $V_d$  respecto a  $R_3$

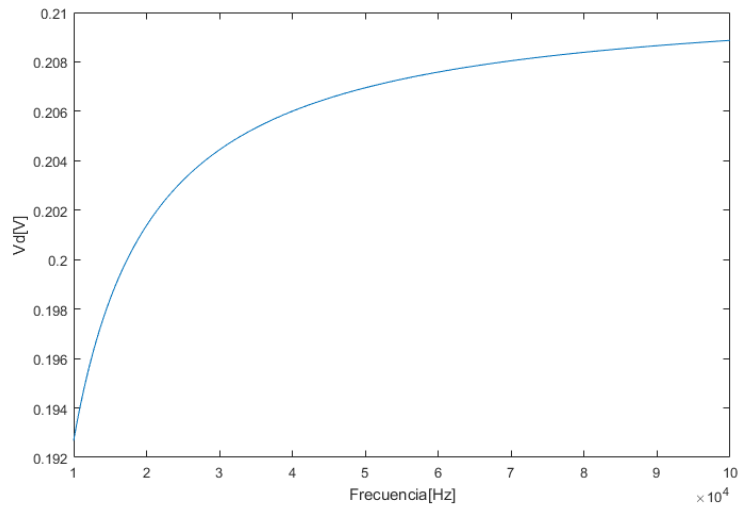


Figura 3: Sensibilidad de  $V_d$  respecto a  $R_3$  variando  $f$

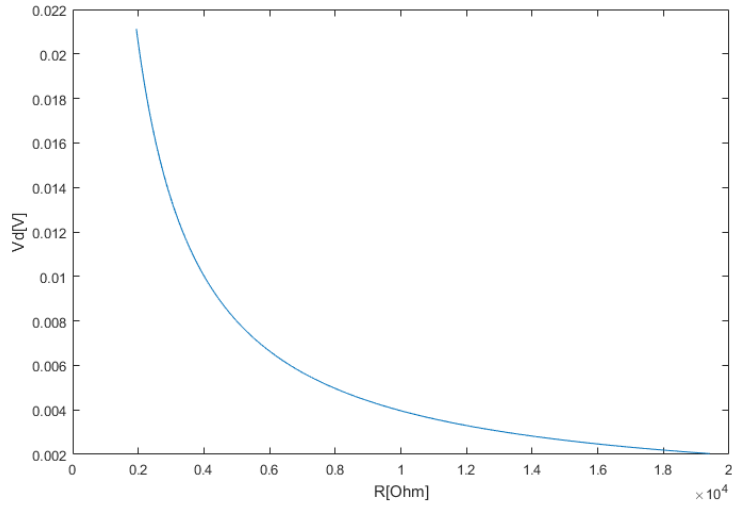


Figura 4: Sensibilidad de  $V_d$  respecto a  $R_1$

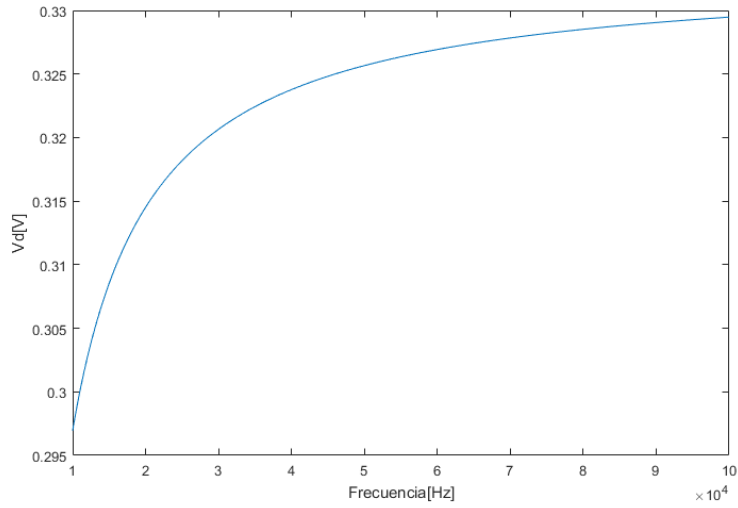


Figura 5: Sensibilidad de  $V_d$  respecto a  $R_1$  variando  $f$

Tal como se observa en ambas imagenes la sensibilidad de  $V_d$  respecto a ambas resistencias es practicamente la misma, por ende una resistencia no enmascara a la otra. Ademas la sensibilidad de ambas resistencias empeora al aumentar la frecuencia.

### 2.1.3 Mediciones

Se midieron las siguientes frecuencias:

Frecuencia generador [KHz]	$R_1 [K\Omega]$	$R_3 [K\Omega]$	Frecuencia calculada [KHz]	Error [ % ]
9.7	19.4	19.4	10	3.1
28.4	6.5	6.5	29.8	5.1
37.7	4.85	4.85	40	6.1
54.6	3.34	3.34	58.1	6.4
75.5	2.76	2.76	70	6.8
106.5	1.94	1.94	99	8.7

Table 1: Mediciones de frecuencias.

### 2.1.4 Convergencia del puente

Para analizar la convergencia del puente, se realizó un grafico de  $V_d(R, f)$  en matlab variando R y f en los intervalos correspondientes.

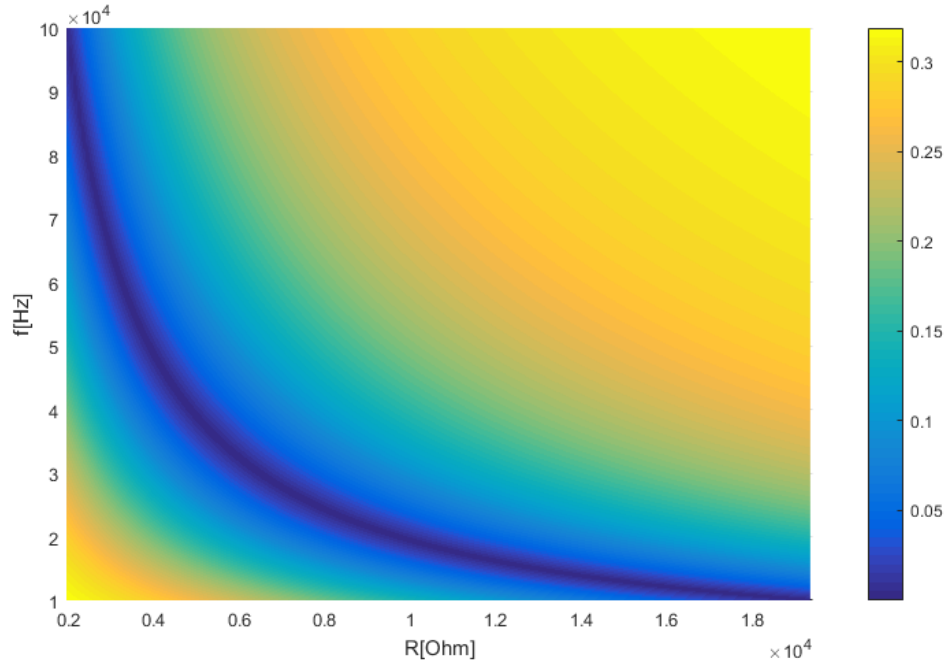


Figura 6: Grafico  $V_d(R, f)$

Como se observa en la figura 6, hay una unica franja violeta (minimo), esto quiere decir, que existe un

unico valor de  $R$  para cada frecuencia  $f$  que genera un minimo de  $V_d$ .

### 2.1.5 Conclusión

Como la convergencia del puente es unica para cada vlor de resistencia el puente no necesita un manual para su utilizacion. En cuanto al error que obtuvimos en la medicion lo atribuímos a que la medicion se realizón con el osiloscopio y sin amplificador de instrumentacion, ademas de a las tolerancias del 10 % en los capacitores, ademas al hecho que al aumentar la frecuencia aumenta la sensivilidad frente a las variables de ajuste, dicho fenomeno se observa en el hecho de que el error aumenta con el aumento de la frecuencia.

## 3 Medición de capacitores

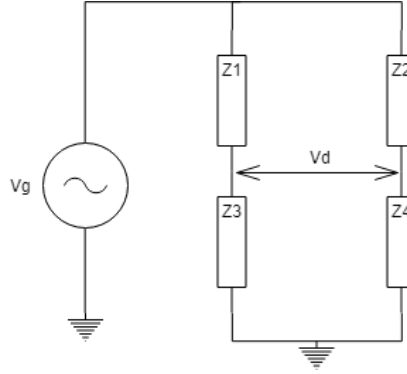


Figura 7: Puente con Impedancias genericas

Se diseñó un puente que permita medir capacitores, en un rango de capacidad  $C \in [10nF, 100nF]$  y en un rango de factor de disipación  $D \in [0.015, 0.09]$ , para una frecuencia de 10KHz.

Partiendo del puente de la figura 7, donde  $V_d = \frac{Z_3}{Z_1+Z_3} - \frac{Z_4}{Z_2+Z_4}$ , en el equilibrio  $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$ . Reemplazando  $Z_1 = R_1 + \frac{1}{sC_1}$ ,  $Z_2 = R_x + \frac{1}{sC_x}$ ,  $Z_3 = R_3$  y  $Z_4 = R_4$ . En el equilibrio se cumple que  $C_x = \frac{C_1 R_3}{R_4}$ ,  $R_x = \frac{R_1 R_4}{R_3}$  y  $D_x = 2\pi f C_1 R_1$ .

### 3.1 Elección de componentes

Fijando  $C_1 = 3nF$  y  $R_3 = 1K\Omega$ , y a partir de las ecuaciones  $C_x = \frac{C_1 R_3}{R_4}$  y  $D_x = 2\pi f C_1 R_1$ , se obtuvieron los valores de las variables de ajuste,  $R_1 \in \left[ \frac{D_{min}}{2\pi f C_1 R_1}, \frac{D_{max}}{2\pi f C_1 R_1} \right] = [79.5\Omega, 477.46\Omega]$  y  $R_4 \in \left[ \frac{C_1 R_3}{C_{xmax}}, \frac{C_1 R_3}{C_{xmin}} \right] = [30\Omega, 300\Omega]$ .



La resistencia  $R_1$  se implementó con una resistencia de  $68\Omega$  en serie con dos presets de  $200\Omega$  y la resistencia  $R_4$  se implementó con una resistencia de  $20\Omega$  en serie con un preset de  $200\Omega$  y otro de  $100\Omega$ .

### 3.2 Analisis de sencivilidades

Para analizar la sencivilidad del puente, se grafico el cosciente de la sencivilidad de  $V_d$  respecto de  $R_1$  y  $R_2$ . y el objetivo es que dicho cociente se encuentre lo mejor posible ditribuido entre 0 y 1. Con los valores de los componentes indicados anteriormente se obtuvo el siguiente grafico del cosiente de las sencivilidades

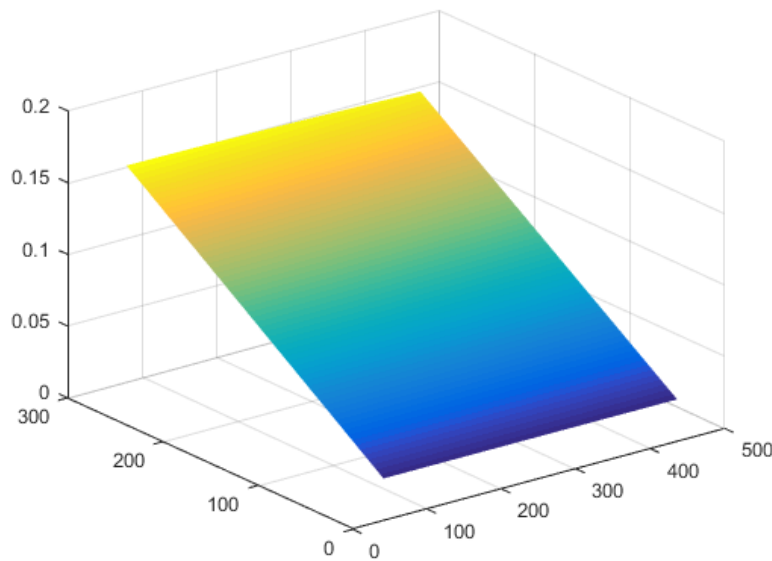


Figura 8: Cosciente de sencivilidades

Como se observa en el grafico al variar  $R_1$  y  $R_4$  se obtuvo una superficie acotada entre 0 y 1.

### 3.3 Calculo del error

Para calcular el error en la maedicion se tuvo que distinguir cuales fueron las fuentes de error en la medicion, supusimos que el error en analizador de impedancias es despreciable. Las fuentes de error que supusimos fueron las siguientes:

- El error en la medición de las resistencias por parte del ohmetro lo cosnideramos de  $1\Omega$

- Como  $V_d$  nunca llega a cero, y como la medicion se realizo con el voltimetro de banco consideramos que el error en la medicion de  $V_d$  es de 1mv ...

Conociendo que constructivamente  $R_1$  y  $R_4$  se realizaron con presets de  $200\Omega$ , estamos el  $\Delta R_1 = \Delta R_2 = 2\Omega$  (un cuarto de vuelta del preset).

$$S_{R_1}^{V_d} \Delta R_1 = \Delta V_d$$

$$\Delta R_1 = 8\Omega$$

Considerando el peor caso cuando se suman los errores, para  $\Delta R_1 = 8\Omega$ , ahora calculamos para  $C_x$ .

$$\Delta C_x = C_1 R_3 \frac{\Delta R_4}{R_4^2}$$

como en el peor caso  $R_4 = 30\Omega$

$$\Delta C_x = 3nF$$

y por ultimo, hay que hallar el error en  $D_x$ . Como  $D_x = 2\pi f C_1 R_1$ , entonces:

$$\Delta D_x = 2\pi f C_1 \cdot \Delta R_1$$

$$\Delta D_x = 0.0009$$

### 3.4 Convergencia

Se analizo si el puente convergia para un unico valor de  $R_1$  a un unico  $D_x$  y  $R_4$  a un unico  $C_x$ . Para ello se grafico vd en funcion de  $C_x$  y  $R_4$  en un caso y  $R_1$  ,  $D_x$  para el otro.

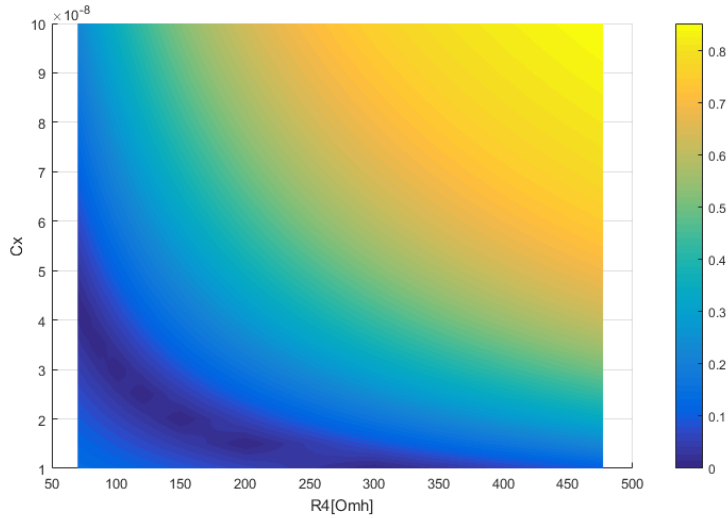


Figura 9: Convergencia de  $V_d$  respecto de  $R_4$  y  $C_x$

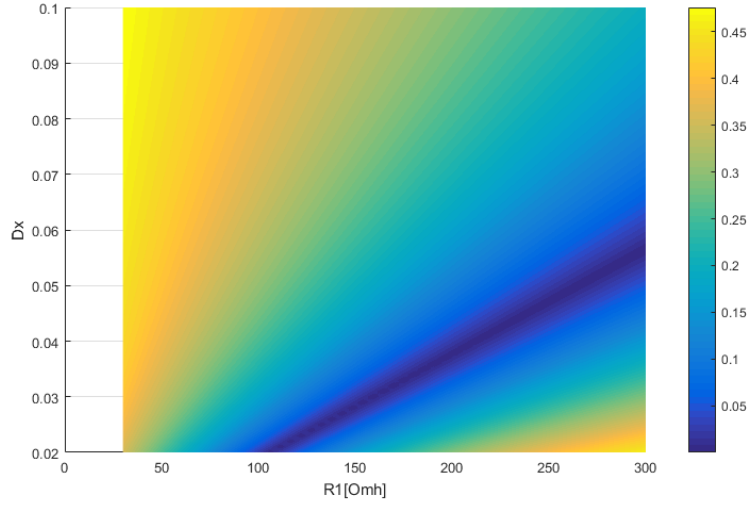


Figura 10: Convergencia de  $V_d$  respecto de  $R_1$  y  $D_x$

Como se observa en ambas figuras hay una unica franja violeta (minimo) de  $V_d$ , por ende la convergencia del puente es unica para cada  $C_x$  y  $D_x$ .

### 3.5 Manual de uso

Para poder medir en el puente, se recomienda primero ajustar el preset correspondiente a  $R_4$ , debido a que la sencivilidad del puentes es mallor respecto a dicha reisitencia, encontrando el minimo de  $V_d$ . Despues variar  $R_1$  para minimizar aun mas  $V_d$ . Posteriormente desconectar todos los elementos del puente y medir las resistencias  $R_4$  y  $R_1$ . Finalmente con las ecuaciones anteriormente mencionadas se obtiene el valor del capacitor medido, donde  $C_x = \frac{C_1 R_3}{R_4}$ ,  $R_x = \frac{R_1 R_4}{R_3}$  y  $D_x = 2\pi f C_1 R_1$ .

### 3.6 Mediciones

Se midieron los capacitores con el analizador de impedancias y con el puente.

#### 3.6.1 Analizador de impedancia

Frecuencia	C	D
1KHz	9.8nf	0.015
10KHz	9.6nF	0.023
100KHz	9.3nF	0.085

Table 2: Capacitor minimo

Frecuencia	C	D
$1KHz$	47.24nf	0.019
$10KHz$	26nF	0.003
$100KHz$	43.56nF	0.08

Table 3: Capacitor medio

Frecuencia	C	D
$1KHz$	108nf	0.018
$10KHz$	108nF	0.024
$100KHz$	102nF	0.083

Table 4: Capacitor maximo

Frecuencia	C	D
$1KHz$	186nf	0.01
$10KHz$	181nF	0.016
$100KHz$	171nF	0.08

Table 5: Capacitor doble del maximo

### 3.6.2 Puente

Se midió  $V_d$  con el voltmetro de banco

Frecuencia	C	D
$1KHz$	9.87nf	0.005
$10KHz$	9.9nF	0.013
$100KHz$	9.58nF	0.1

Table 6: Capacitor minimo

Frecuencia	C	D
$1KHz$	44.8nf	0.0013
$10KHz$	45.5nF	0.012
$100KHz$	42.4nF	0.13

Table 7: Capacitor medio

Frecuencia	C	D
$1KHz$	108nf	0.0013
$10KHz$	108nF	0.013
$100KHz$	89.6nF	0.14

Table 8: Capacitor maximo

Frecuencia	C	D
$1KHz$	115nf	0.003
$10KHz$	115nF	0.037
$100KHz$	115nF	0.3

Table 9: Capacitor doble del maximo

### 3.7 Conclusión

Como era de esperarse la medicion del capacitor al doble del maximo, no se pudo medir debido que el preset llego a su maximo. En cuanto a la medicion del  $D$  del capacitor en todos los casos nos dio mal, esto atribuimos a que se devio a un errado analisis de sencivilidades, y esto implico que al variar el preset correspondiente al  $D$  no se pudiese apreciar una variacion en el  $V_d$ . Ademas para mejorar la medición se tendria que haber meidido con un amplificador de instrumentación.