

LIAF



Estabilización en frecuencia de láseres utilizando una FPGA

Nicolás Nuñez Barreto

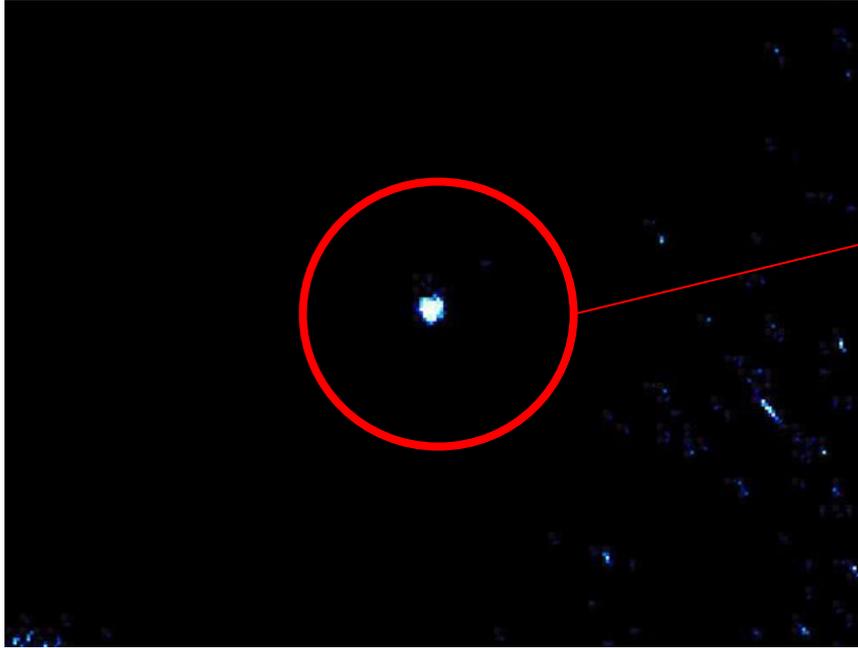
Laboratorio de Iones y Átomos Fríos
Instituto de Física de Buenos Aires - Departamento de Física -
FCEN - UBA

Outline



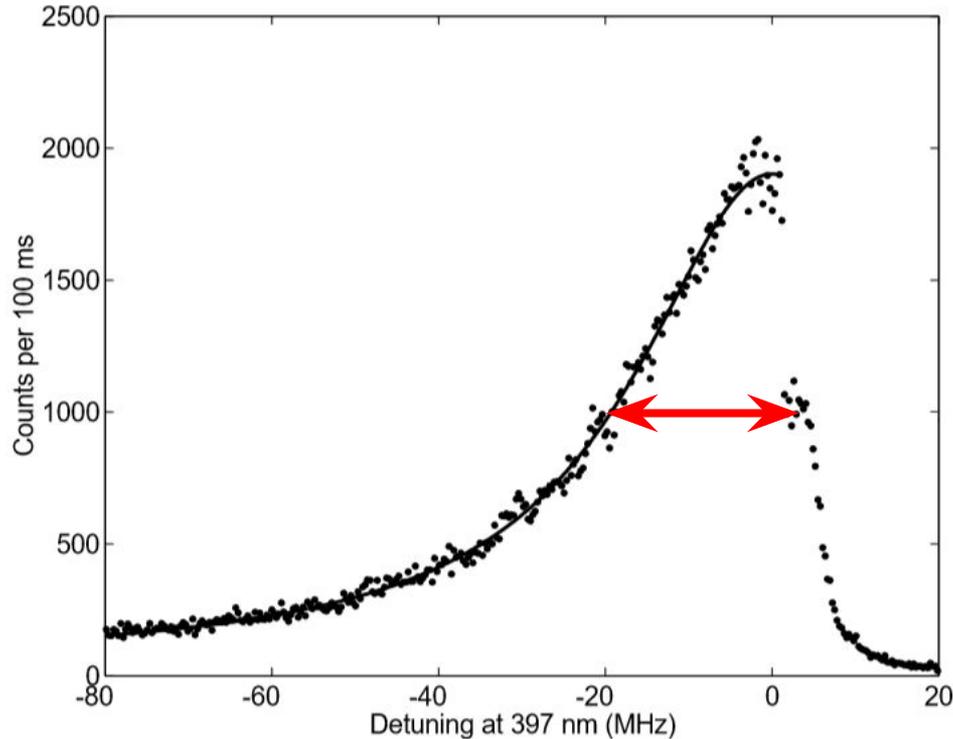
- ¿Por qué hay que estabilizar un láser?
- Estabilización: PIDs
- Nuestra referencia: cavidad Fabry-Perot
- Método Pound-Drever-Hall
- Implementación con FPGA

¿Por qué **nosotros queremos** estabilizar un láser?



Ion de calcio
atrapado
(LIAF, febrero de
2019)

¿Por qué **nosotros queremos** estabilizar un láser?



El espectro de fluorescencia de un ion frío puede tener un ancho muy pequeño!

En este caso, 40 MHz.

¿Por qué **nosotros queremos** estabilizar un láser?

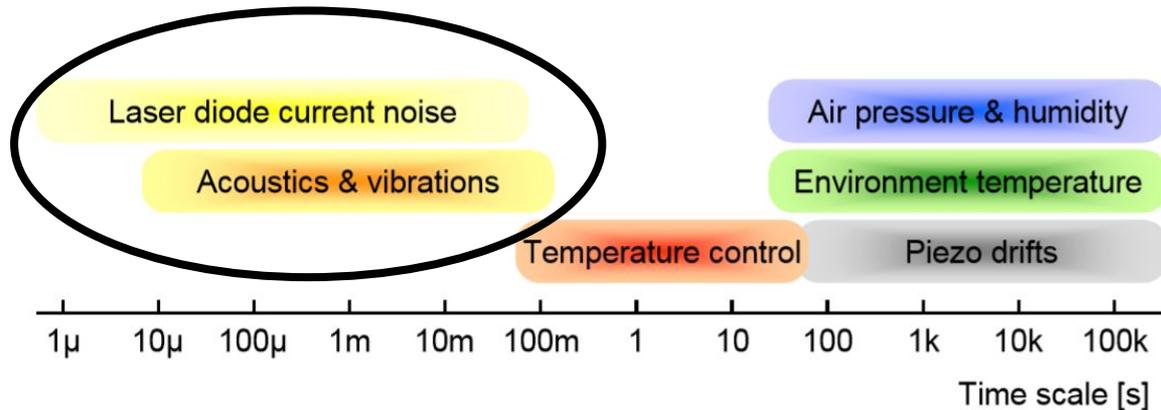
Frecuencia resonante de fluorescencia:

755222,72 GHz

Necesitamos un láser estable en la 8va cifra significativa!

¿Por qué hay que estabilizar un láser?

Los láseres *fluctúan y derivan*, es decir, su frecuencia cambia con el tiempo



Neuhaus R (2009). Diode Laser Locking and Linewidth Narrowing, Toptica Application 1012. Obtenido de <https://www.toptica.com/>

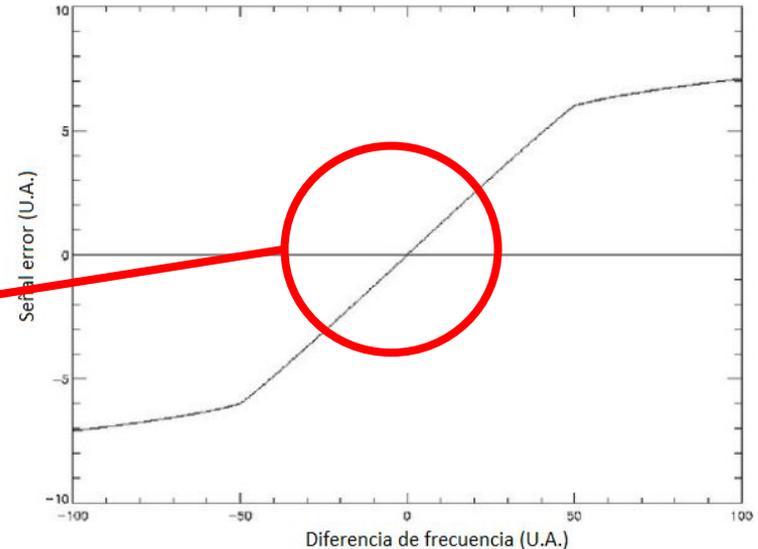
Necesitamos métodos eficientes para estabilizar estos cambios en frecuencia

¿Cómo se estabiliza?



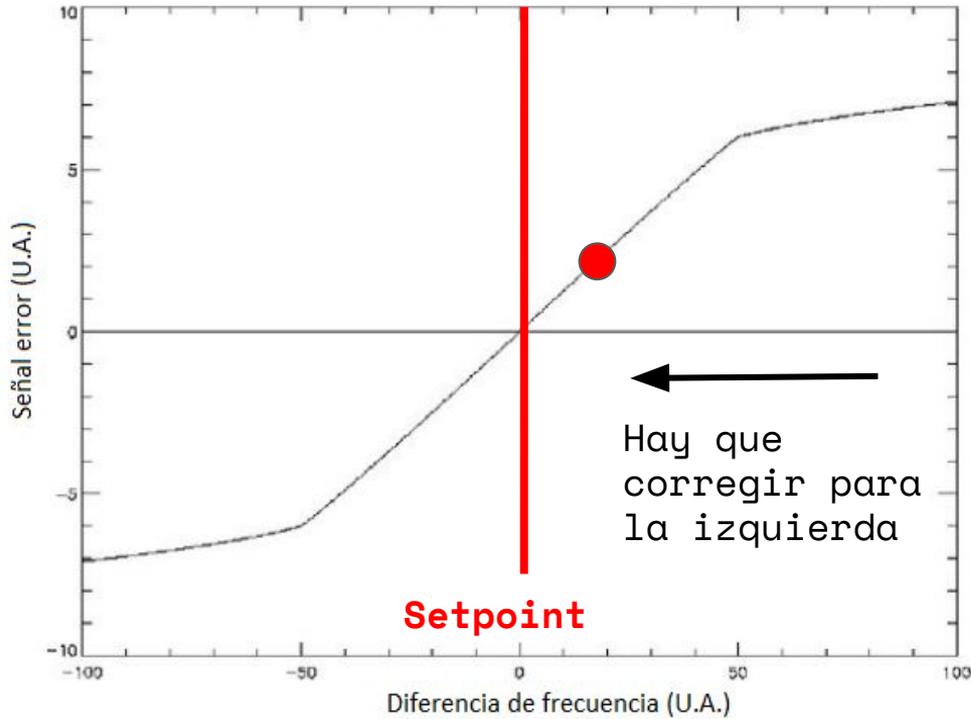
Se genera una **señal error** que se usa para corregir

Se estabiliza en torno al cero de la señal error (**Setpoint**)



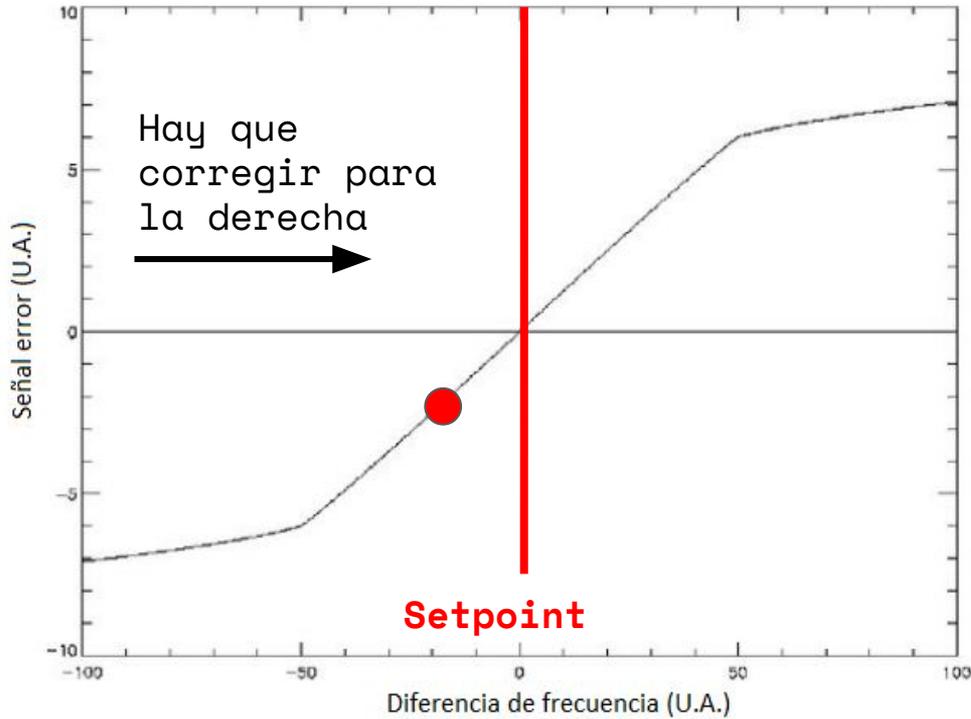
¿Cómo se estabiliza?

Señal error $e(t)$



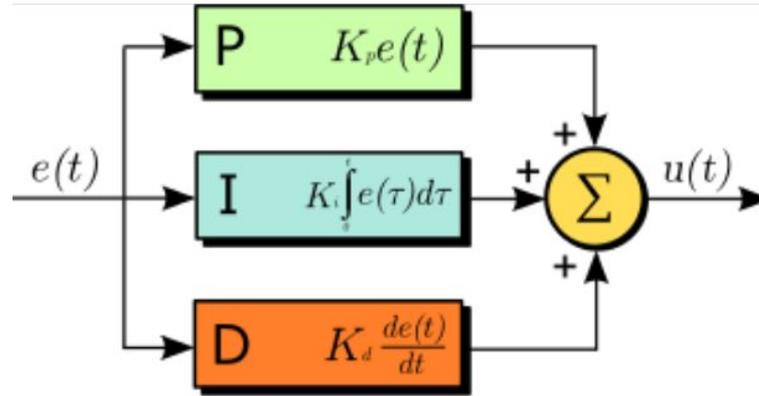
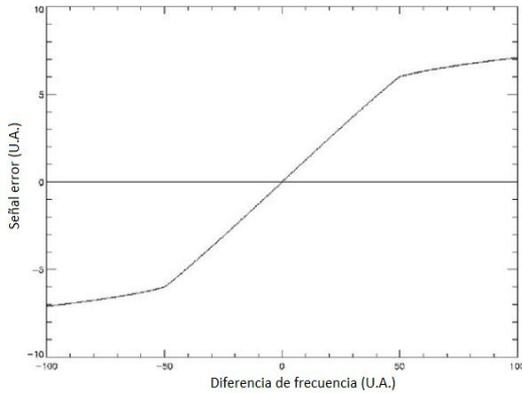
¿Cómo se estabiliza?

Señal error $e(t)$



¿Cómo se estabiliza? PID

Señal error $e(t)$



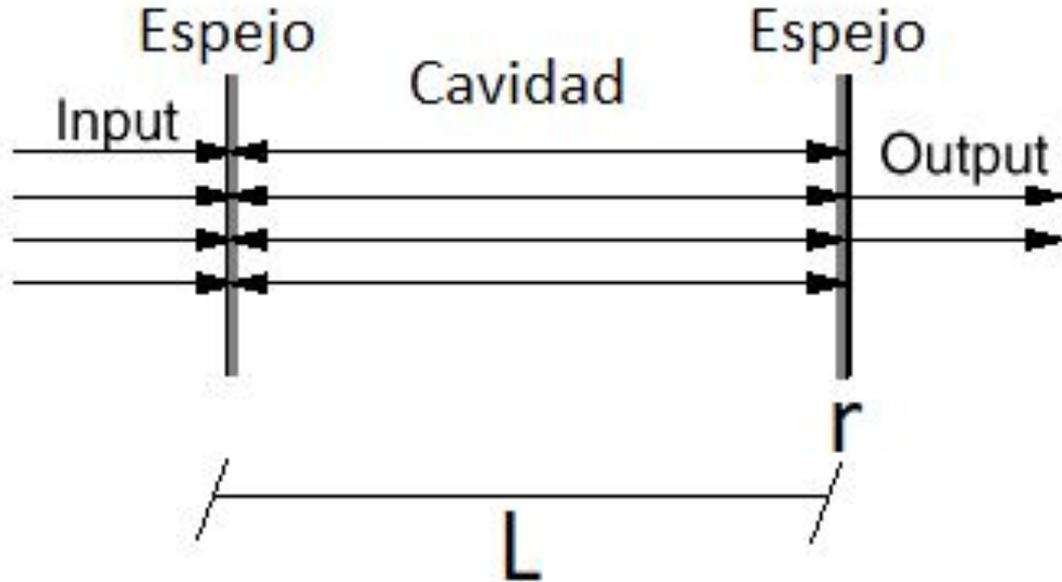
Se suma a las señales del sistema que controlan la frecuencia, por ejemplo, la corriente del diodo.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t') dt' + K_d \frac{de(t)}{dt},$$

Señal de corrección

Lazo cerrado (realimentado)

Nuestra referencia: cavidad Fabry-Perot

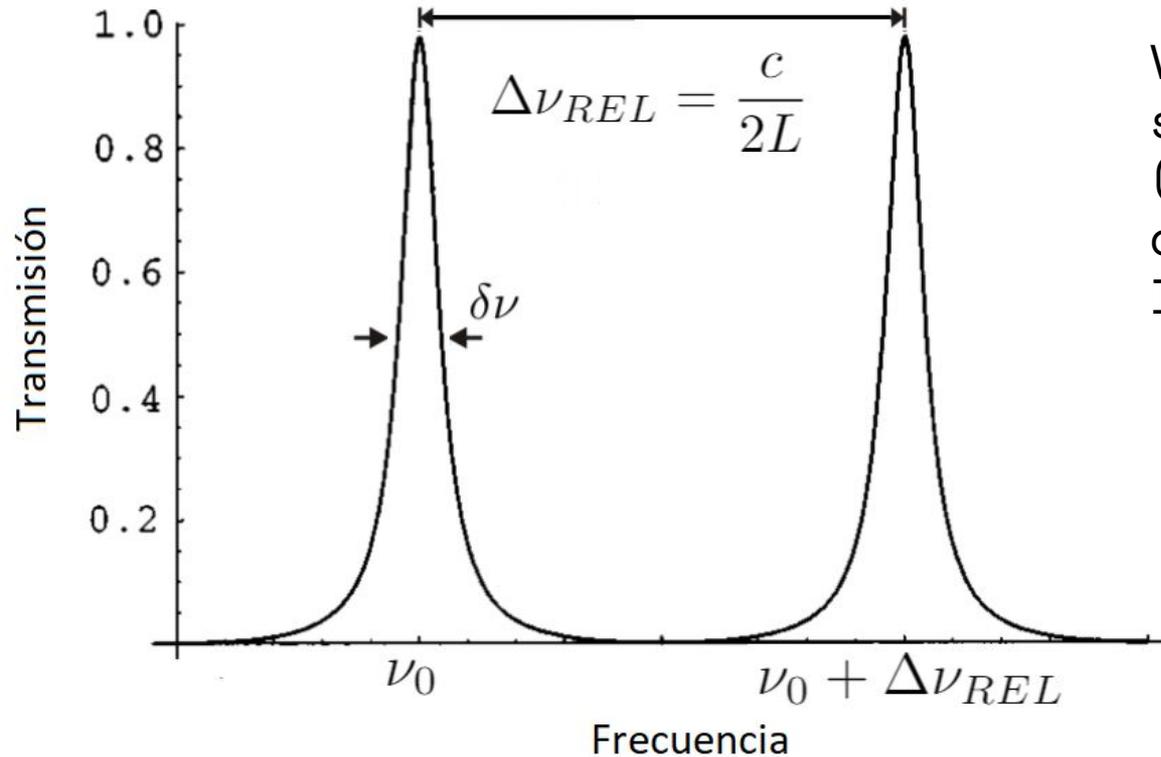


Las frecuencias que resuenan con la cavidad tienen la mayor transmisión y son:

$$\nu_m = m \frac{c}{2L}$$

Nuestra referencia: cavidad Fabry-Perot

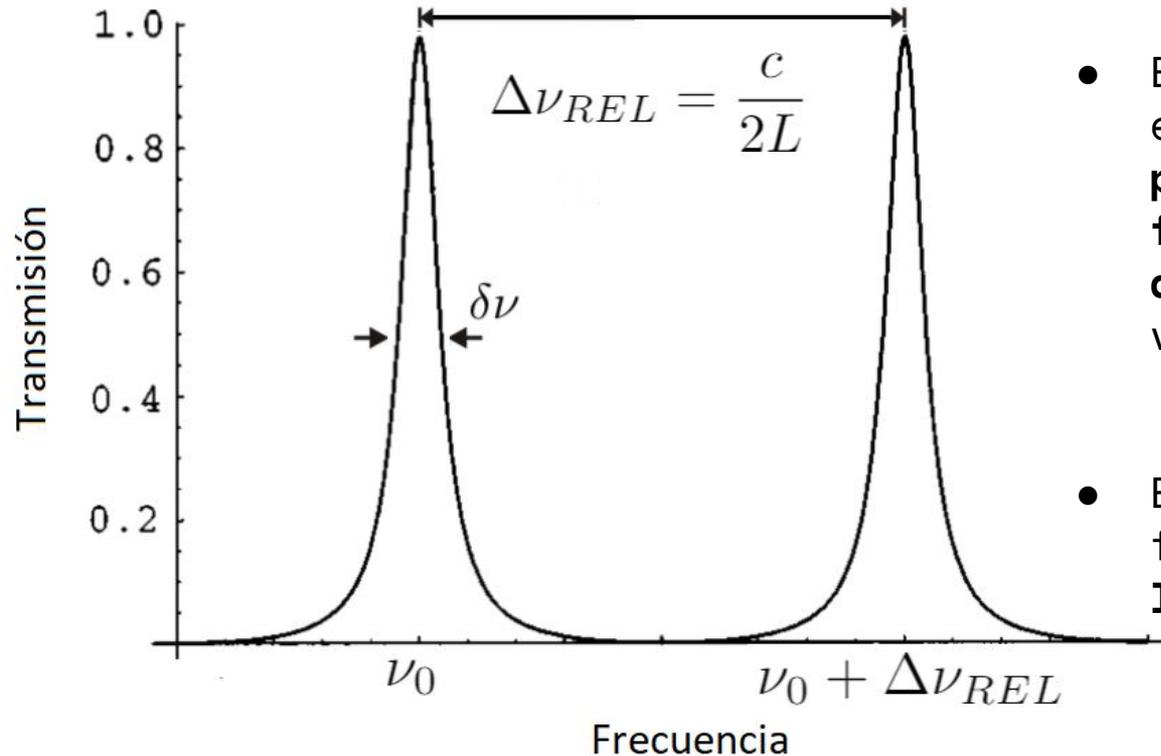
Rango Espectral Libre



Vemos la siguiente señal al **escanear** (barrer) la corriente del láser

Nuestra referencia: cavidad Fabry-Perot

Rango Espectral Libre

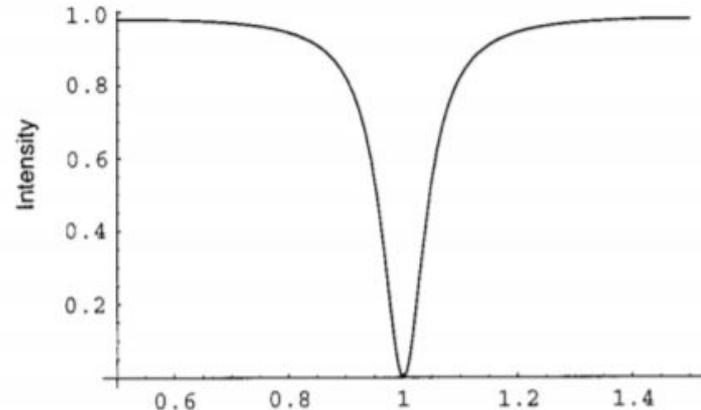
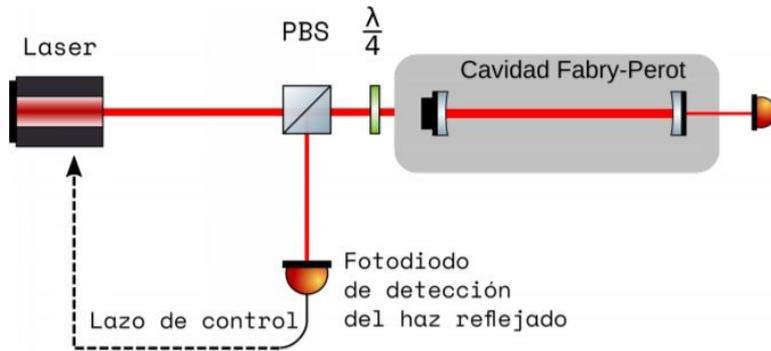


- El láser se estabilizará a la **posición en frecuencia de alguno de los picos** (en ese valor de **corriente**)
- Esa posición depende fuertemente del **largo de la cavidad**

¿Podemos usar los picos como señal error?

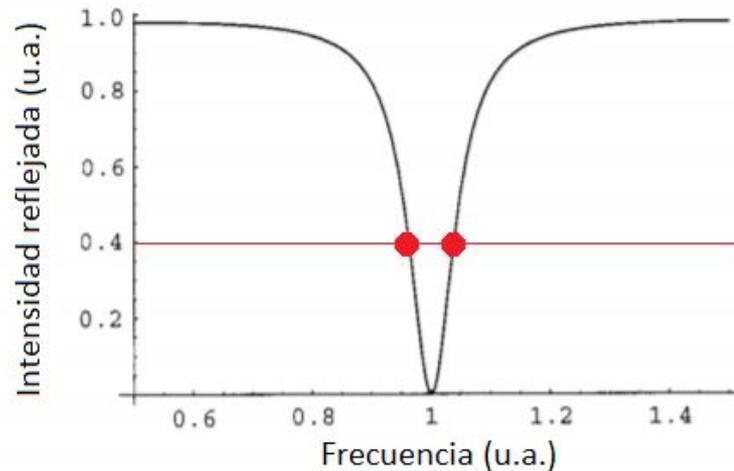
Problema 1: La altura de los picos de transmisión varía con la intensidad del láser, que puede fluctuar.

Solución 1: Usemos la señal **reflejada** en lugar de la transmitida (valles en lugar de picos)



¿Podemos usar los **valles** como señal error?

Problema 2: Si la señal reflejada aumenta (por corrimiento en la frecuencia), no sabemos si nos corrimos para la derecha o para la izquierda, y el PID no sabe cómo realimentar.



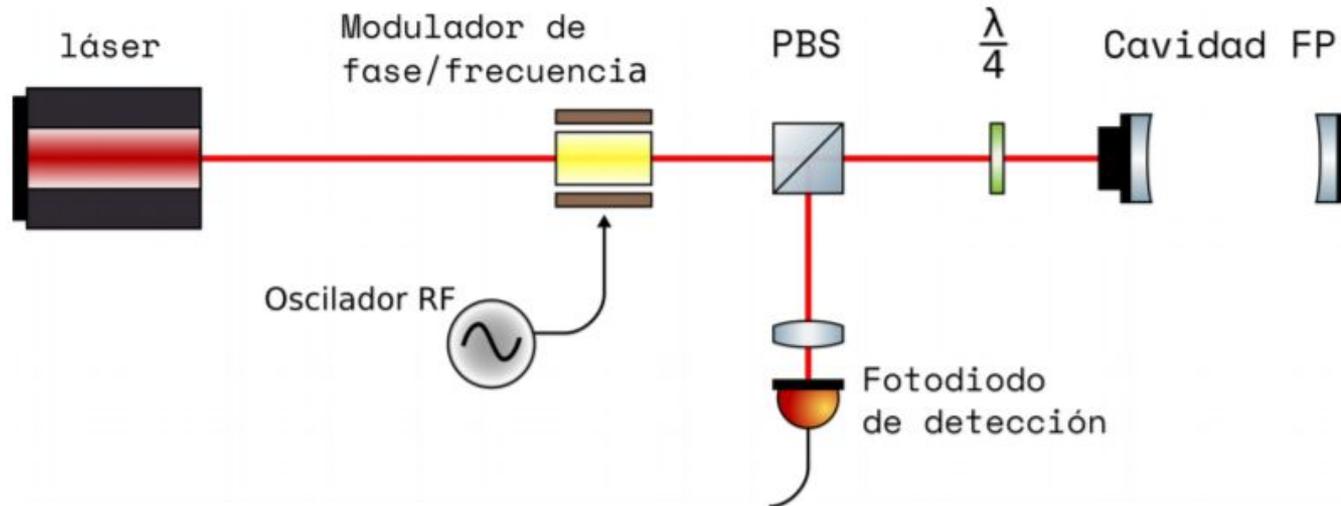
¿Podemos usar los **valles** como señal error?

Problema 2: Si la señal reflejada aumenta (por corrimiento en la frecuencia), no sabemos si nos corrimos para la derecha o para la izquierda, y el PID no sabe cómo realimentar.

Solución 2: Método **Pound-Drever-Hall** (1983)

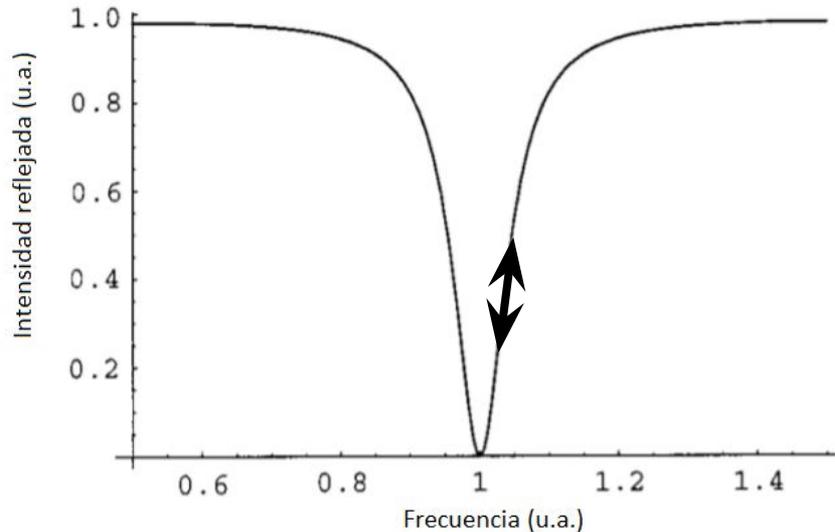
Método Pound-Drever-Hall

Idea fundamental: modular la frecuencia del láser nos da la información de para qué lado se movió la frecuencia del láser.



Método Pound-Drever-Hall

Idea fundamental: modular la frecuencia del láser nos da la información de para qué lado se movió la frecuencia del láser.

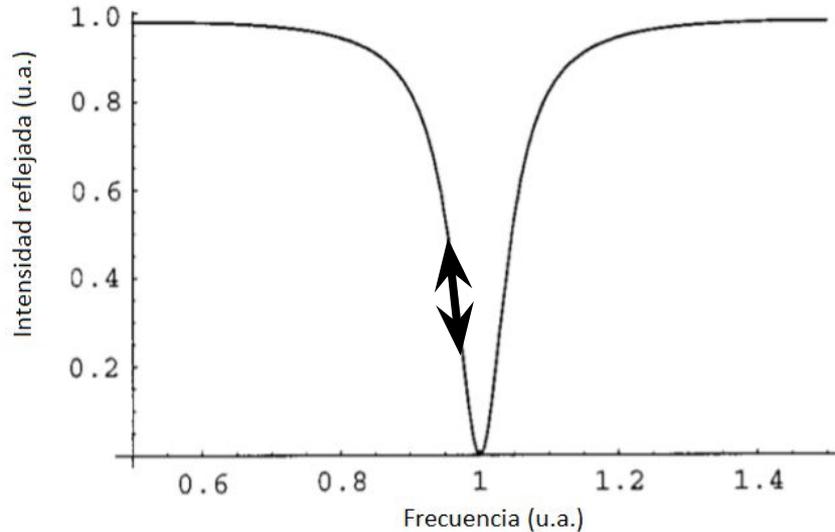


Si el cambio de intensidad está **en fase** con la modulación, estamos a la **derecha**

Método Pound-Drever-Hall

Idea fundamental: modular la frecuencia del láser nos da la información de para qué lado se movió la frecuencia del láser.

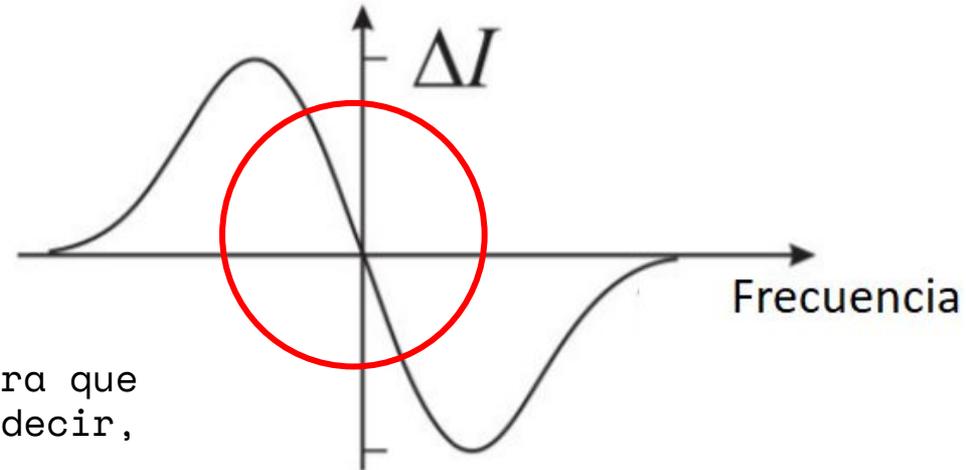
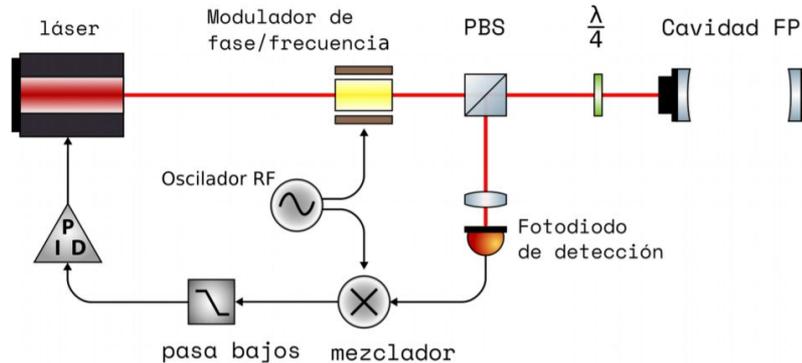
Si el cambio de intensidad está **en contrafase** con la modulación, estamos a la **izquierda**



Método Pound-Drever-Hall

Idea fundamental: modular la frecuencia del láser nos da la información de para qué lado se movió la frecuencia del láser.

Podemos obtener la información de esa fase si mezclamos las señales y las filtramos con un pasabajos.
(info más detallada: ver charla de M. Drechsler, 2018)

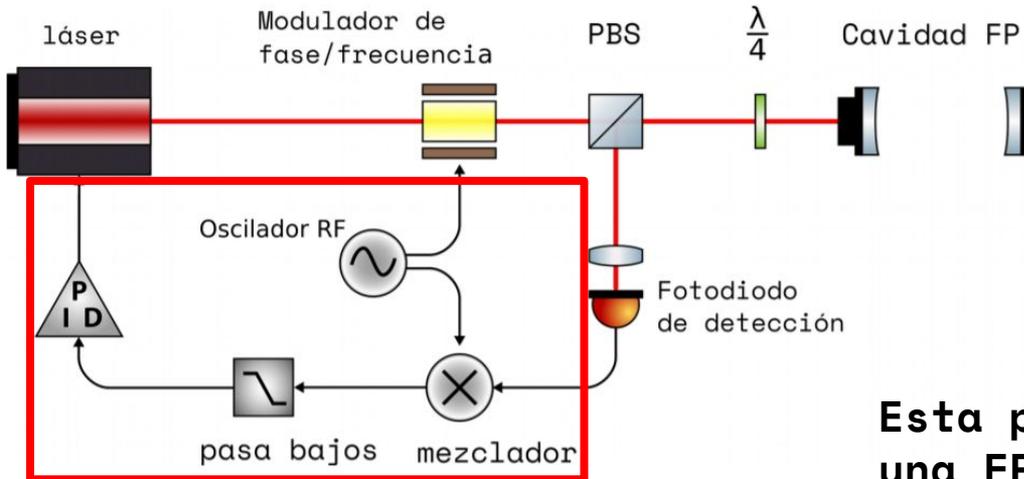


La corriente del láser se corrige para que la señal error sea siempre cero, es decir, que la señal reflejada sea mínima.

Método Pound-Drever-Hall

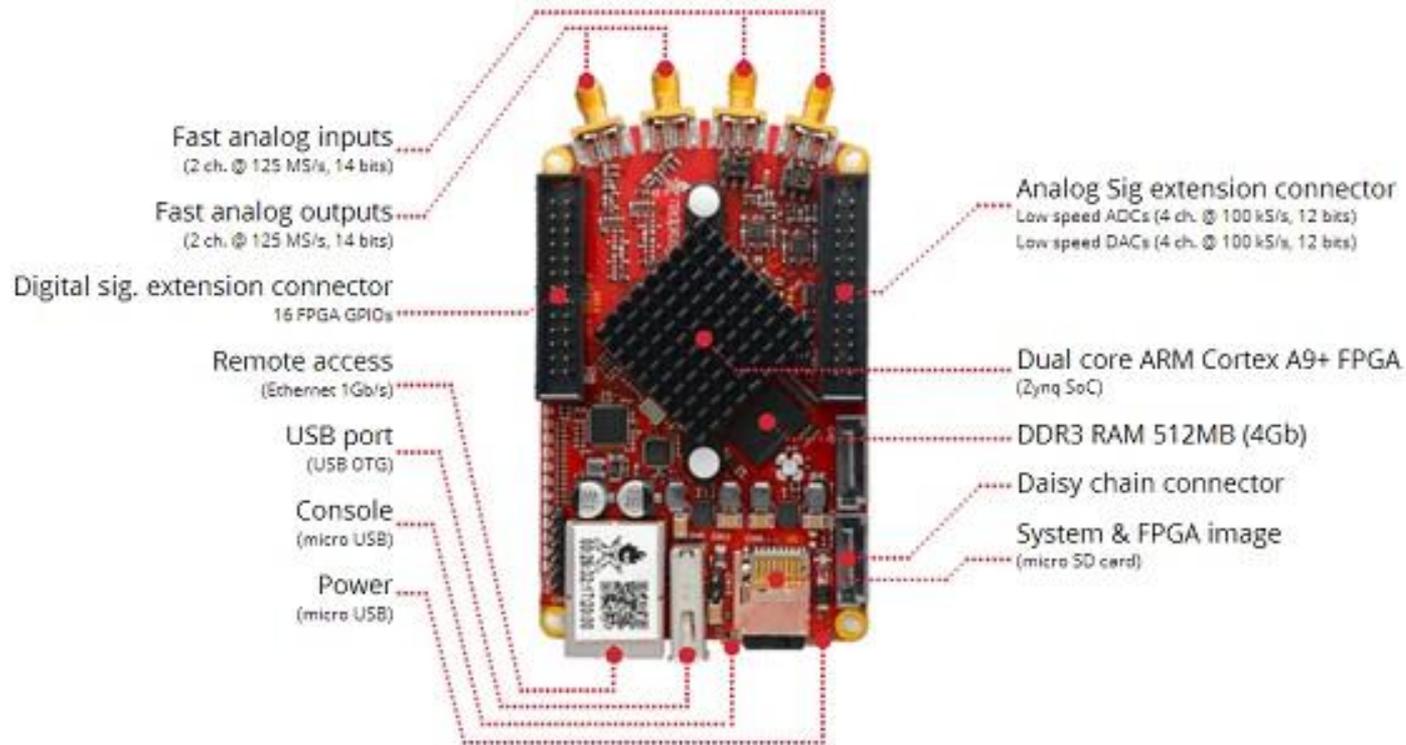
Idea fundamental: modular la frecuencia del láser nos da la información de para qué lado se movió la frecuencia del láser.

Podemos obtener la información de esa fase si mezclamos las señales y las filtramos con un pasabajos.
(info más detallada: ver charla de M. Drechsler, 2018)



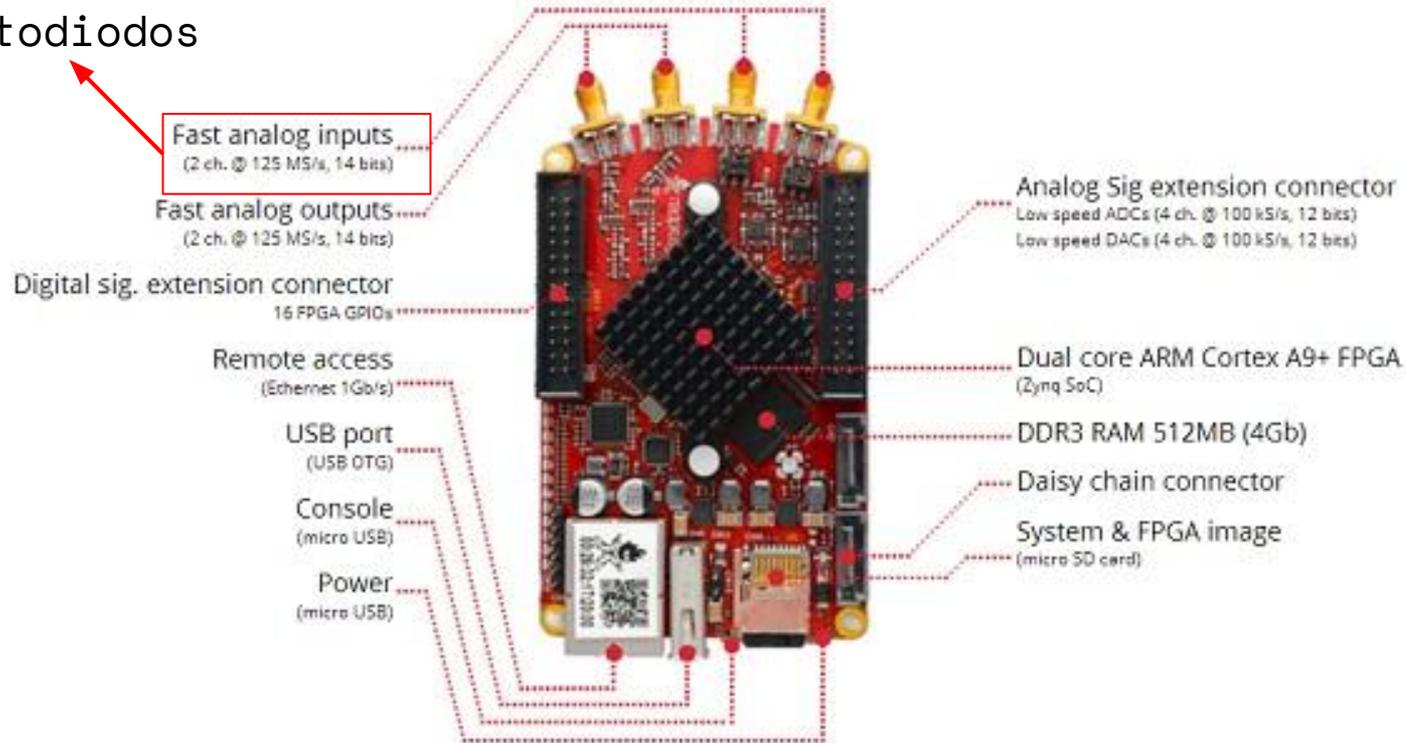
Esta parte la hacemos con una FPGA

Field-Programmable Gate Array: Red Pitaya



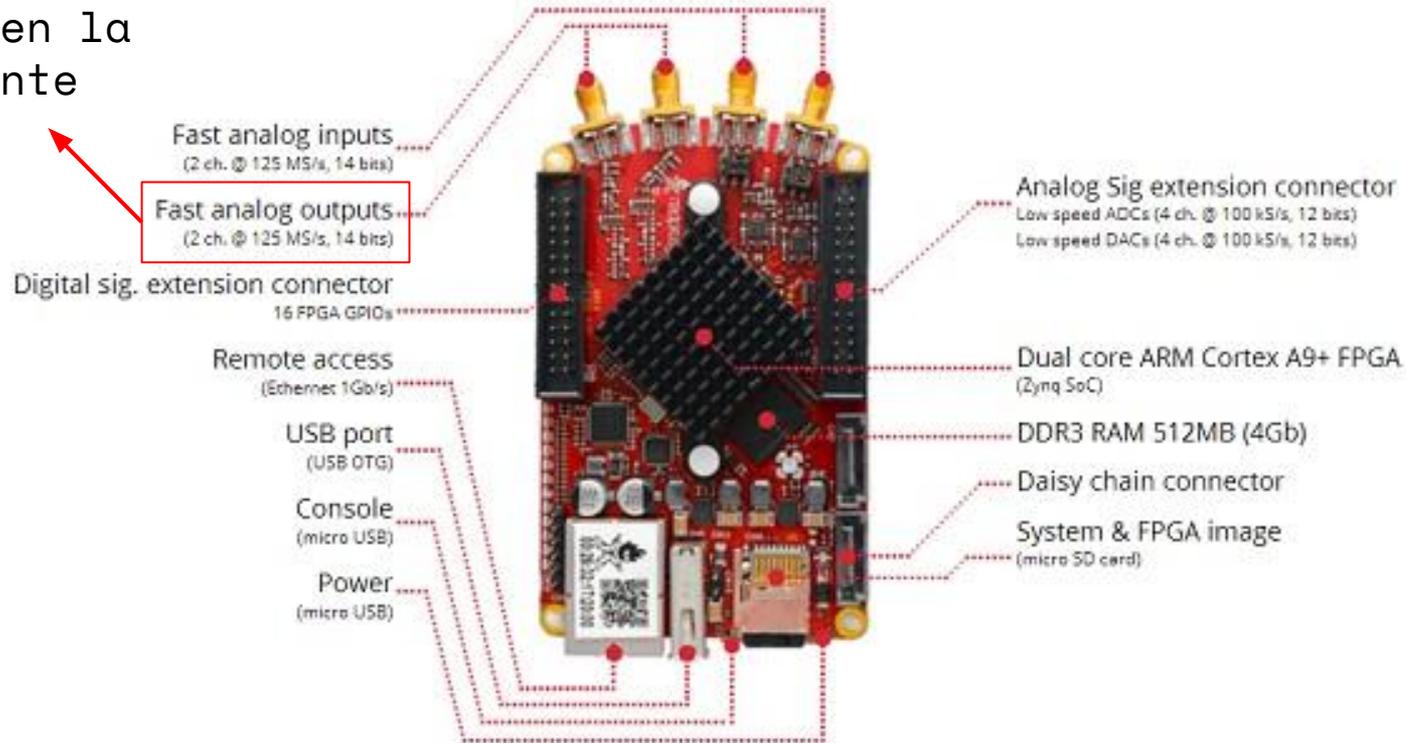
Field-Programmable Gate Array: Red Pitaya

Leen las señales de los fotodiodos



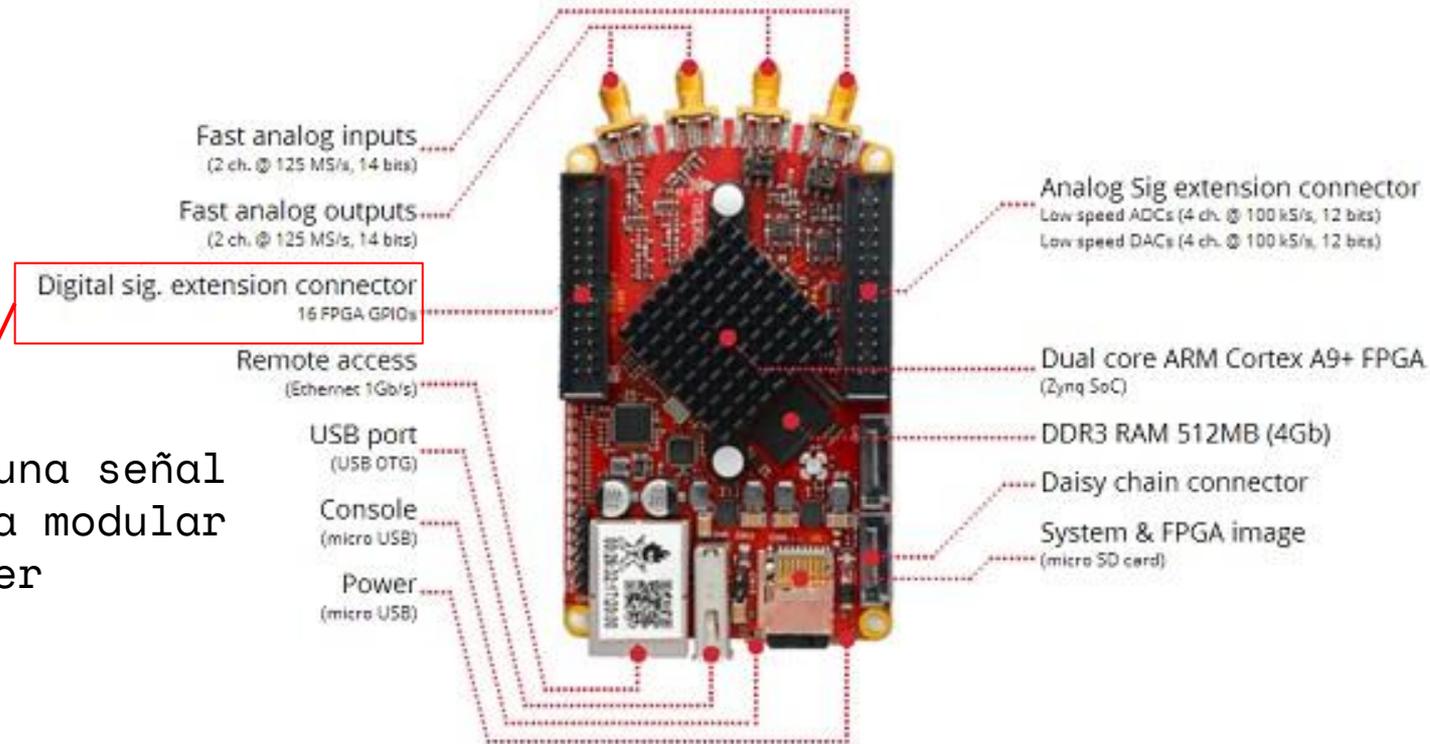
Field-Programmable Gate Array: Red Pitaya

Corrigen la corriente

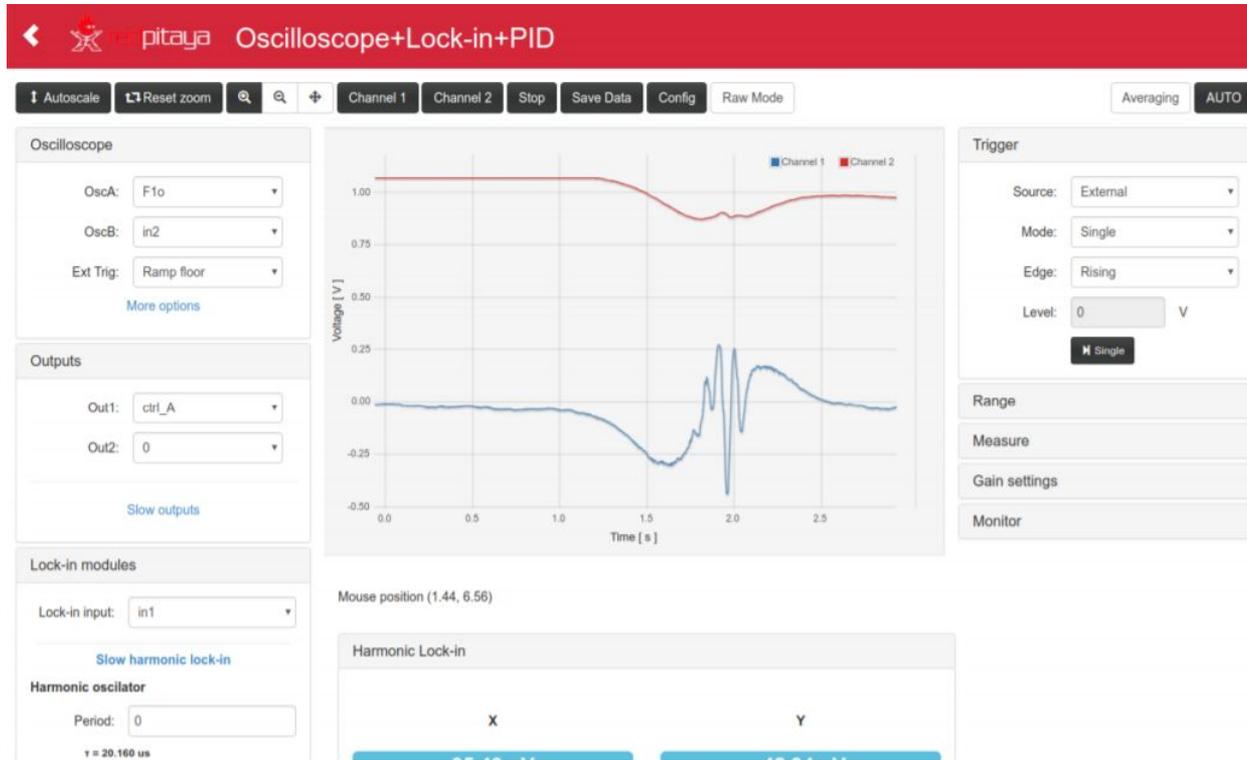


Field-Programmable Gate Array: Red Pitaya

Manda una señal
RF para modular
el láser



Field-Programmable Gate Array: Red Pitaya



Interfaz de la aplicación que armó Marcelo Luda

Ref: -https://marceluda.github.io/rp_lock-in_pid/
-Luda M, Drechsler M, Schmiegelow C T, Codnia J (2019). Compact Embedded Device for Lock-in Measurements And Experiment Active Control, *Review of Scientific Instruments* 90, 023106

Field-Programmable Gate Array: Red Pitaya

PIDs modules

Error signal selector

PID A

input:

reset freeze freeze
integral out integral

144

kp: 0.141

54

ki: $\tau = 9.71 \mu\text{s}$ $f = 103 \text{ kHz}$

0

kd: OFF

More Options

PID B

Desde la aplicación podemos controlar los coeficientes de los PID

Field-Programmable Gate Array: Red Pitaya

PIDs modules

Error signal selector

PID A

input:

reset freeze freeze
integral out integral

144

kp: 0.141

54

ki: $\tau = 9.71 \mu\text{s}$ f = 103 kHz

0

kd: OFF

More Options

PID B

Lock-in modules

Lock-in input:

Slow harmonic lock-in

Harmonic oscillator

Period:

$\tau = 20.160 \mu\text{s}$
f = 49.603 kHz

Phase:

30.0 deg | 0.2 n rad

Demodulation

X, Y & F1 F2 F3

Low Pass Filter

cut: order:

Amplification:

Fast square lock-in

Auxiliar

Ramp Controller

También podemos controlar la frecuencia de modulación y escanear distintos rangos de corriente

Conclusiones y perspectivas

- Estabilizamos en frecuencia nuestros láseres de diodo utilizando el método Pound-Drever-Hall a una cavidad Fabry-Perot
- El láser queda estabilizado a menos de derivas en el largo de la cavidad
- Usamos lazos de control cerrados con controladores PID para estabilizar la frecuencia del láser corrigiendo la corriente del diodo
- El siguiente paso es estabilizar láseres de Titanio-Zafiro

¡ Gracias !