



Instituto Tecnológico de Buenos Aires  
28 de Septiembre de 2018

Fuentes Comutadas  
Trabajo de Laboratorio nº 3

---

## Laboratorio de Electronica

---

Grupo 7

<i>Nombre</i>	<i>Legajo</i>
Ariel Nowik	58309
Joaquín Mestanza	58288
Marcelo Regueira	58300
Martina Máspero	57120
Malea Muller	57057

---

## Índice

1. Variación en frecuencia de Vg	2
2. Variación de ciclo de trabajo de Vg	5
3. Encendido y apagado de la fuente	8
4. Ripple de la fuente	10
5. Tensión y Corriente sobre la Bobina	11
6. Tensión en el Colector y en la Base del Transistor	12
7. Medición de tensión Colector-Emisor en transistor	13

## 1. Variación en frecuencia de Vg

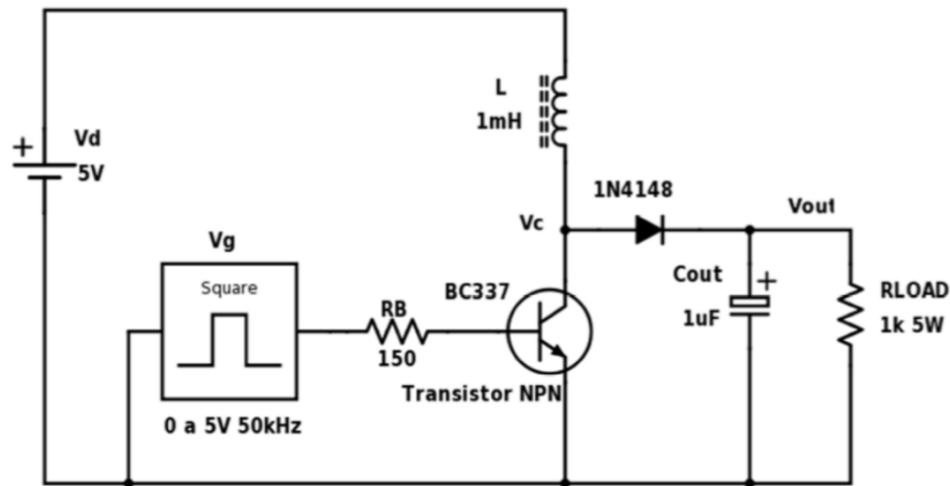


Figura 1: Circuito de la fuente conmutada

Para este primer caso, se utiliza una señal cuadrada oscilante entre 0V y 5V, con un duty del 50 % constante. Para mostrar los cambios que surgen en la señal de salida en un intervalo de frecuencias de 10KHz a 200KHz, se eligieron cinco configuraciones representativas: 10KHz, 50KHz, 100KHz, 150KHz y 200KHz, que se muestran a continuación.

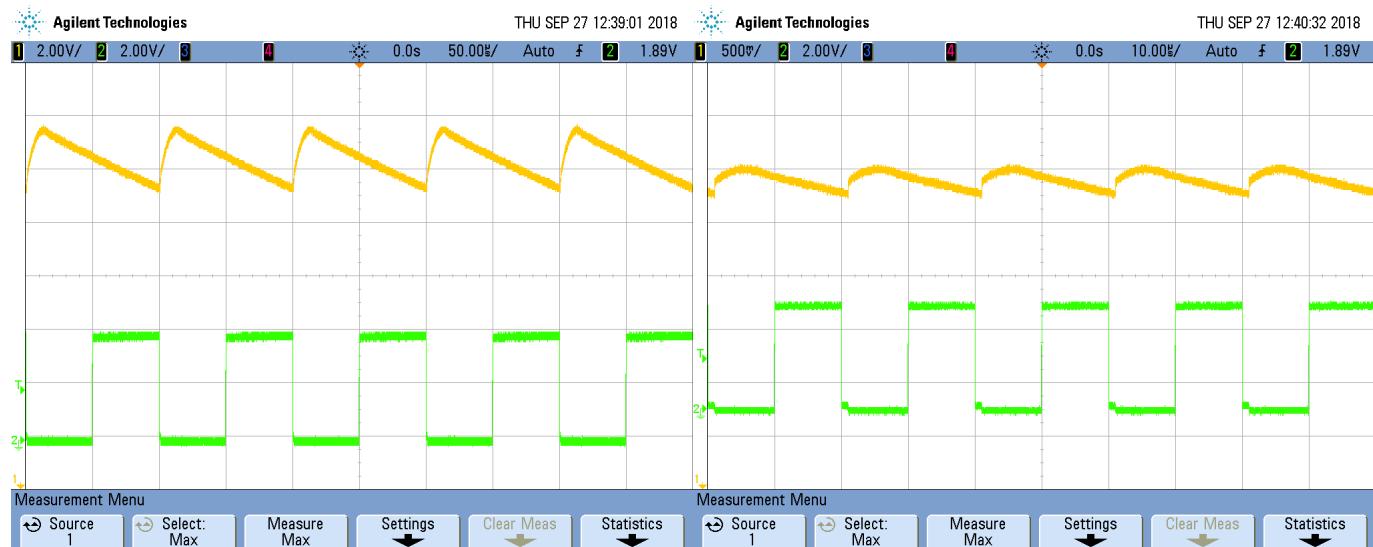
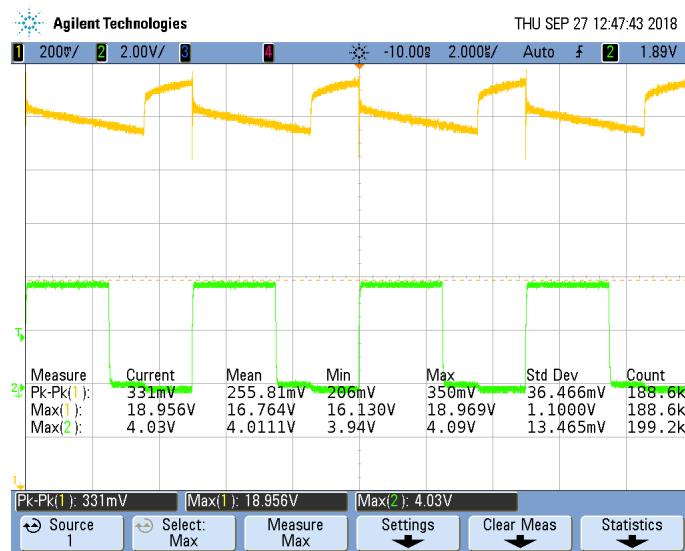


Figura 2: CH1: salida  $V_o$  - CH2: señal de excitación cuadrada a 10KHz (izquierda) y 50KHz (derecha)

Figura 3: CH1: salida  $V_o$  - CH2: señal de excitación cuadrada a 100KHz (izquierda) y 150KHz (derecha)Figura 4: CH1: salida  $V_o$  - CH2: señal de excitación cuadrada a 200KHz

En el circuito propuesto, el transistor trabaja en modo de corte y saturación, es decir, a modo de interruptor. Durante el semiciclo que la señal cuadrada está en nivel alto (5V), el transistor satura, produciendo una tensión  $V_{CE} \approx 0V$  de modo tal que, al estar en paralelo al circuito de salida el diodo 1N4148 no conduce, formándose en la salida un circuito  $RC$  donde el capacitor se descarga a través de la resistencia durante el tiempo que dura este estado, que es la mitad del período de la señal cuadrada. En el semiciclo donde la señal cuadrada vale 0V, el transistor entra en corte (es decir, no conduce), lo que produciría un cambio en la corriente del circuito. Dado que sobre la bobina la corriente no puede cambiar abruptamente, ésta genera la tensión necesaria que (como se verá luego en secciones posteriores) es negativa, para mantener la corriente constante. Es por esto que se observa en las mediciones que cuando el transistor entra en corte, el capacitor continúa descargándose un cierto tiempo más hasta que la diferencia de tensión en polarización directa sobre el diodo sea de 0,7V, de modo que conduce y el capacitor comienza a cargarse nuevamente, hasta que llega un nuevo semiciclo de la señal cuadrada donde vale 5V y el transistor satura, repitiéndose el proceso nuevamente.

En el peor caso, es decir a 10KHz, la mitad del período equivale a  $10\mu s$ . Si se lo compara con el tiempo característico  $R \cdot C = 1000\mu s$ , éste resulta mucho mayor, por ello el capacitor nunca llega a descargarse a 0V durante el tiempo en que el diodo no conduce. En las frecuencias más bajas, el capacitor alcanza a descargarse lo

suficiente como para que cuando el transistor entre en corte, la diferencia de tensión en el diodo sea mayor a  $0,7V$  en directa, comenzando a conducir en ese momento, a diferencia de lo que ocurre a mayores frecuencias, donde puede observarse que el capacitor requiere descargarse más tiempo luego de que el transistor entró en corte hasta que el diodo vuelva a conducir, llegando a su vez a cargarse a tensiones mayores.

## 2. Variación de ciclo de trabajo de Vg

En este caso, ahora se utilizará una frecuencia de  $50\text{KHz}$  constante, variando el ciclo de trabajo entre el 20 % y el 80 %. Como casos representativos, se tomaron valores con intervalos de a cada 10 %, entre los dos previamente mencionados. Las respuestas del circuito se muestran a continuación.

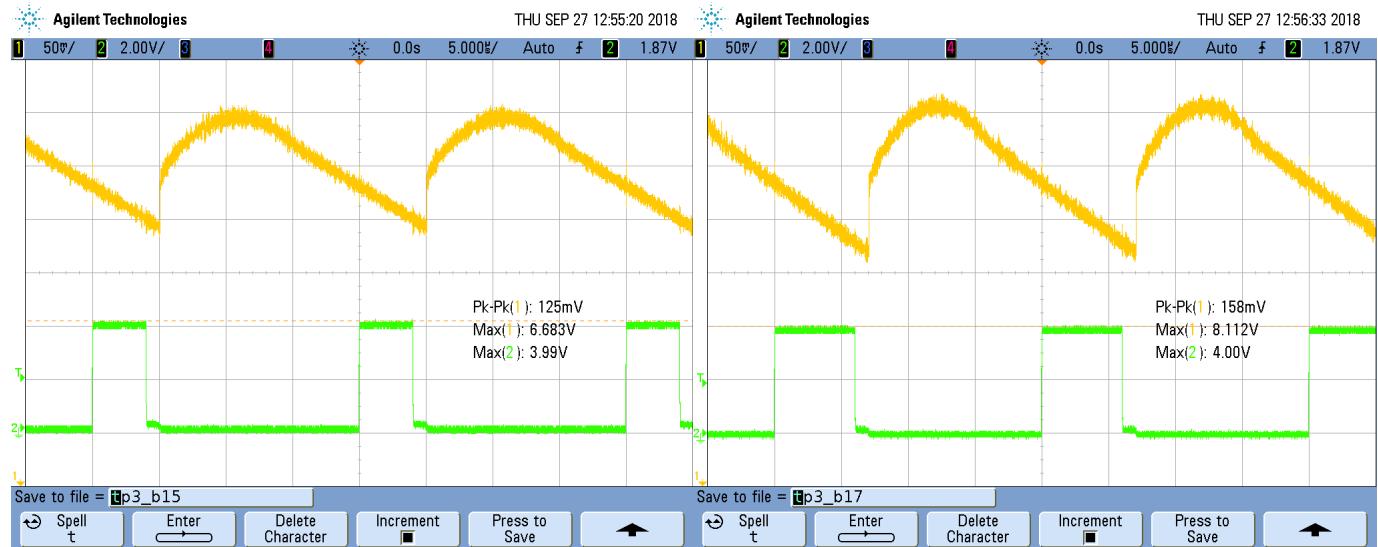


Figura 5: (Izquierdo): CH1:  $V_o$  - CH2: señal cuadrada al 20 % (Derecha): CH1:  $V_o$  - CH2: señal cuadrada al 30 %

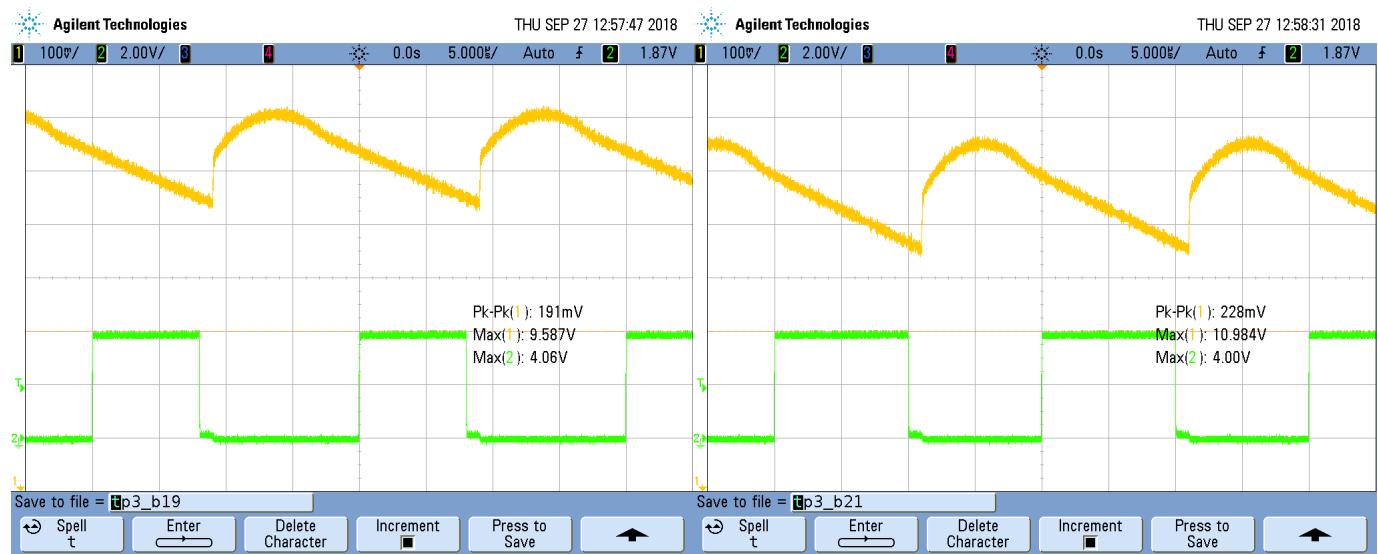
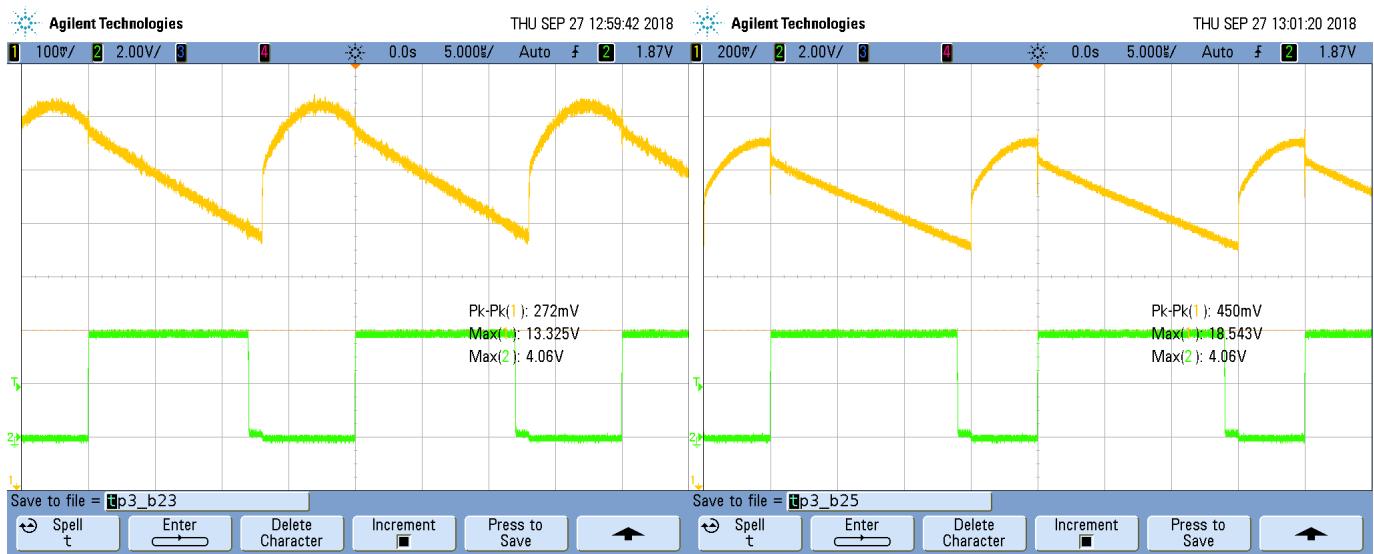


Figura 6: (Izquierdo): CH1:  $V_o$  - CH2: señal cuadrada al 40 % (Derecha): CH1:  $V_o$  - CH2: señal cuadrada al 50 %

Figura 7: (Izquierda): CH1:  $V_o$  - CH2: señal cuadrada al 60 % (Derecha): CH1:  $V_o$  - CH2: señal cuadrada al 70 %Figura 8: CH1: salida  $V_o$  - CH2: señal de excitación cuadrada al 80 %

De las mediciones obtenidas se tiene que, para dicha frecuencia, tanto el pico máximo de la tensión de salida como la tensión pico a pico aumenta a medida que se incrementa el porcentaje del duty cycle. A mayor duty, el transistor está más tiempo en modo saturación, por lo que el capacitor está mayor tiempo descargándose, resultando mayores los picos de carga cuando el transistor vuelve a estar en corte. Considerando que la energía en la bobina en un semiciclo debe ser la misma que en el otro, se toma primero con el transistor en saturación:

$$V_L = L \frac{di}{dt}$$

$$V_i = L \frac{\Delta i}{\Delta t} = L \frac{\Delta i}{D \cdot T}$$

$$\Delta i = \frac{V_i D T}{L}$$

Donde  $T$  es el período de la cuadrada y  $D$  el ciclo de trabajo (duty, que varía entre 0 y 1). Cuando el transistor está en corte (sin considerar la caída en el diodo 1N4148):

$$V_i - V_o \approx -L \frac{\Delta_i}{(1-D)T}$$

$$\Delta_i = -\frac{(V_i - V_o)(1-D)T}{L}$$

Como  $E_L = \frac{1}{2}L\Delta_i^2$ , siendo  $L$  constante, se igualan las  $\Delta_i$ :

$$\frac{V_i DT}{L} = -\frac{(V_i - V_o)(1-D)T}{L}$$

Donde despejando se obtiene que:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1-D}$$

Se compara en la siguiente tabla los valores de  $V_o$  obtenidos mediante la medición y con la aproximación resultante.

Duty	$V_o$ Medido	$V_o$ Aproximado
20 %	6,68V	6,25V
30 %	8,11V	7,14V
40 %	9,59V	8,33V
50 %	10,98V	10V
60 %	13,32V	12,5V
70 %	18,54V	16,67V
80 %	29,29V	25V

Figura 9: Comparación de  $V_o$  entre medido y aproximado

### 3. Encendido y apagado de la fuente

Empleando la fuente externa, al excitar con 5V el circuito de la figura 1, se observa la respuesta del mismo tanto en el encendido como en el apagado de la fuente. Para poder visualizar en el osciloscopio ambas respuestas, se procedió, para cada caso, de dos maneras diferentes. Una forma consistió en emplear el modo *Roll* y la otra en el modo *Single*.

Por un lado, se pone el instrumento en *Roll*, y una vez encendida o apagada la fuente, se detiene para poder observar el comportamiento luego del cambio del estado de la misma. Esto se hace con la señal cuadrada ya conectada. En la figura 10 se puede ver la respuesta del circuito al encenderse la fuente.



Figura 10: Respuesta del circuito al encendido de la fuente, en modo Roll.

En la figura 11 se puede ver con mayor precisión la respuesta del circuito al encenderse la fuente. El aumento de la tensión está acompañado por la presencia de picos. Si bien se ve que aumenta la tensión promedio, se observa una oscilación debida a la señal cuadrada que hace que el transistor permita o no el paso de corriente (es decir, commute), según si se encuentra en la parte alta o baja de dicha señal.

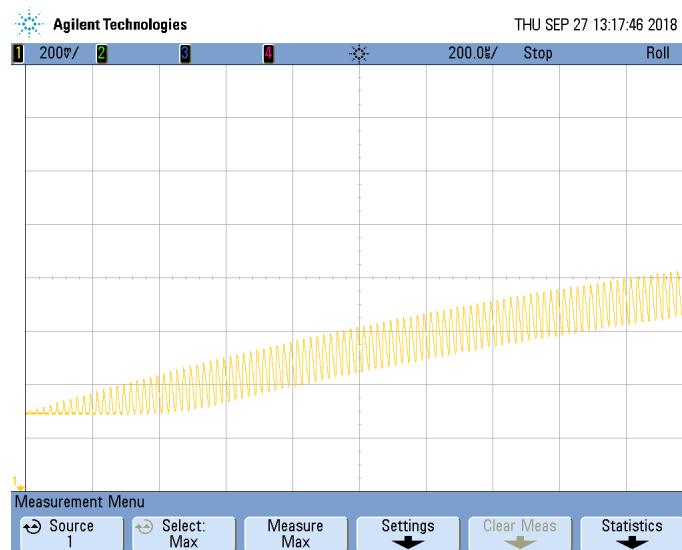
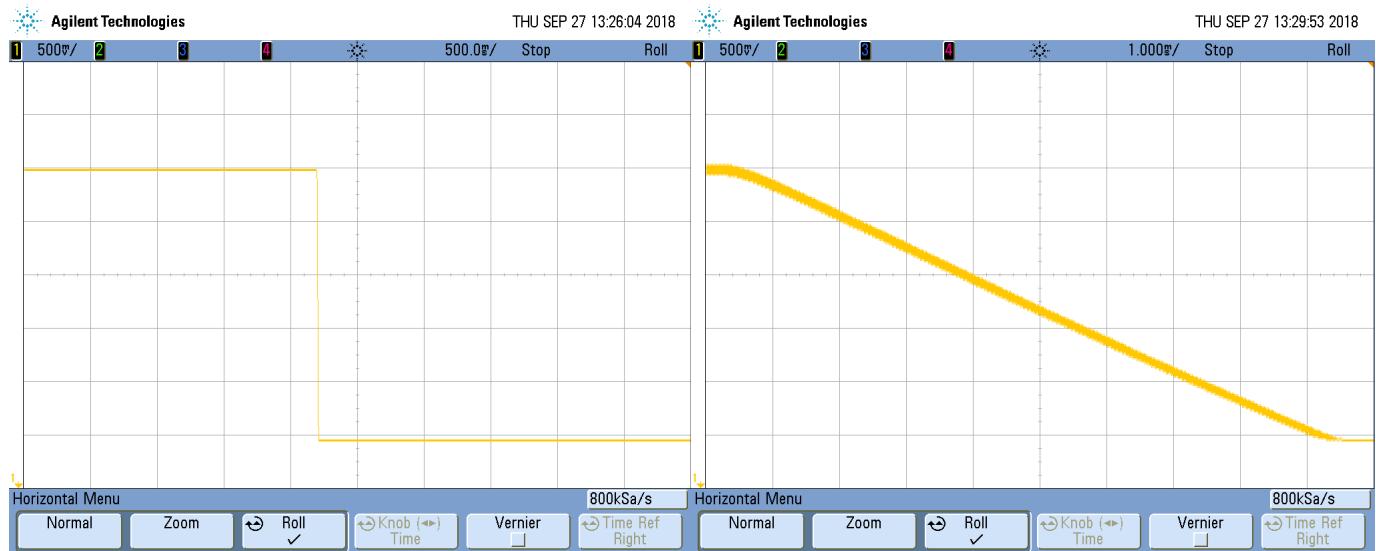


Figura 11: Detalle de la respuesta del circuito al encendido de la fuente, en modo Roll.

En la figura 12 se observa la respuesta del circuito al apagado de la fuente. En este caso, se puede observar

la misma oscilación explicada previamente debido a la presencia de la señal cuadrada, con la diferencia de que la tensión promedio de estos decrece en lugar de aumentar.



Por otro lado, en la figura 13 se puede ver la respuesta del circuito al encendido y al apagado de la fuente, pero empleando el *Single* del osciloscopio. A diferencia de las respuestas observadas empleando el *Roll* del osciloscopio, con *Single* no se observa el efecto oscilante provocado por la señal cuadrada y su efecto sobre el transistor para que commute.



## 4. Ripple de la fuente

Para poder observar el ripple de la fuente, se compara lo que ocurre con el circuito mismo y al agregar un capacitor en paralelo a la salida. En nuestro caso, dicho capacitor es de  $0,1\mu F$ . En la figura 14, a la izquierda se puede ver el ripple de la fuente sin haber agregado el capacitor, mientras que a la derecha se aprecia el efecto de agregar el capacitor previamente mencionado, en paralelo a la salida.

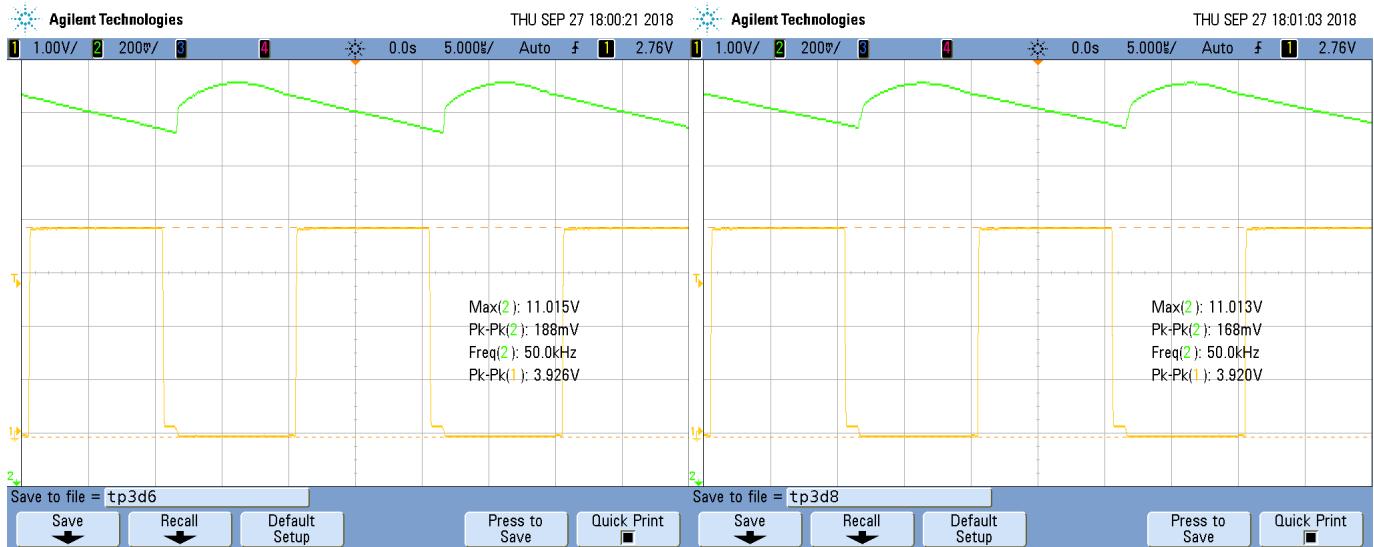


Figura 14: Ripple de la fuente sin agregar el capacitor (izquierda), y con el capacitor (derecha). CH1 (amarillo): señal cuadrada de entrada - CH2 (verde):  $V_o$

El valor pico a pico disminuye de  $188mV$  a  $168mV$  al agregar el capacitor en paralelo con la salida del circuito. Esto es debido a que, al conectarlo en paralelo la capacidad aumenta, aumentando a su vez el tiempo característico del circuito  $RC$  que se forma durante los momentos en los que se descarga, por lo que en esos momentos la tensión disminuye menos que sin el capacitor. Si bien esto indica que con el capacitor la salida tiende más a una señal continua, se puede decir que la diferencia que provoca la ausencia o presencia del capacitor es prácticamente despreciable.

## 5. Tensión y Corriente sobre la Bobina

Para la medición de la tensión en la bobina, se mide con cada canal entre los terminales de la bobina, de manera tal de con la funcionalidad *Math* del osciloscopio hacer la resta, obteniendo la medición que se muestra a continuación.



Figura 15: Tensión sobre la bobina.

Durante el tiempo que la señal cuadrada vale  $5V$ , el transistor satura, de manera tal que los  $5V$  de la fuente caen en la bobina. Cuando el transistor está en corte, la tensión en la bobina es de aproximadamente  $-6V$ .

Se incluyó en serie una resistencia de  $10\Omega$ , para poder medir la corriente. Tomando un intervalo  $\Delta_t = 2\mu s$ , se midió la diferencia de tensión en la resistencia en cuestión, obteniendo un valor de  $\Delta_{VR} = 130mV$ , por lo que:

$$\Delta_{iR} = \Delta_{iL} = \frac{\Delta_{VR}}{R} = \frac{130mV}{10} = 13mA$$

Sabiendo que la tensión en la bobina para un intervalo de tiempo pequeño es  $|V_L| = |L \frac{\Delta_i}{\Delta_t}|$ , se despeja el valor de  $L$ :

$$L = \frac{V_L \Delta_t}{\Delta_i} = 0,923mH$$

Que resulta muy aproximado al valor nominal de  $1mH$ .

## 6. Tensión en el Colector y en la Base del Transistor

En estas sección, se procedió a medir la tensión en el colector del transistor respecto de masa ( $V_{CE}$ ), y la tensión de base respecto de masa ( $V_{BE}$ ). En la siguiente captura se muestran dichas mediciones tomadas al mismo tiempo.

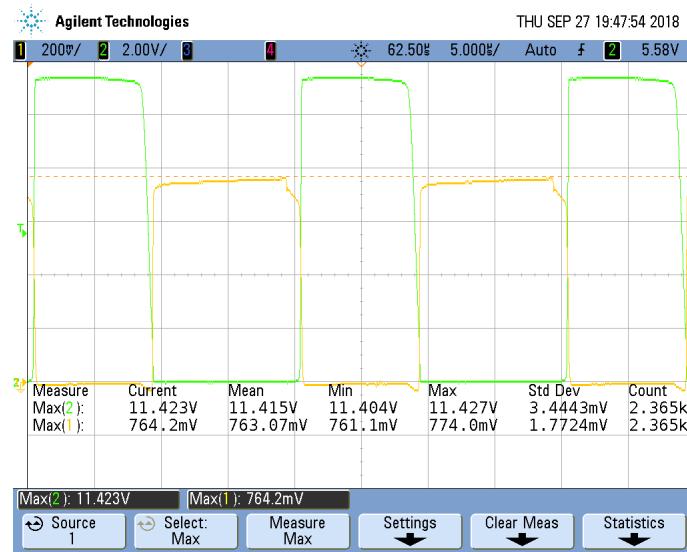


Figura 16: CH1 (amarillo):  $V_{BE}$  - CH2 (verde):  $V_{CE}$

Cuando el transistor está al corte (que corresponde a cuando la señal cuadrada de excitación de base está en la sección del ciclo donde vale  $0V$ ), la juntura base-emisor no se polariza, por lo que el transistor no conduce y la tensión medida en el colector es prácticamente la tensión de salida, más aproximadamente los  $0,7V$  que caen en el diodo  $1N4148$ , y naturalmente  $V_{BE} = 0V$ . Cuando en cambio la señal cuadrada de base está en la sección del ciclo donde vale  $5V$ , la juntura se polariza y el transistor entra en saturación, llevando a  $V_{CE}$  cerca de los  $0V$ , mientras que en la base se mide  $V_{BE} \approx 0,7V$  al estar polarizada la juntura en directa.

## 7. Medición de tensión Colector-Emisor en transistor

Para esta medición, se excitó al transistor con la señal cuadrada de entre 0V y 5V, a la frecuencia sugerida del circuito ( $50KHz$ ), con un duty del 50 %. Posteriormente se midió la tensión entre colector y emisor del transistor  $V_{CE}$ , primero de la forma común conectando la masa al punto físico de donde se conecta el cable de la fuente, y luego mediante el accesorio resorte para poder medir directamente sobre el transistor. Los resultados obtenidos se muestran en los siguientes gráficos.

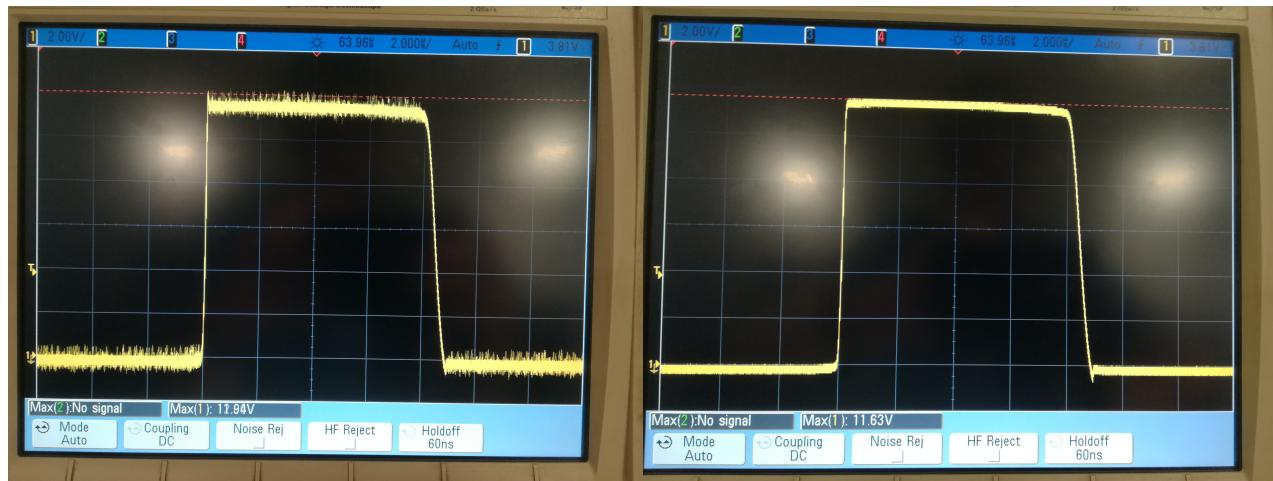


Figura 17:  $V_{CE}$  medida de forma común (izquierda), y con el accesorio resorte (derecha). CH1 (amarillo):  $V_{CE}$

En base a ambas mediciones, se observa una diferencia apreciable en cuanto al ruido presente en ambos casos. En la medición utilizando el accesorio de resorte, el colector se conecta directamente a la punta del osciloscopio, sin un recorrido previo, al igual que el emisor (masa) mediante el accesorio resorte al anillo de masa presente en la punta, induciendo mucho menos ruido en la medición. En cambio en el caso común donde la masa del osciloscopio se conecta al punto físico de la fuente mediante un cable, el ruido inducido es notoriamente mayor.

Las imágenes fueron captadas con una cámara de celular, para poder apreciar las diferencias de ruido.