

Filtro "pasa-bajas" pasivo

Práctica 2

García Perez Angel Yair
Macías Márquez Misael Iván
Martínez Morales Isaac David
Facultad de Ciencias, UNAM

Jueves 20 de Marzo de 2022
Semestre 2022-1

Resumen: Se midió la resistencia interna de un generador de funciones haciendo uso de un osciloscopio, un potenciómetro y el principio del divisor de voltajes, la resistencia medida fue $R_{int} = (47.34 \pm 0.02)\Omega$. También se obtuvieron los diagramas de Bode para el filtro RC pasabajos y se comparó con la gráfica teórica de forma cualitativa, los diagramas obtenidos cumplieron con la tendencia esperada. Por ultimo se determinó la frecuencia de corte con valores sin incertidumbres del simulador, esta fue $f_c = 159Hz$.

Introducción

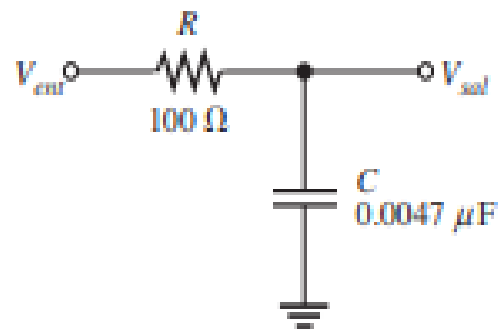
$$\Longleftrightarrow R_{int} + R = 2R$$

Objetivos

$$\Rightarrow R_{int} = R \quad (2)$$

1. Medir la resistencia interna del generador de funciones.
2. Obtener experimentalmente los diagramas de Bode para $v_0(t)$, es decir, V_0/V_m vs ω y ϕ vs ω .
3. Obtener la frecuencia de corte f_c (el objetivo de medir la frecuencia de corte f_c , con la amplitud y con el método del desfaseamiento no estaba en el video de la practica por lo que no se hizo).

Filtro RC pasabajos



Circuito con 2 resistencias en paralelo

En un circuito con una fuente de voltaje y con 2 resistencias conectadas en paralelo, la diferencia de potencial entre la segunda resistencia esta dada por:

$$V_{sal} = \frac{R}{R_{int} + R} V_{ent} \quad (1)$$

Si la diferencia de potencial V es la mitad de la original:

$$V_{sal} = \frac{1}{2} V_{ent}$$

Sustituyendo se llega a que:

$$\frac{1}{2} V_{sal} = \frac{R}{R_{int} + R} V_{ent}$$

Simplificando:

$$\frac{1}{2} (R_{int} + R) = R$$

Figura 1: Ejemplo de filtro RC pasabajos.

La figura 1 muestra un diagrama de bloques y una curva de respuesta general para un filtro pasabajos. El intervalo de frecuencias pasadas por un filtro dentro de límites especificados se llama banda de paso del filtro. El punto considerado como extremo superior del intervalo de la banda de paso está en la frecuencia crítica, f_c , como se ilustra en la figura 1.b. La frecuencia crítica (f_c) es la frecuencia a la cual el voltaje de salida del filtro es un 70.7% o cuando $R\omega C = 1$ del voltaje máximo. La frecuencia crítica del filtro se

conoce también como frecuencia de corte, frecuencia de ruptura, o frecuencia de 3 dB porque el voltaje de salida se encuentra a 3 dB por debajo de su valor máximo en esta frecuencia[1].

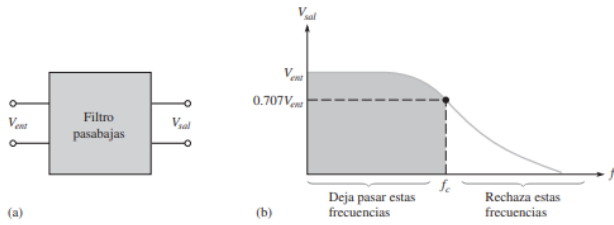


Figura 2:

Cuando la entrada es de 0 Hz, el voltaje de salida es igual al voltaje de entrada porque la reactancia del capacitor (X_C) es infinitamente grande. Conforme se incrementa la frecuencia de entrada, X_C disminuye y, por tanto, V_{sal} disminuye gradualmente hasta que se alcanza una frecuencia a la cual $X_C = R$. Esta es la frecuencia crítica, f_c , del filtro[1].

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_c C} = R$$

o bien

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Un condensador ideal tiene una reactancia X_C , que es un componente de la impedancia Z . Para una conexión en serie de resistencia y condensador el módulo de Z es[1]:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

En cualquier frecuencia, al aplicar la fórmula del divisor de voltaje, la magnitud del voltaje de salida es[1]:

$$V_{sal} = \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} V_{ent}$$

o bien

$$\frac{V_{sal}}{V_{ent}} = \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} = \frac{1}{\sqrt{R^2 \omega^2 C^2 + 1}} \quad (3)$$

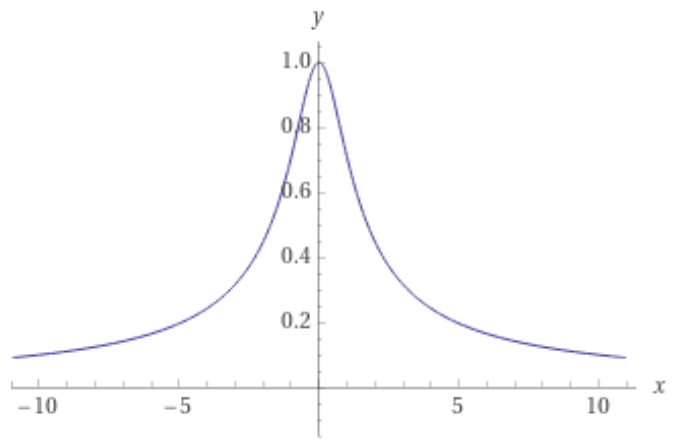


Figura 3: Gráfica de la ecuación 3 que depende de ω .

Además se tiene un ángulo de fase:

$$\phi = \tan^{-1} \frac{1}{R\omega C} - \frac{\pi}{2} \quad (4)$$

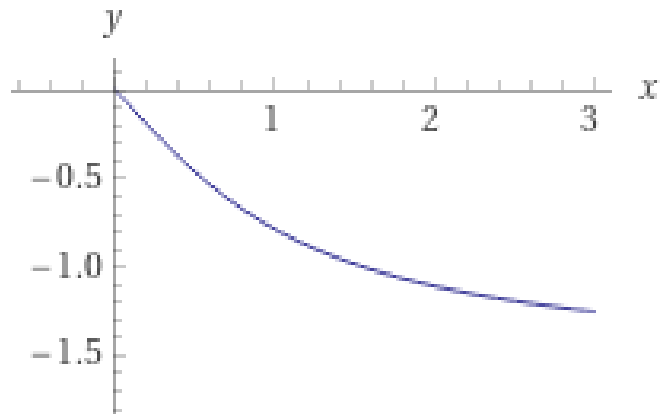


Figura 4: Gráfica de la ecuación 4 que depende de ω .

Metodología

PARTE I

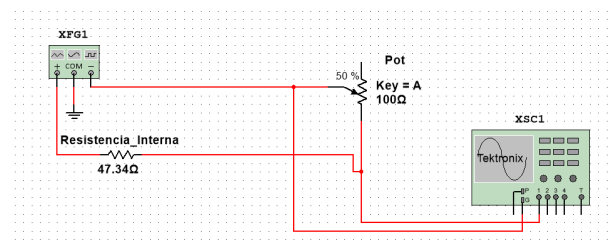


Figura 5: Arreglo experimental: simulación en Multisim, **XFG1** generador de funciones, resistencia interna del generador de funciones, potenciómetro 100 Ω , **XSC1** osciloscopio.

Para medir la resistencia interna del generador de funciones se utilizó un generador de funciones

SFG-2110, un osciloscopio DSO3062A, un multímetro digital DM3058 y un potenciómetro de 100Ω

El generador de funciones se utilizó para obtener un voltaje de $V_{ent} = 10V$, junto con su resistencia interna y con el potenciómetro se armó un circuito de tal manera que se cumpliera la ecuación 1 con R la resistencia del potenciómetro, R_{int} la resistencia del generador y V_{sal} es el voltaje medido con ayuda del Osciloscopio.

Para armar el circuito, debido a que la resistencia interna del generador esta adentro de este, solo se conectó la salida del generador de funciones a la terminal 1 del potenciómetro y la terminal 2 se conectó a la entrada del generador, con osciloscopio se midió el voltaje que había entre la terminal 1 y la 2.

Después de armar el circuito se varió la resistencia del potenciómetro hasta que el valor del voltaje medido con el osciloscopio fuera la mitad del voltaje original V_{ent} :

$$V_{sal} = \frac{1}{2}V_{ent}$$

Como vimos en la introducción, esto nos asegura que el valor de la resistencia del potenciómetro es igual al valor de la resistencia interna del generador de funciones.

De aquí, para encontrar la resistencia interna del generador de funciones, solo basta con medir la resistencia del potenciómetro con ayuda de el multímetro.

PARTE II

En el simulador Multisim se utilizaron osciloscopios Tektronix TD1000 ,1 generador de funciones Agilent 33120A 15MHz Function, 1 capacitor de $1\mu F$, 2 resistencias de 47.34Ω y $1k\Omega$.

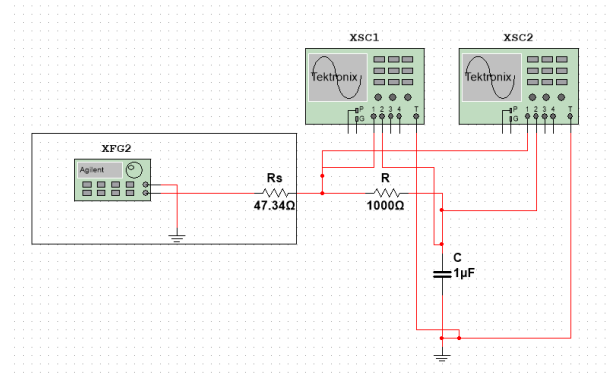


Figura 6: Arreglo experimental: simulación en Multisim, XSC1 y XSC2 osciloscopios, XFG2 generador de funciones, R_s resistencia interna del generador de funciones, R resistencia, C capacitor.

El generador de funciones se configuró con una amplitud de $1V$ y con un rango de frecuencias de $50Hz - 1500Hz$ pasando de 50 en 50 , con el primer osciloscopio se midió la amplitud del voltaje y periodo con ayuda de la función measure, el segundo fue utilizado para medir el desfase de los voltajes obtenidos en el eje horizontal haciendo uso de los cursores y ajustando la escala de forma conveniente.

Resultados y Observaciones

PARTE I

Después de seguir los pasos, se midió la resistencia del potenciómetro y se obtuvo que el valor de la resistencia interna es:

$$R_{int} = (47.34 \pm 0.02)\Omega$$

Donde la incertidumbre esta dada por:

$$\begin{aligned}\delta R_{int} &= \pm((47.34) \times 0.030\% + (200) \times 0.005\%)\Omega \\ &= \pm(0.014202 + 0.01)\Omega \\ &= \pm 0.024202\Omega\end{aligned}$$

PARTE II

Las mediciones de voltajes y tiempos obtenidos se pueden encontrar en una tabla en el apéndice, para calcular las incertidumbres de cada medición se utilizó el manual del instrumento usado.

$$\delta V = 3\% * \text{medición} + 0.01 * \text{medida del intervalo} + 1mV$$

$$\delta T = 50ppmT = \frac{5T}{100000}$$

$$\delta\Delta t = (\text{medida del intervalo} + 100\text{ppm} * \text{medición} + 0.6\text{ns})$$

$$\delta f = 20\text{ppm}f = \frac{2f}{100000}$$

Para determinar la incertidumbres para el ángulo de fase y el cociente de voltajes se utilizó la regla de derivación y suma por cuadraturas de la siguiente forma:

$$\delta\left(\frac{V_{sal}}{V_{ent}}\right) = \sqrt{\left(\frac{\delta V_{sal}}{V_{ent}}\right)^2 + \left(\frac{V_{ent}\delta V_{sal}}{V_{sal}^2}\right)^2}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(1k\Omega)(1\mu F)} = 159Hz$$

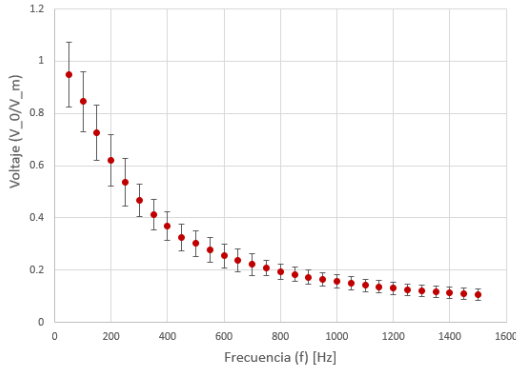


Figura 7: Grafica V_{sal}/V_{ent} vs ω .

$$\delta\phi = 360^\circ \sqrt{\left(\frac{\delta\Delta t}{T}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t\delta T}{T^2}\right)^2}$$

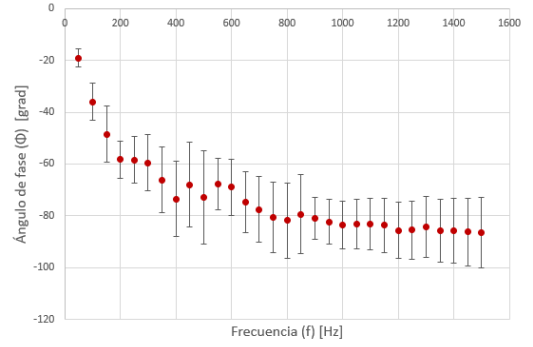


Figura 8: Grafica ϕ vs ω .

Conclusión

El valor de la resistencia interna del generador de funciones SFG-2110 es:

$$R_{int} = (47.34 \pm 0.024202)\Omega$$

Los diagramas de Bode mostrados en las figuras 7 y 8 parecen cumplir con lo esperado graficado en las figuras 3 y 4.

La frecuencia de corte es:

$$f_c = 159Hz$$

Referencias

- [1] William Hart Hayt, Jack Ellsworth Kemmerly, Jamie D Phillips, and Steven M Durbin. 2019. *Análisis de Circuitos En Ingeniería*. Ciudad De México McGraw Hill Interamericana S.A. De C.V.
- [2] Floyd, Thomas L. *Principios De Circuitos electricos* (8a. Ed.). Naucalpan de Juarez: Pearson Educacion, 2007.

Anexos

Incertidumbres para el multímetro Rigol

Características DC

Especificaciones de precisión (% de lectura + % del rango) ^[1]				
Función	Rango ^[2]	Test actual o tensión de carga	1 Año 23°C±5°C	Coefficiente Temperatura 0 °C a 18 °C 28 °C a 55 °C
DC Tensión	200.000mV		0.015 + 0.004	0.0015+0.0005
	2.00000V		0.015 + 0.003	0.0010+0.0005
	20.0000V		0.015 + 0.004	0.0020+0.0005
	200.000V		0.015 + 0.003	0.0015+0.0005
	1000.00V ^[4]		0.015 + 0.003	0.0015+0.0005
DC Corriente ^[8]	200.000uA	<8mV	0.055 + 0.005	0.003+0.0010
	2.00000mA	<80mV	0.055 + 0.005	0.002+0.001
	20.0000mA	<0.05V	0.095 + 0.020	0.008+0.001
	200.000mA	<0.5V	0.070 + 0.008	0.005+0.001
	2.00000A	<0.1V	0.170 + 0.020	0.013+0.001
	10.0000A ^[5]	<0.3V	0.250 + 0.010	0.008+0.001
Resistencia ^[3]	200.000Ω	1mA	0.030 + 0.005	0.0030+0.0006
	2.00000kΩ	1mA	0.020 + 0.003	0.0030+0.0005
	20.0000kΩ	100uA	0.020 + 0.003	0.0030+0.0005
	200.000kΩ	10uA	0.020 + 0.003	0.0030+0.0005
	2.00000MΩ	1uA	0.040 + 0.004	0.0040+0.0005
	10.0000MΩ	200nA	0.250 + 0.003	0.0100+0.0005
	100.000MΩ	200nA 10MΩ	1.75 + 0.004	0.2000+0.0005
Test diodos	2.0000V ^[6]	1mA	0.05 + 0.01	0.0050+0.0005
Continuidad	2000Ω	1mA	0.05 + 0.01	0.0050+0.0005

Figura 9: Tabla de incertidumbres para el multímetro Rigol DM3058 digital.

Incertidumbres para el osciloscopio Tektronix

Oscilloscope Specifications (Cont.)

Horizontal		
Sample Rate Range	TDS1002, TDS1012, TDS2002, TDS2012 and TDS2014	TDS2022 and TDS2024
	5 S/s to 1 GS/s	5 S/s to 2 GS/s
Waveform Interpolation	(sin x)/x	
Record Length	2500 samples for each channel	
SEC/DIV Range	TDS1002, TDS1012, TDS2002, TDS2012 and TDS2014	TDS2022 and TDS2024
	5 ns/div to 50 s/div, in a 1, 2.5, 5 sequence	2.5 ns/div to 50 s/div, in a 1, 2.5, 5 sequence
Sample Rate and Delay Time Accuracy	±50 ppm over any ≥ 1 ms time interval	
Delta Time Measurement Accuracy (Full Bandwidth)	<i>Conditions</i>	<i>Accuracy</i>
	Single-shot, Sample mode	±(1 sample interval + 100 ppm × reading + 0.6 ns)
	> 16 averages	±(1 sample interval + 100 ppm × reading + 0.4 ns)
	Sample interval = s/div ÷ 250	
Position Range	TDS1002, TDS1012, TDS2002, TDS2012 and TDS2014	
	5 ns/div to 10 ns/div	(-4 div × s/div) to 20 ms
	25 ns/div to 100 μs/div	(-4 div × s/div) to 50 ms
	250 μs/div to 50 s/div	(-4 div × s/div) to 50 s
	TDS2022 and TDS2024	
	2.5 ns/div to 5 ns/div	(-4 div × s/div) to 20 ms

Figura 10: Tabla de incertidumbres para el osciloscopio Tektronix TD1000 horizontal.

Oscilloscope Specifications (Cont.)

Vertical		
DC Gain Accuracy	±3% for Sample or Average acquisition mode, 5 V/div to 10 mV/div	
	±4% for Sample or Average acquisition mode, 5 mV/div and 2 mV/div	
DC Measurement Accuracy, Average Acquisition Mode	<i>Measurement Type</i>	<i>Accuracy</i>
	Average of ≥ 16 waveforms with vertical position at zero	±(3% × reading + 0.1 div + 1 mV) when 10 mV/div or greater is selected
	Average of ≥ 16 waveforms with vertical position not at zero	±[3% × (reading + vertical position) + 1% of vertical position + 0.2 div] Add 2 mV for settings from 2 mV/div to 200 mV/div Add 50 mV for settings from > 200 mV/div to 5 V/div
Volts Measurement Repeatability, Average Acquisition Mode	Delta volts between any two averages of ≥ 16 waveforms acquired under same setup and ambient conditions	±(3% × reading + 0.05 div)

Figura 11: Tabla de incertidumbres para el osciloscopio Tektronix TD1000 vertical.

Incertidumbres para el generador de funciones Agilent

FREQUENCY CHARACTERISTICS

Sine:	100 μ Hz – 15 MHz
Square:	100 μ Hz – 15 MHz
Triangle:	100 μ Hz – 100 kHz
Ramp:	100 μ Hz – 100 kHz
Noise (Gaussian):	10 MHz bandwidth
Arbitrary Waveforms:	
8 to 8,192 points:	100 μ Hz – 5 MHz
8,193 to 12,287 points:	100 μ Hz – 2.5 MHz
12,288 to 16,000 points:	100 μ Hz – 200 kHz
Resolution:	10 μ Hz or 10 digits
Accuracy:	10 ppm in 90 days, 20 ppm in 1 year, 18°C – 28°C
Temperature Coefficient:	< 2 ppm / °C
Aging:	< 10 ppm / yr

Figura 12: Tabla de incertidumbres para el osciloscopio Tektronix TD1000.

Tabla de mediciones y cálculos

frecuencia (f) [Hz]	Periodo (T) [ms]	Δt [ms]	Angulo de fase (ϕ) [grad]	Voltaje de entrada (V_{ent}) [mV]	Voltaje de salida (V_{sal}) [mV]	$\frac{V_{sal}}{V_{ent}}$
50 \pm 0.001	20 \pm 1.00 E-03	1.06 \pm 0.20	19.08 \pm 3.60	99.5 \pm 9.0	94.5 \pm 8.8	0.95 \pm 0.12
100 \pm 0.002	10 \pm 5.00 E-04	1 \pm 0.20	36 \pm 7.20	98.5 \pm 9.0	83.3 \pm 8.5	0.85 \pm 0.12
150 \pm 0.003	6.67 \pm 3.34 E-04	0.9 \pm 0.20	48.58 \pm 10.80	97.5 \pm 8.9	70.8 \pm 8.1	0.73 \pm 0.11
200 \pm 0.004	5 \pm 2.50 E-04	0.81 \pm 0.10	58.32 \pm 7.21	96.9 \pm 8.9	60.1 \pm 7.8	0.62 \pm 0.10
250 \pm 0.005	4 \pm 2.00 E-04	0.65 \pm 0.10	58.5 \pm 9.01	96.4 \pm 8.9	51.7 \pm 7.6	0.54 \pm 0.09
300 \pm 0.006	3.33 \pm 1.67 E-04	0.55 \pm 0.10	59.46 \pm 10.82	96.1 \pm 8.9	44.9 \pm 4.3	0.47 \pm 0.06
350 \pm 0.007	2.86 \pm 1.43 E-04	0.525 \pm 0.10	66.08 \pm 12.59	95.7 \pm 8.9	39.5 \pm 4.2	0.41 \pm 0.06
400 \pm 0.008	2.5 \pm 1.25 E-04	0.51 \pm 0.10	73.44 \pm 14.41	95.8 \pm 8.9	35.3 \pm 4.1	0.37 \pm 0.05
450 \pm 0.009	2.2 \pm 1.10 E-04	0.415 \pm 0.10	67.91 \pm 16.37	95.5 \pm 8.9	31 \pm 3.9	0.32 \pm 0.05
500 \pm 0.010	2 \pm 1.00 E-04	0.405 \pm 0.10	72.9 \pm 18.01	95.5 \pm 8.9	28.9 \pm 3.9	0.3 \pm 0.05
550 \pm 0.011	1.82 \pm 9.10 E-05	0.342 \pm 0.05	67.66 \pm 9.90	95.5 \pm 8.9	26.4 \pm 3.8	0.28 \pm 0.05
600 \pm 0.012	1.67 \pm 8.35 E-05	0.32 \pm 0.05	68.98 \pm 10.79	95.4 \pm 8.9	24.3 \pm 3.7	0.25 \pm 0.05
650 \pm 0.013	1.54 \pm 7.70 E-05	0.32 \pm 0.05	74.81 \pm 11.70	95.2 \pm 8.9	22.6 \pm 3.7	0.24 \pm 0.04
700 \pm 0.014	1.43 \pm 6.65 E-05	0.308 \pm 0.05	77.54 \pm 12.60	95.4 \pm 8.9	21.1 \pm 3.6	0.22 \pm 0.04
750 \pm 0.015	1.33 \pm 6.25 E-05	0.298 \pm 0.05	80.66 \pm 13.54	95.4 \pm 8.9	19.7 \pm 2.1	0.21 \pm 0.03
800 \pm 0.016	1.25 \pm 6.25 E-05	0.284 \pm 0.05	81.79 \pm 14.41	95.4 \pm 8.9	18.5 \pm 2.1	0.19 \pm 0.03
850 \pm 0.017	1.18 \pm 5.90 E-05	0.26 \pm 0.05	79.32 \pm 15.26	95.3 \pm 8.9	17.5 \pm 2.0	0.18 \pm 0.03
900 \pm 0.018	1.11 \pm 5.55 E-05	0.25 \pm 0.03	81.08 \pm 8.12	95.2 \pm 8.9	16.5 \pm 2.0	0.17 \pm 0.03
950 \pm 0.019	1.05 \pm 5.25 E-05	0.24 \pm 0.03	82.29 \pm 8.58	95 \pm 8.9	15.7 \pm 2.0	0.17 \pm 0.03
1000 \pm 0.020	1 \pm 5.00 E-05	0.232 \pm 0.03	83.52 \pm 9.01	95.1 \pm 8.9	14.9 \pm 1.9	0.16 \pm 0.03
1050 \pm 0.021	0.952 \pm 4.76 E-05	0.22 \pm 0.03	83.19 \pm 10.37	95 \pm 8.9	14.2 \pm 1.9	0.15 \pm 0.02
1100 \pm 0.022	0.909 \pm 4.55 E-05	0.21 \pm 0.03	83.17 \pm 10.81	95.1 \pm 8.9	13.5 \pm 1.9	0.14 \pm 0.02
1150 \pm 0.023	0.869 \pm 4.35 E-05	0.202 \pm 0.03	83.68 \pm 11.26	95.3 \pm 8.9	13 \pm 1.9	0.14 \pm 0.02
1200 \pm 0.024	0.833 \pm 4.17 E-05	0.198 \pm 0.03	85.57 \pm 11.71	95.2 \pm 8.9	12.4 \pm 1.9	0.13 \pm 0.02
1250 \pm 0.025	0.8 \pm 4.00 E-05	0.19 \pm 0.03	85.5 \pm 12.17	95.1 \pm 8.9	11.9 \pm 1.9	0.13 \pm 0.02
1300 \pm 0.026	0.769 \pm 3.85 E-05	0.18 \pm 0.03	84.27 \pm 12.61	95.1 \pm 8.9	11.5 \pm 1.8	0.12 \pm 0.02
1350 \pm 0.027	0.74 \pm 3.70 E-05	0.176 \pm 0.03	85.62 \pm 13.07	95.1 \pm 8.9	11.1 \pm 1.8	0.12 \pm 0.02
1400 \pm 0.028	0.714 \pm 3.57 E-05	0.17 \pm 0.03	85.71 \pm 13.52	95.2 \pm 8.9	10.7 \pm 1.8	0.11 \pm 0.02
1450 \pm 0.029	0.689 \pm 3.45 E-05	0.165 \pm 0.03	86.21 \pm 13.52	95.2 \pm 8.9	10.3 \pm 1.8	0.11 \pm 0.02
1500 \pm 0.030	0.666 \pm 3.33 E-05	0.16 \pm 0.03	86.49 \pm 13.52	95 \pm 8.9	10 \pm 1.8	0.11 \pm 0.02

Figura 13: Tabla de mediciones y cantidades calculadas con sus incertidumbres.