

# Instituto Tecnológico de Buenos Aires

22.85 - SISTEMAS DE CONTROL

---

## Trabajo de Laboratorio N°1: Phase-Locked Loop (PLL) o Lazo de Enganche de Fase

---

*Grupo 1*

MÁSPERO, Martina	57120
MESTANZA, Joaquín Matías	58288
NOWIK, Ariel Santiago	58309
PANAGGIO VENERANDI, Guido Martin	56214
PARRA, Rocío	57669
REGUEIRA, Marcelo Daniel	58300

*Profesor*

NASINI, Víctor Gustavo

Presentado: xx/09/2019

# Índice

Ejercicio 1: Prelaboratorio	2
Ejercicio 2: factor de amortiguamiento considerando los filtros	2
Ejercicio 3: Transferencia completa	3

## Ejercicio 1: Prelaboratorio

Se pidió analizar distintas transferencias (en la sección Prelaboratorio) del diagrama en bloques del circuito provisto por la cátedra.

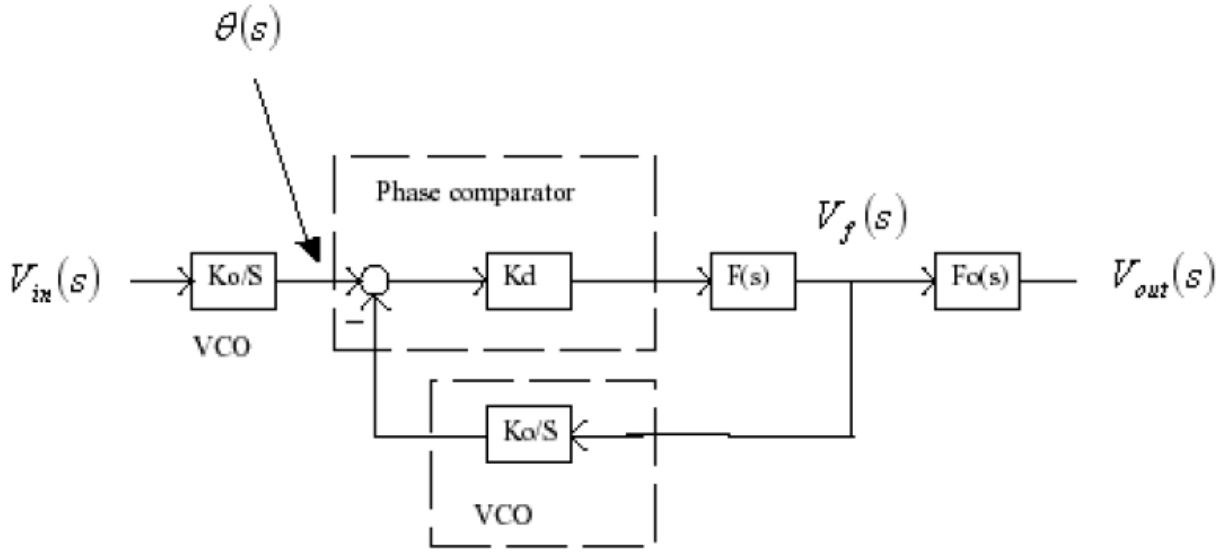


Figura 1: Diagrama en bloques del circuito

### a) Modulador (VCO)

$$\frac{\theta(s)}{V_{in}(s)} = \frac{K_0}{s} \quad (1)$$

### b) Demodulador (PLL)

$$\frac{V_f(s)}{\theta(s)} = \frac{s \cdot K_d \cdot F(s)}{s + K_0 K_d F(s)} \quad (2)$$

### c) Filtros pasabajos: $F_1(s)$ y $F_2(s)$

$$F_1(s) = \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_1}} \quad \text{donde} \quad \omega_1 = \frac{1}{R_5 \cdot C_6} \quad (3)$$

$$F_2(s) = \frac{1 + \frac{s}{\omega_2}}{1 + \frac{s}{\omega_{eq}}} \quad \text{donde} \quad \omega_2 = \frac{1}{R_6 \cdot C_6} \quad \omega_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{\omega_1} + \frac{1}{\omega_2}} \quad (4)$$

### d) $F_0(s)$

$$F_0(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_f(s)} = \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_0}} \quad \text{donde} \quad \omega_0 = \frac{1}{R_9 \cdot C_7} \quad (5)$$

## Ejercicio 2: factor de amortiguamiento considerando los filtros

Notar que lo que cambia entre los filtros es  $R_6 = 0$  así que dejamos las expresiones generales.

$$\frac{V_f(s)}{\theta(s)} = \frac{s}{K_0} \cdot \frac{1 + \frac{s}{\omega_2}}{\left(\frac{s}{\omega_n}\right)^2 + 2\frac{\xi}{\omega_n} + 1} \quad (6)$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_d K_0}{C_6 \cdot (R_5 + R_6)}} \quad (7)$$

$$\xi = \frac{R_6 \cdot C_6 \cdot K_d \cdot K_0 + 1}{2 \cdot \sqrt{C_6 \cdot K_d \cdot K_0 \cdot (R_5 + R_6)}} \quad (8)$$

### Ejercicio 3: Transferencia completa

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{V_{out}(s)}{V_f(s)} \cdot \frac{V_f(s)}{\theta(s)} \cdot \frac{\theta(s)}{V_{in}(s)} \quad (9)$$

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_0}} \cdot \frac{1 + \frac{s}{\omega_2}}{\left(\frac{s}{\omega_n}\right)^2 + 2\frac{\xi}{\omega_n} + 1} \quad (10)$$

## Laboratorio

Para poder simular la transferencia completa se necesitan hallar los valores  $K_0$  y  $K_d$ . Se procedió inyectar una entrada de tensión constante a la entrada del VCO. Con eso se obtuvo la siguiente tabla:

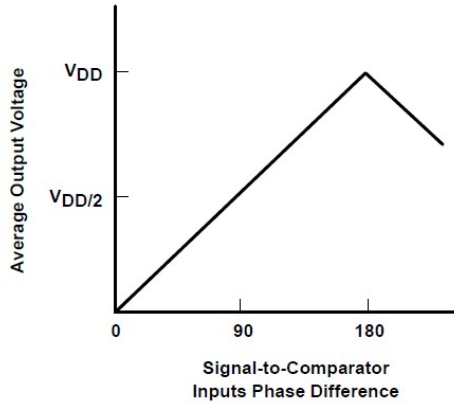
Tabla 1: Tabla centrada con datos desde "VCO.csv"

#	$DC_{IN}(V)$	$freq_{out}(KHz)$	$K_0(rad/seg/V)$
1	1.033	11.52	70069.98
2	2.0121	254	793165.88
3	3.011	469	978682.8
4	3.9964	649	1020365.14
5	4.9842	800	1008496.5
6	5.9754	930	977903.1
7	6.9438	1040	941057.16
8	7.9499	1149	908109.52
9	8.9434	1200	843059.95
10	9.9123	1200	760653.16

Como en el trabajo práctico se nos pide entrar al VCO con una señal de 0.5 Vpp y además un offset de 5V, se le da un peso mayor a las mediciones 4, 5 y 6. Con este criterio optamos por un valor de:

$$K_0 = 1Mrad/seg/V$$

Luego, para determinar la constante  $K_d$  se consultó la datasheet del CD4046 de Texas Instruments. En la misma se halló el siguiente gráfico:



**Figure 4. Phase Comparator I Characteristics at LPF Output**

Figura 2: Características del comparador de fase tipo 1 (XOR)

Por simple inspección nos queda como resultado

$$K_d = \frac{V_{DD}}{\pi} \left( \frac{V}{rad} \right)$$

Con estos valores y los establecidos por la consigna podemos calcular  $\xi$  y  $\omega_n$  para cada caso:

$$\xi = 0.0886 \quad \text{donde} \quad \omega_n = 5.6419 \cdot 10^5 rad/seg \quad (RC)$$

Mediante el despeje de la ecuación 8 se halló que para que  $\xi \approx 0.5$  se necesita una  $R_6 = 1.6K\Omega$

$$\xi = 0.5014 \quad \text{donde} \quad \omega_n = 5.2384 \cdot 10^5 rad/seg \quad (RRC)$$

## Mediciones: Filtro con F1 (caso RC)

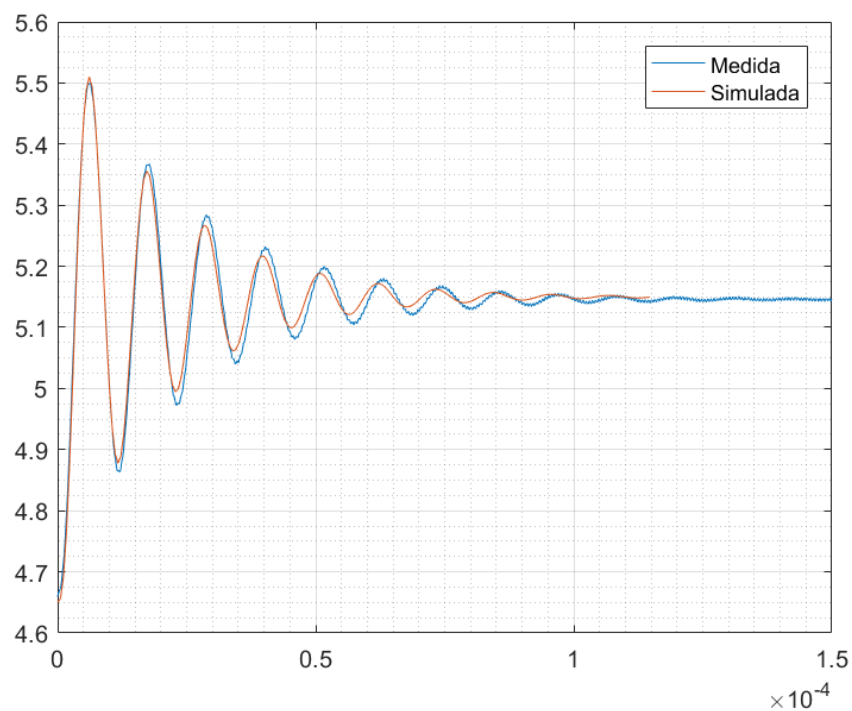


Figura 3: Gráfico de las mediciones superpuestas con la curva teórica (caso RC)

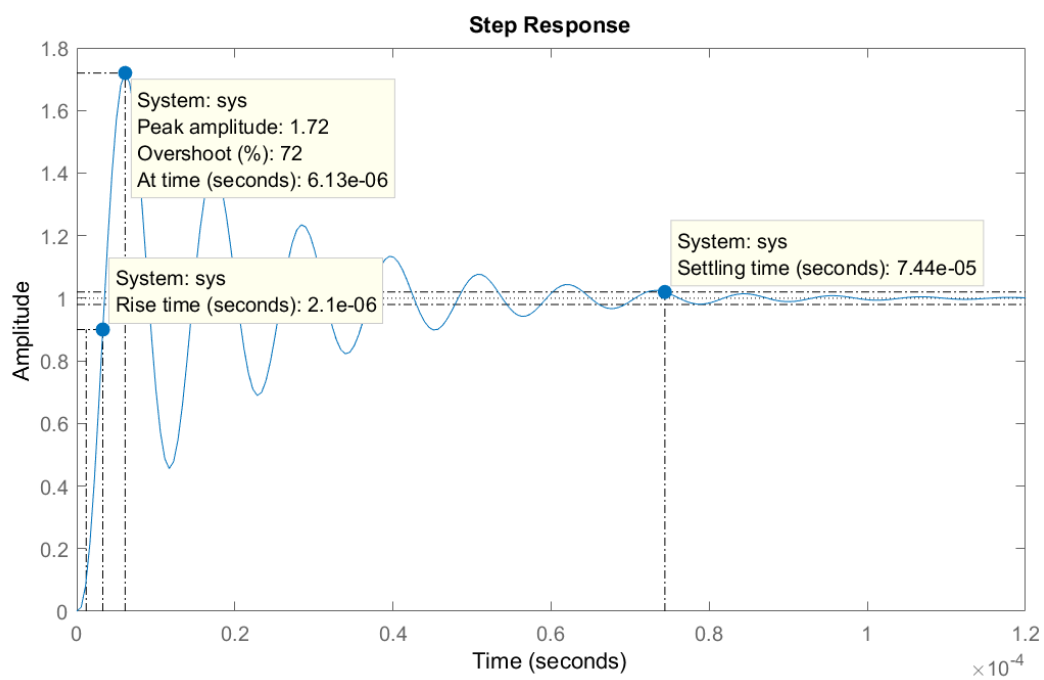


Figura 4: Simulaciones con el primer tipo de filtro

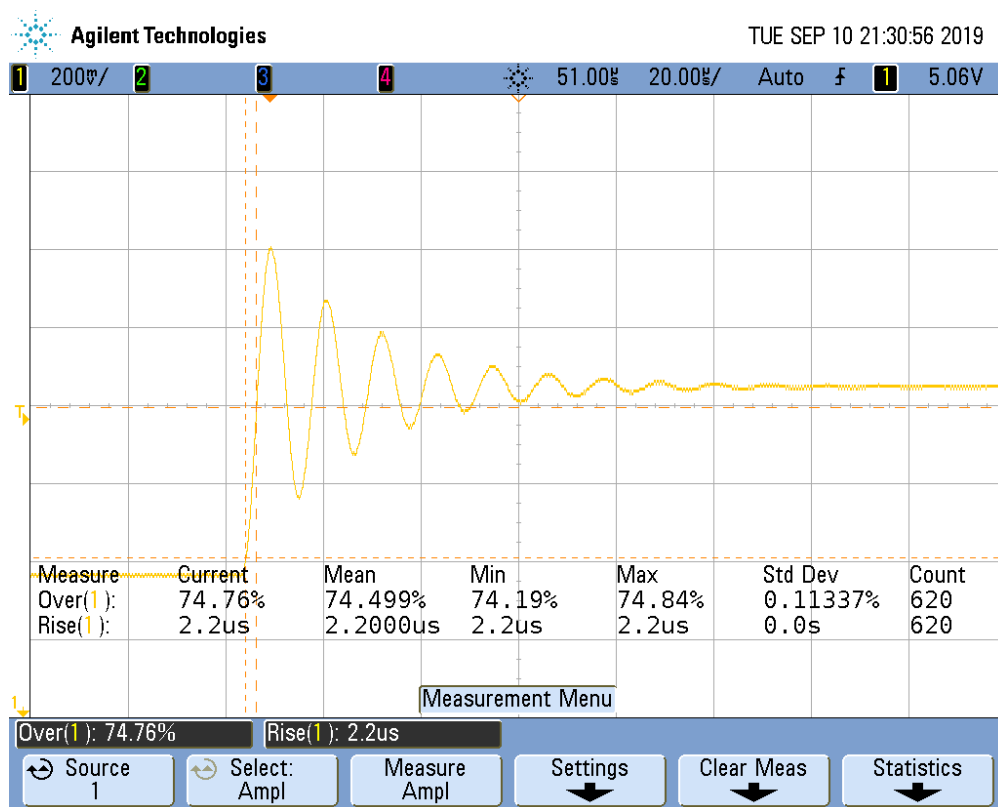


Figura 5: Mediciones: Overshoot y rise time

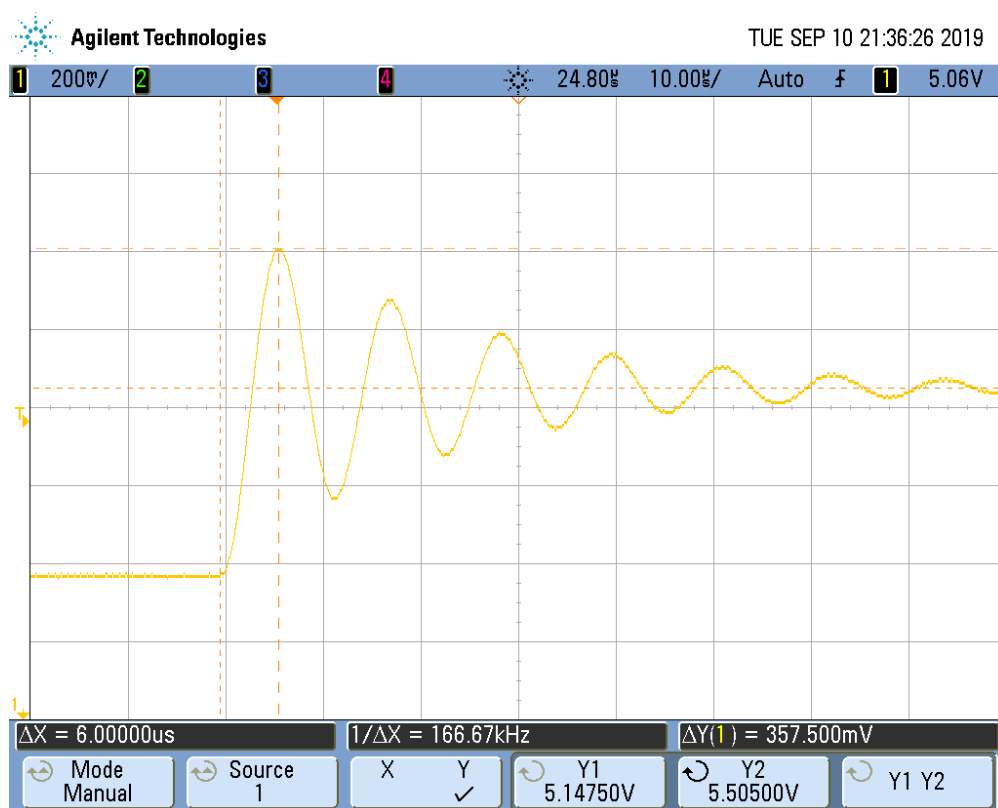


Figura 6: Mediciones: peak y peak time

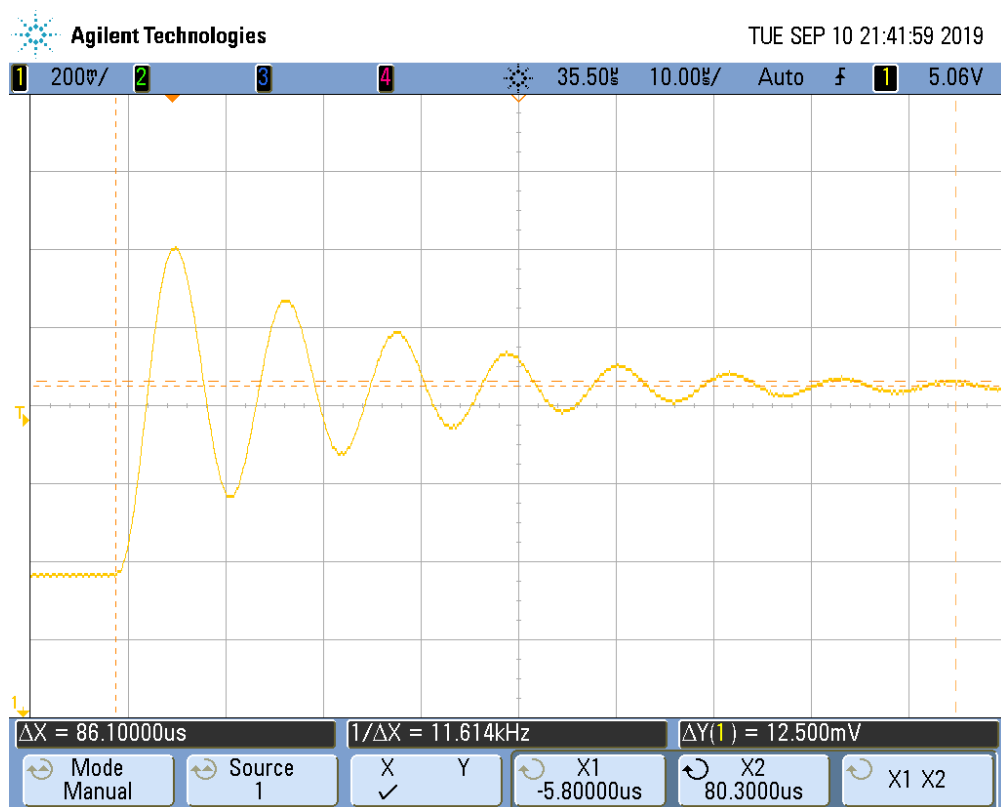


Figura 7: Mediciones: settling time



## Mediciones: Filtro con F2 (caso RRC)

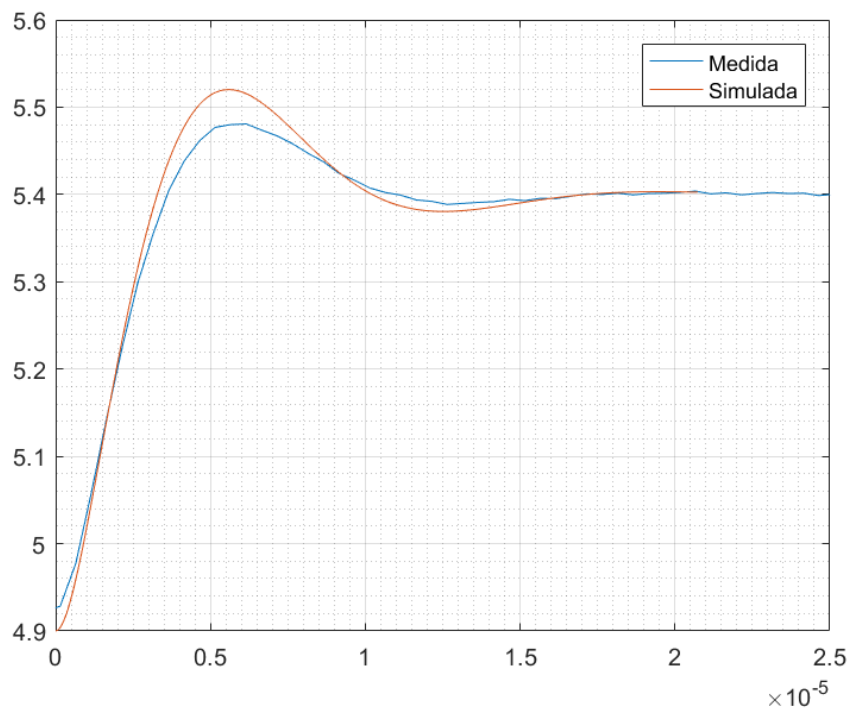


Figura 8: Gráfico de las mediciones superpuestas con la curva teórica (caso RRC)

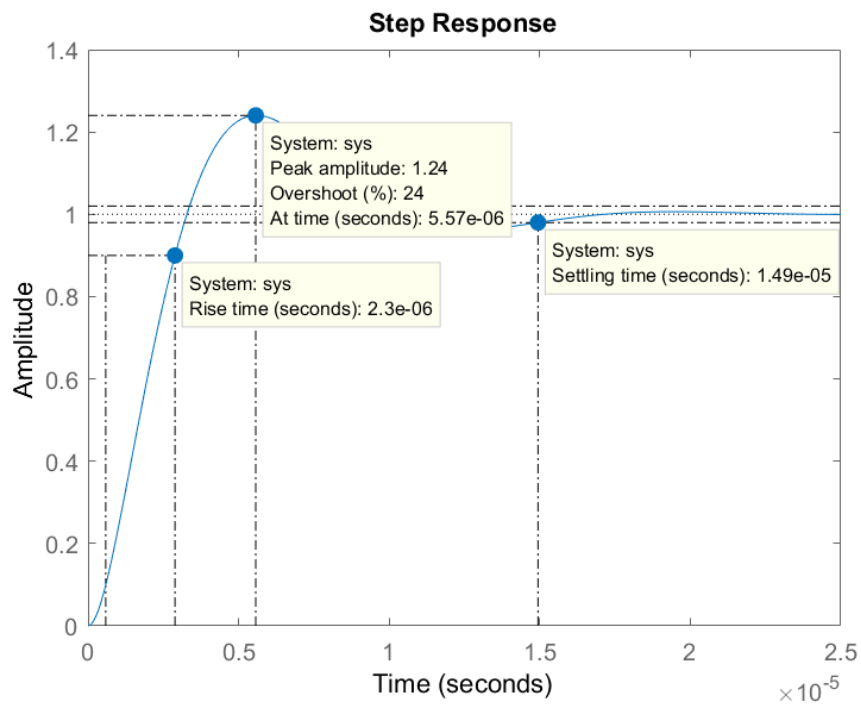


Figura 9: simulación del circuito

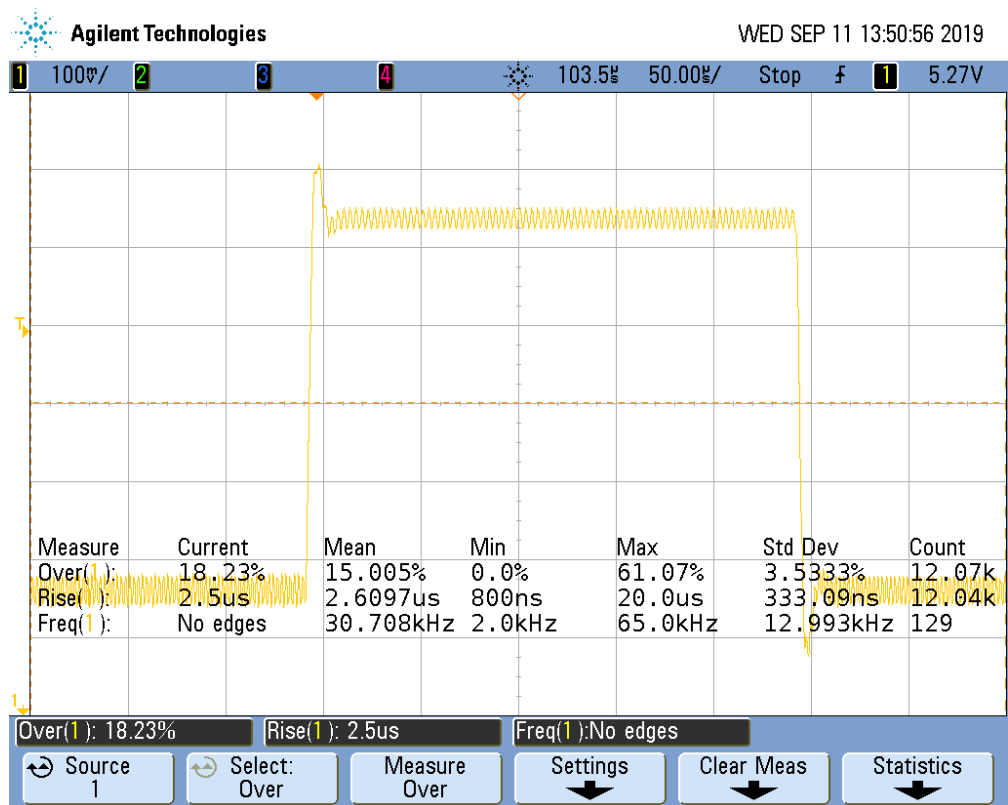


Figura 10: Mediciones del overshoot y risetime

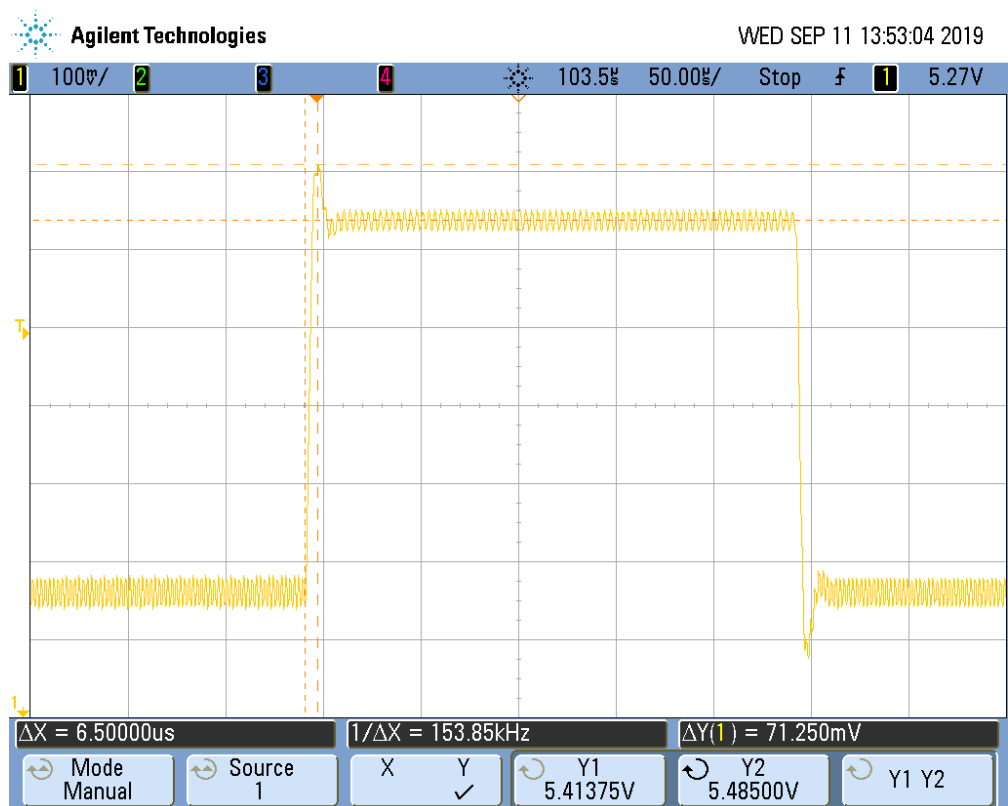


Figura 11: medición de peak y peak time

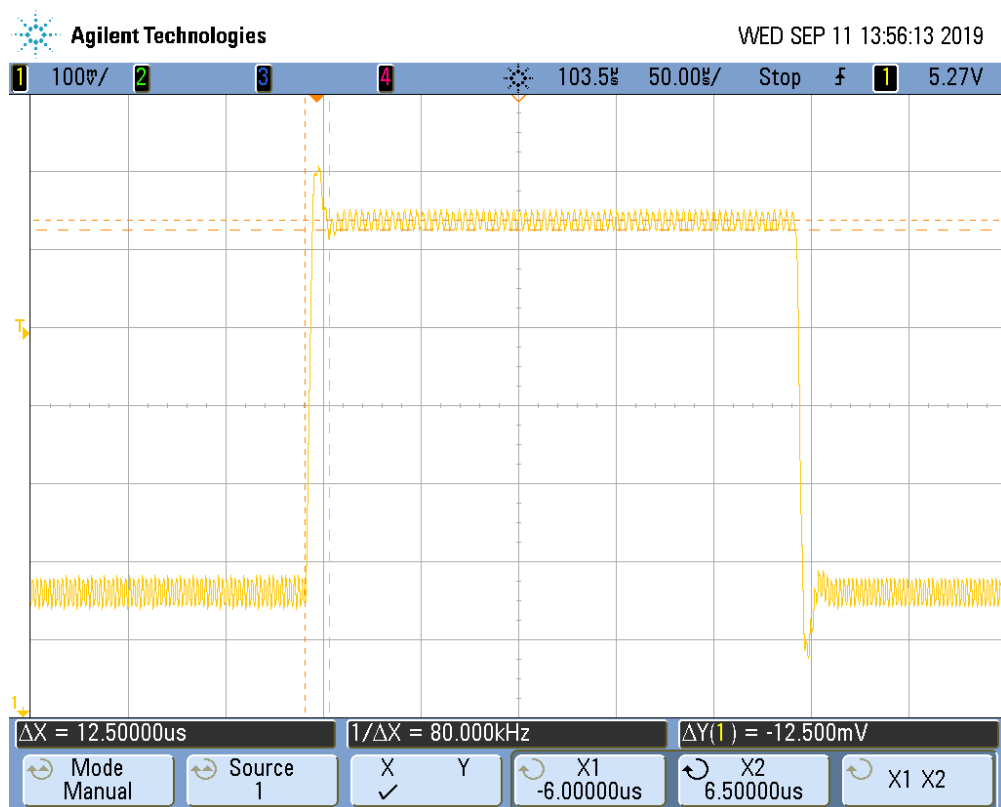


Figura 12: medición de settling time