Métodos de Medición de Frecuencia en el Dominio del Tiempo

Contenido

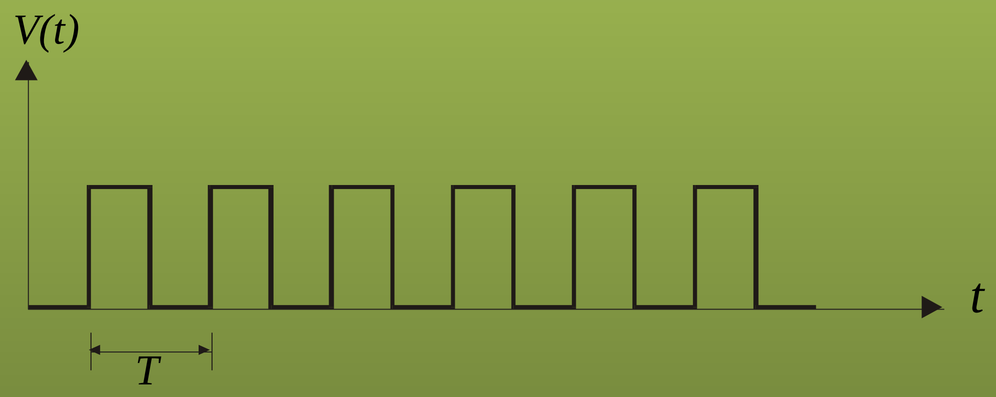
MÉTODOS LOCALES DE MEDICIÓN

INTRODUCCIÓN

BASES DE TIEMPO

¿Qué son?

Una base de tiempo es un generador de señales periódicas (cuadrada, senoidal, rampa, etc.) con ciertas características de exactitud y estabilidad



BASES DE TIEMPO

¿Cómo se hacen?

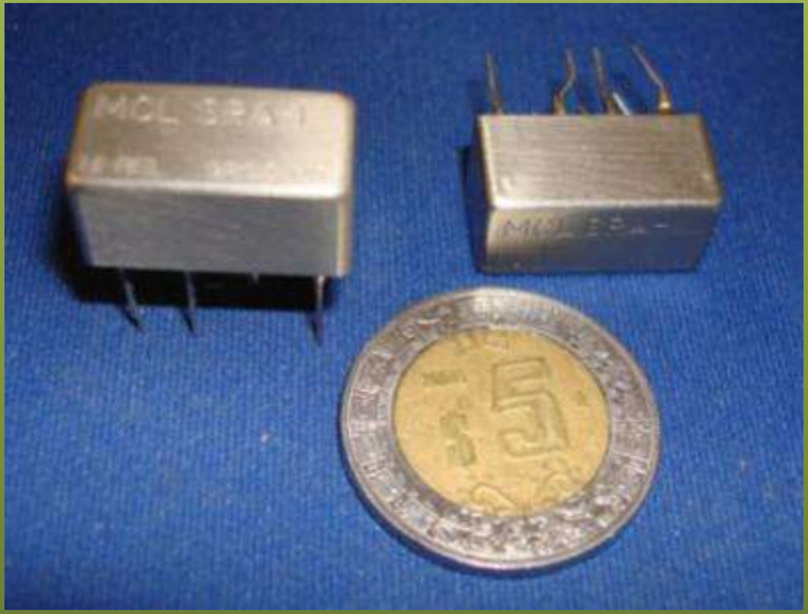
Una base de tiempo consta básicamente de un oscilador, pudiendo ser:

➢ **XO**	Oscilador de cristal de cuarzo
➢ **VCXO**	XO controlado por voltaje
➢ **OCXO**	XO controlado por temperatura
➢ **TCXO**	XO compensado por temperatura
➢ **TCVCXO**	XO compensado por temperatura y controlado por voltaje
➢ **OCVCXO**	XO controlado por temperatura y por voltaje
➢ **RbXO**	XO estabilizado a la transición del Rubidio
➢ **CsXO**	XO estabilizado a la transición del Cesio
➢ **HXO**	XO estabilizado a la transición del Hidrógeno

MEZCLADORES

¿Qué son?

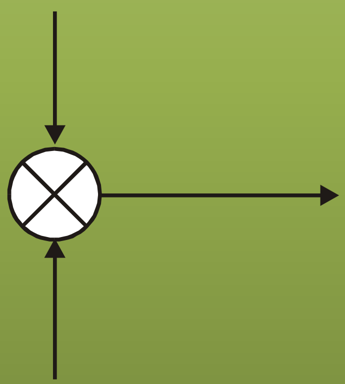
En electrónica de radiofrecuencia, el circuito que efectúa el producto de dos señales analógicas es usado en una variedad de aplicaciones y, dependiendo del contexto es llamado modulador, mezclador, detector síncrono, detector de fase, etc.



¿Cómo funcionan?

$$V(t) = V_1(t) \times V_2(t)$$
$$= A_1 sen(\omega_1 t + \phi_1) \times A_2 sen(\omega_2 t + \phi_2)$$

$$V_1(t) = A_1 sen(\omega_1 t + \phi_1)$$



$V(t)$???

$$V_2(t) = A_2 sen(\omega_2 t + \phi_2)$$

$$\boxed{sen\theta = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i}}$$

$$V(t) = V_1(t) \times V_2(t) = A_1 sen(\omega_1 t + \phi_1) \times A_2 sen(\omega_2 t + \phi_2)$$

$$= A_1 \left(\frac{e^{i(\omega_1 t+\phi_1)} - e^{-i(\omega_1 t+\phi_1)}}{2i} \right) \times A_2 \left(\frac{e^{i(\omega_2 t+\phi_2)} - e^{-i(\omega_2 t+\phi_2)}}{2i} \right)$$

$$= A_1 A_2 \left(\frac{e^{i(\omega_1 t+\phi_1+\omega_2 t+\phi_2)} - e^{i(\omega_1 t+\phi_1-\omega_2 t-\phi_2)} - e^{-i(\omega_1 t+\phi_1-\omega_2 t-\phi_2)} + e^{-i(\omega_1 t+\phi_1+\omega_2 t+\phi_2)}}{4 \times i \times i} \right)$$

$$= A_1 A_2 \left(\frac{e^{i(\omega_1 t+\phi_1+\omega_2 t+\phi_2)} + e^{-i(\omega_1 t+\phi_1+\omega_2 t+\phi_2)} - e^{i(\omega_1 t+\phi_1-\omega_2 t-\phi_2)} - e^{-i(\omega_1 t+\phi_1-\omega_2 t-\phi_2)}}{4 \times 1} \right)$$

$$\cos\theta = \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2}$$

$$= A_1 A_2 \left(\frac{e^{i(\omega_1 t+\phi_1+\omega_2 t+\phi_2)} + e^{-i(\omega_1 t+\phi_1+\omega_2 t+\phi_2)} - e^{i(\omega_1 t+\phi_1-\omega_2 t-\phi_2)} - e^{-i(\omega_1 t+\phi_1-\omega_2 t-\phi_2)}}{4\times 1} \right)$$

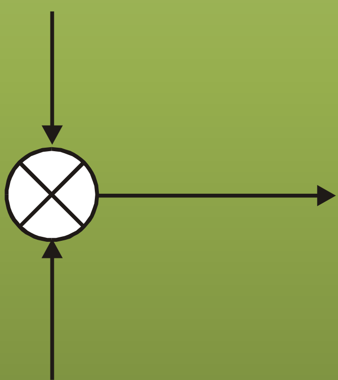
$$= \frac{A_1 A_2}{2} \left(\frac{e^{i(\omega_1 t+\phi_1+\omega_2 t+\phi_2)} + e^{-i(\omega_1 t+\phi_1+\omega_2 t+\phi_2)}}{2} - \frac{e^{i(\omega_1 t+\phi_1-\omega_2 t-\phi_2)} + e^{-i(\omega_1 t+\phi_1-\omega_2 t-\phi_2)}}{2} \right)$$

$$= \frac{A_1 A_2}{2} \left(COS(\omega_1 t + \omega_2 t + \phi_1 + \phi_2) - COS(\omega_1 t - \omega_2 t + \phi_1 - \phi_2) \right)$$

¿Cómo funcionan?

$$V(t) = V_1(t) \times V_2(t)$$
$$= A_1 sen(\omega_1 t + \phi_1) \times A_2 sen(\omega_2 t + \phi_2)$$

$$V_1(t) = A_1 sen(\omega_1 t + \phi_1)$$



$$V(t) = \frac{A_1 A_2}{2}\left(COS(\omega_1 t + \omega_2 t + \phi_1 + \phi_2) - COS(\omega_1 t - \omega_2 t + \phi_1 - \phi_2)\right)$$

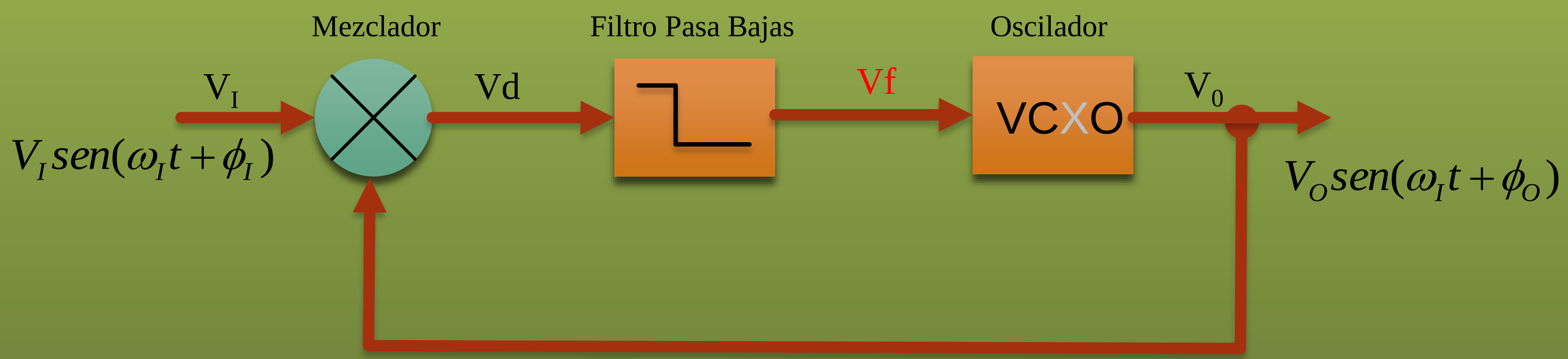
$$V_2(t) = A_2 sen(\omega_2 t + \phi_2)$$

LAZOS DE AMARRE

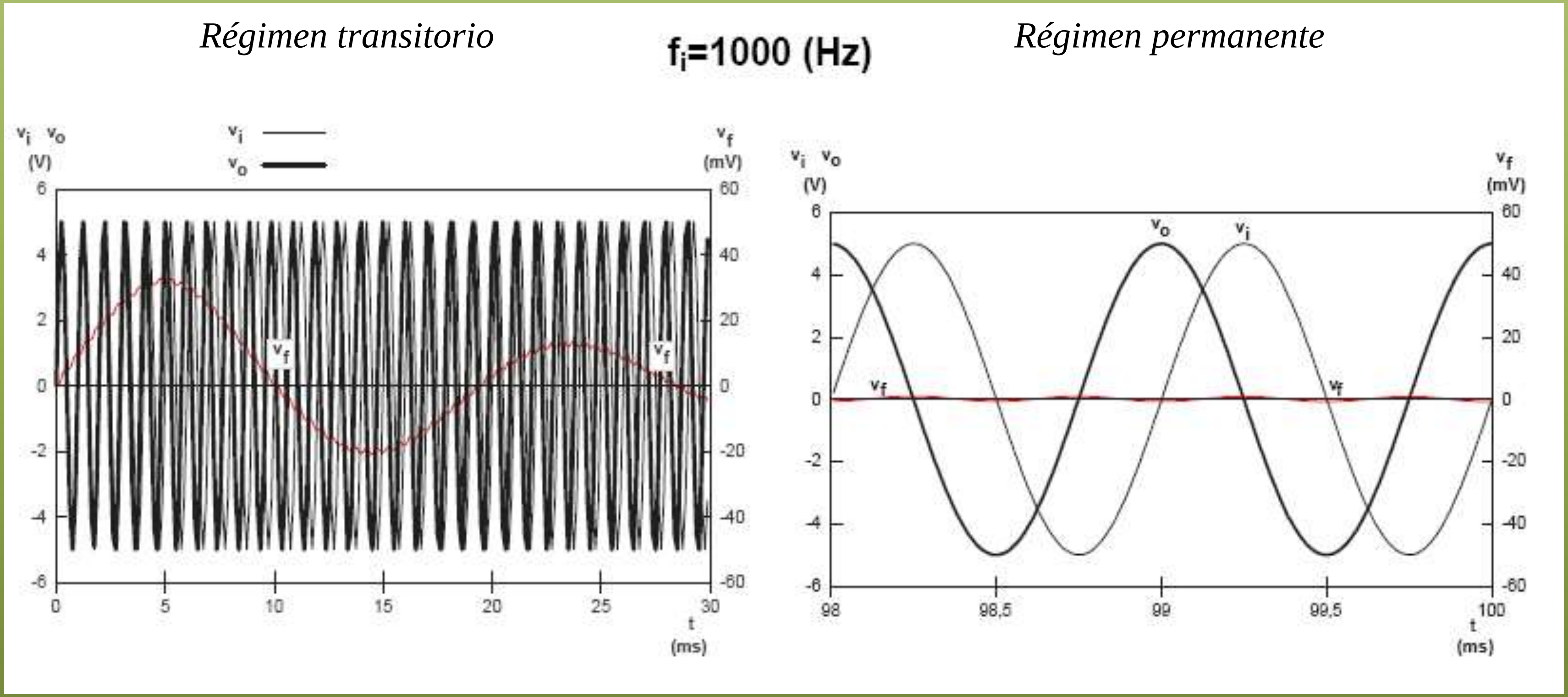
¿Qué son?

El circuito PLL (Phase Locked-Loop) es un sistema retroalimentado cuyo objetivo principal consiste en la generación de una señal de salida con amplitud fija y frecuencia coincidente con la de entrada, dentro de un margen determinado.

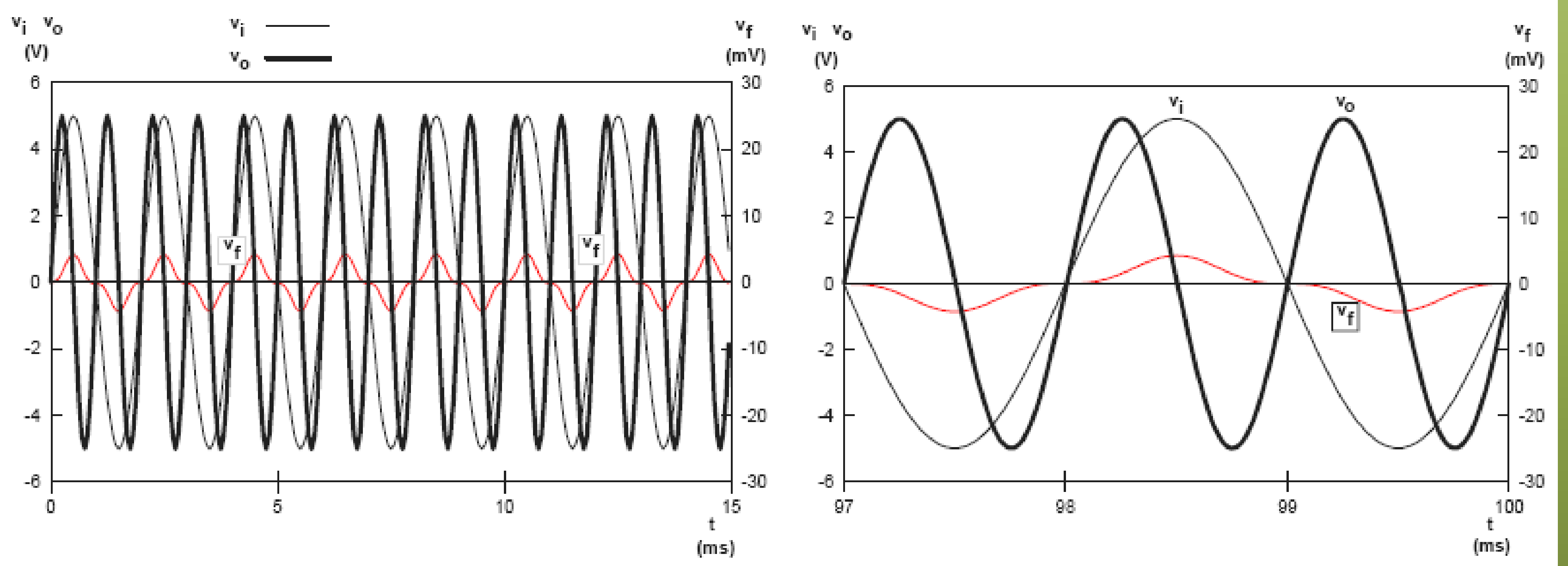
Comprende tres etapas fundamentales:



¿Cómo funcionan?



Régimen transitorio **f_i=500 (Hz)** *Régimen permanente*

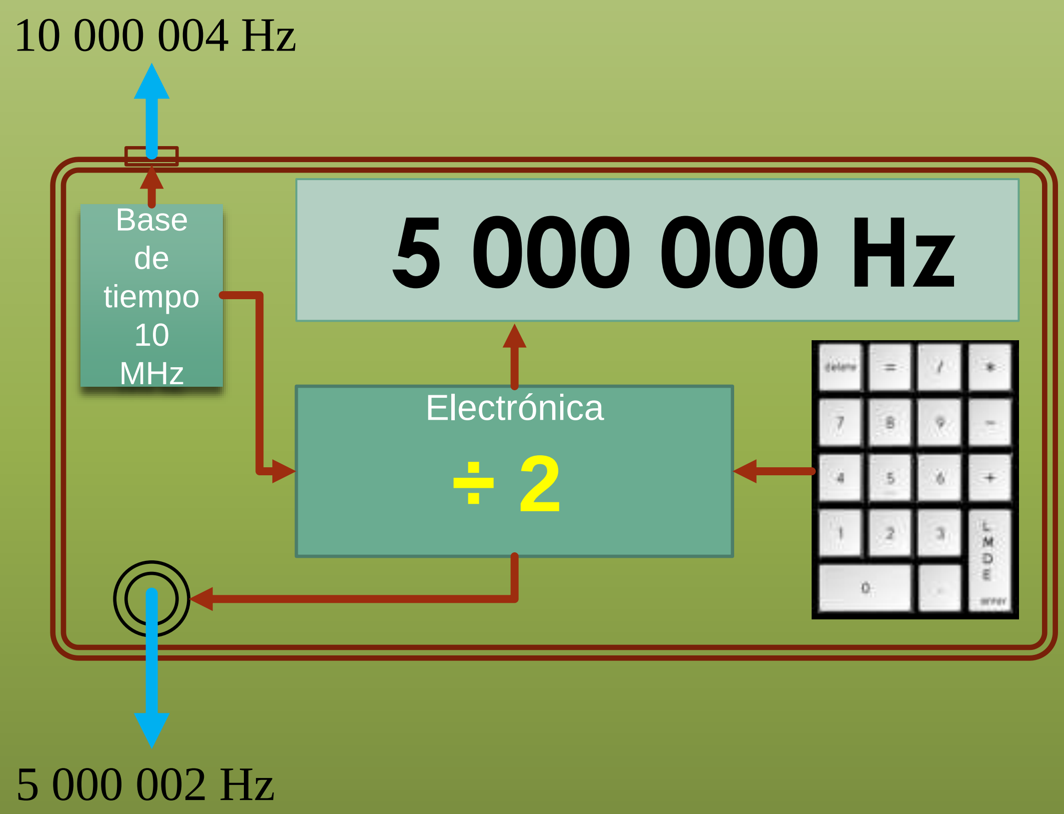


SINTETIZADOR

¿Qué es?

Un sintetizador de frecuencias, es el instrumento que genera frecuencias en un intervalo dado a partir de una base de tiempo.
La base de tiempo generalmente se proporciona por un oscilador de cuarzo aunque existen muchos equipos comerciales con base de tiempo de Rubidio.

¿Cómo funcionan?



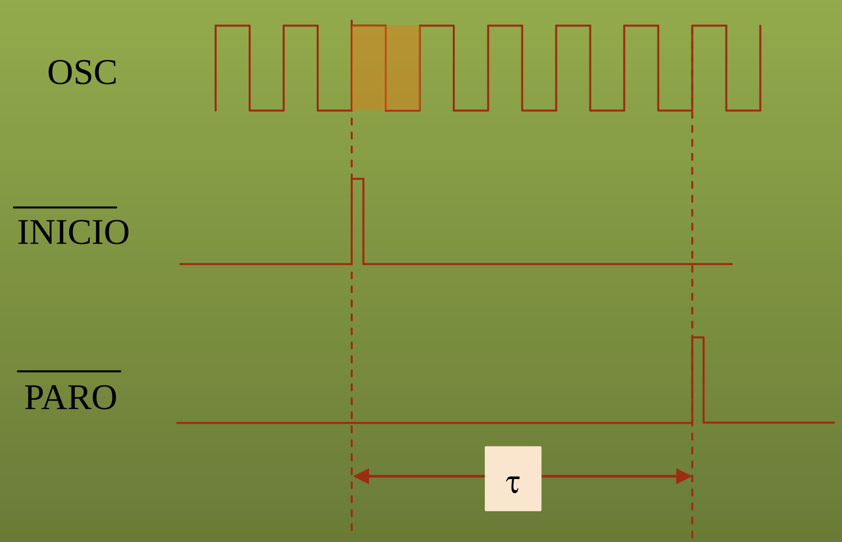
CONTADORES DE INTERVALOS DE TIEMPO

¿Qué es?

El contador de intervalos de tiempo es la herramienta de medición principal para la determinación de estabilidad en un reloj. Su función básica es la de medir el tiempo transcurrido entre dos acontecimientos (inicio y paro).

¿Cómo funcionan?

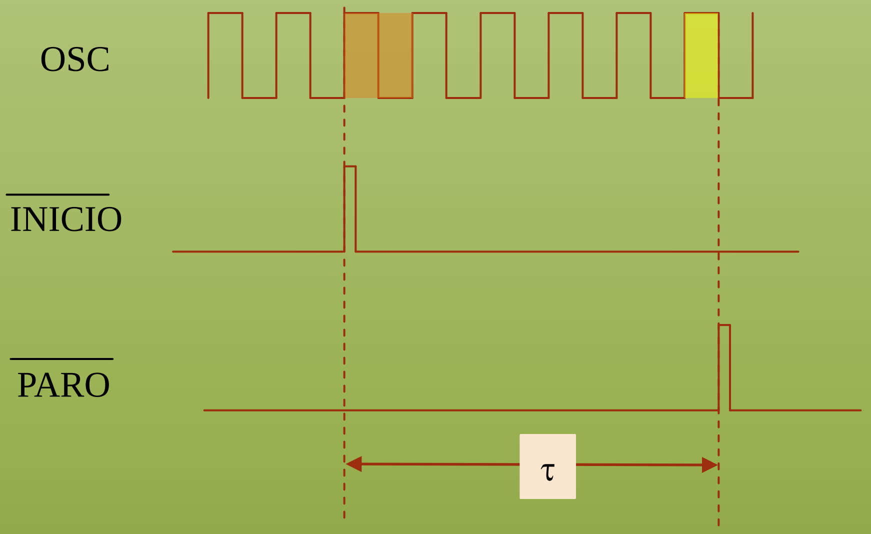
El intervalo de tiempo se mide al incrementar un registro contador de acuerdo a una frecuencia muy alta y estable, suministrada por el oscilador interno o una frecuencia de referencia externa.



f = 5 MHz

T = 200 ns

$\tau = 5 \times 200\ \text{ns} = 1\ \mu\text{s}$

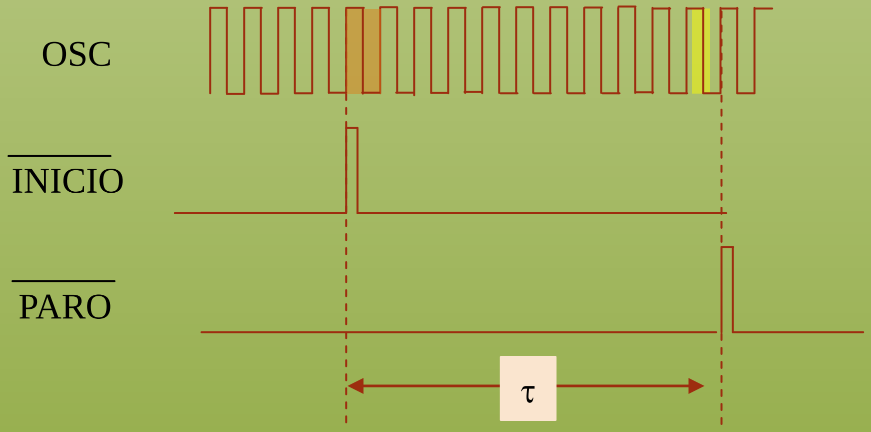


f = 5 MHz

T = 200 ns

τ = 5 x 200 ns = 1 μs

¿Cómo funcionan?



f = 10 MHz

T = 100 ns

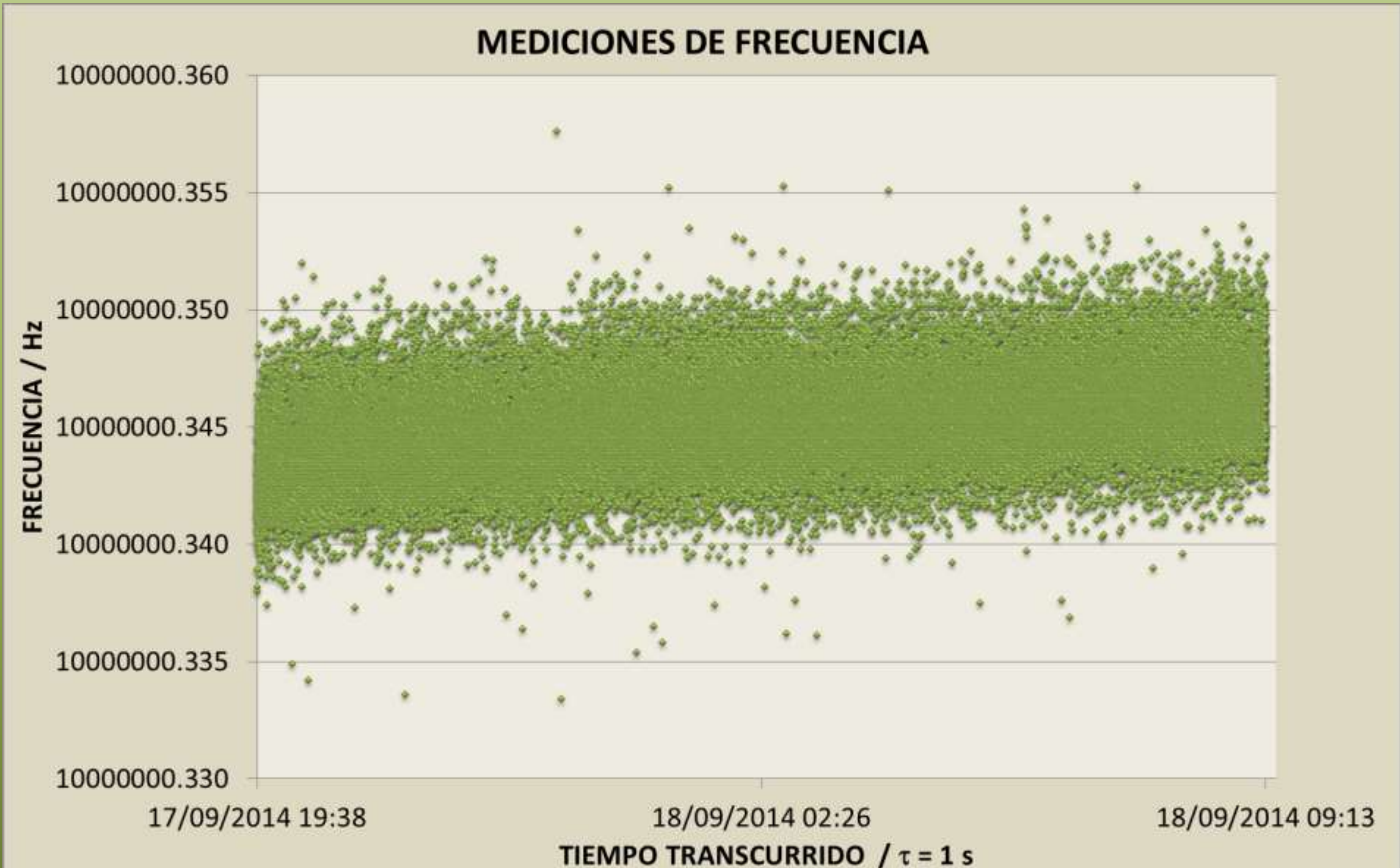
τ = 11 x 100 ns = 1.1 μs

La mejor resolución de medición se logra poniendo una base de tiempo tan alta como sea posible. Los contadores de alto desempeño comerciales usan una referencia local de 500 MHz, un PLL y un oscilador horneado (OCXO) muy estable que oscila a 5 ó 10 MHz.

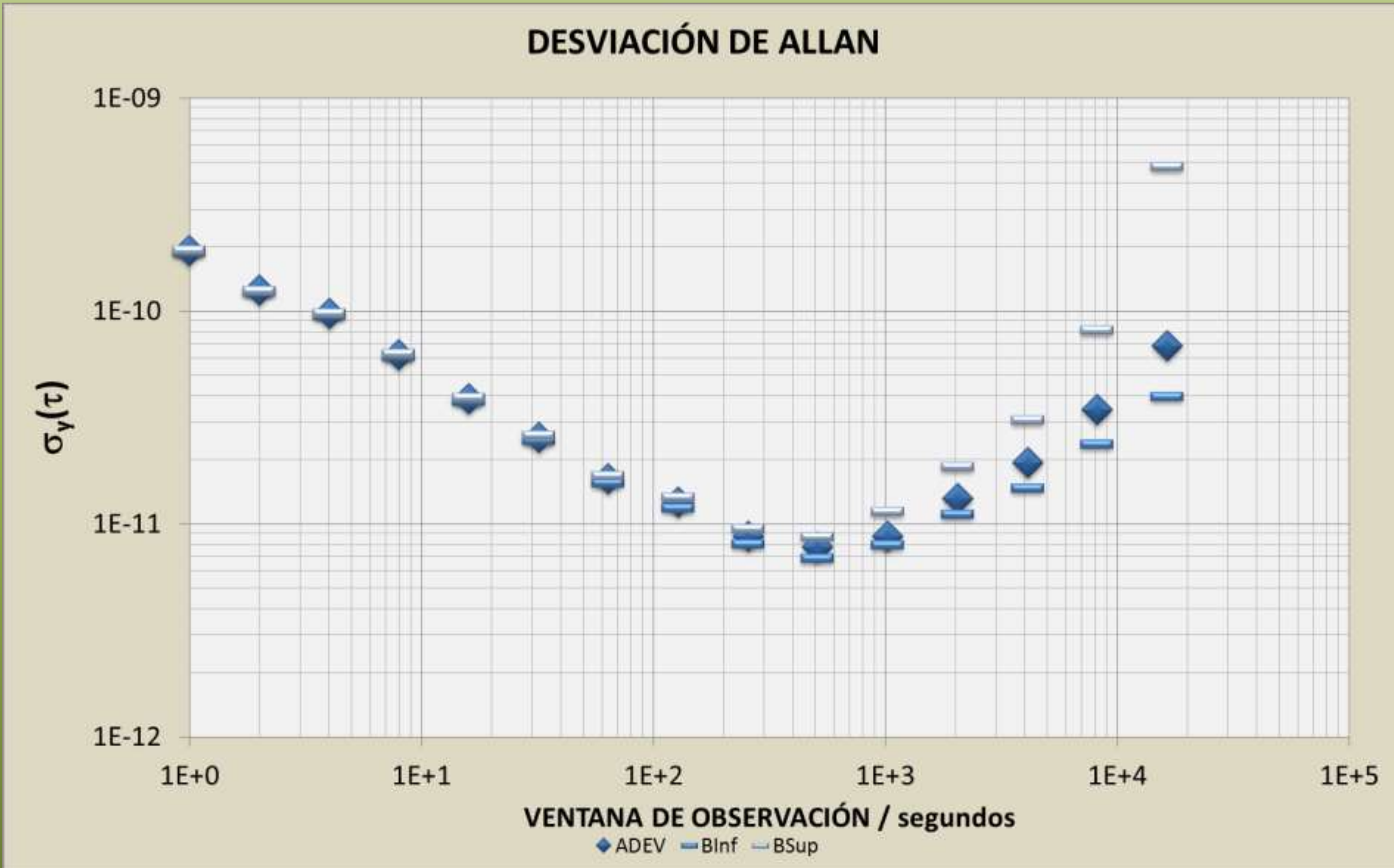
Los instrumentos comerciales implementan dos métodos para no tener que subir la frecuencia de referencia local y poder aumentar la resolución:

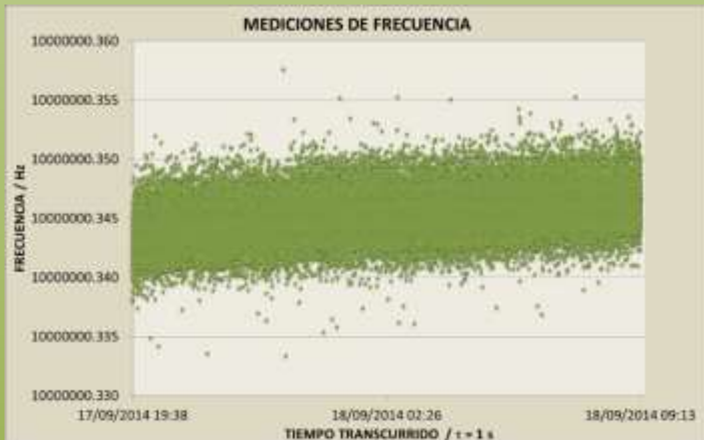
MEDICIÓN DIRECTA DE FRECUENCIA

MEDICIÓN DIRECTA DE FRECUENCIA



MEDICIONES DE FRECUENCIA
10000000.360
10000000.355
10000000.350
10000000.345
10000000.340
10000000.335
10000000.330
FRECUENCIA / Hz
17/09/2014 19:38
18/09/2014 02:26
18/09/2014 09:13
TIEMPO TRANSCURRIDO / τ = 1 s


DESVIACIÓN DE ALLAN
1E-09
1E-10
1E-11
1E-12
$\sigma_y(\tau)$
1E+0
1E+1
1E+2
1E+3
1E+4
1E+5
VENTANA DE OBSERVACIÓN / segundos
ADEV
BInf
BSup



$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \left(y_{i-1} - y_i\right)^2}$$

EXACTITUD

$$\left\langle \frac{\Delta f}{f_0} \right\rangle = \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{f - f_0}{f_0} \right)$$

Desviación Fraccional de Frecuencia Promedio

ESTABILIDAD

$$\sigma_y(\tau)$$

Desviación de Allan

$$f = \left(1 + \left\langle \frac{\Delta f}{f_0} \right\rangle \pm 2\sigma_y(\tau) \right) f_0$$

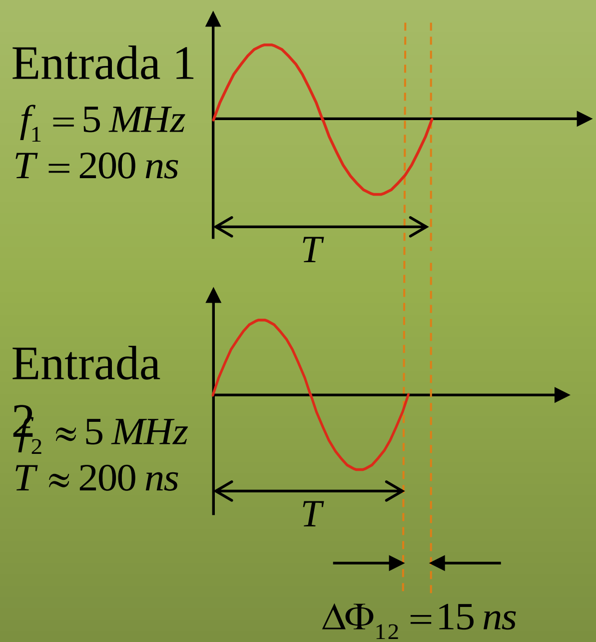
f es la frecuencia del instrumento bajo calibración

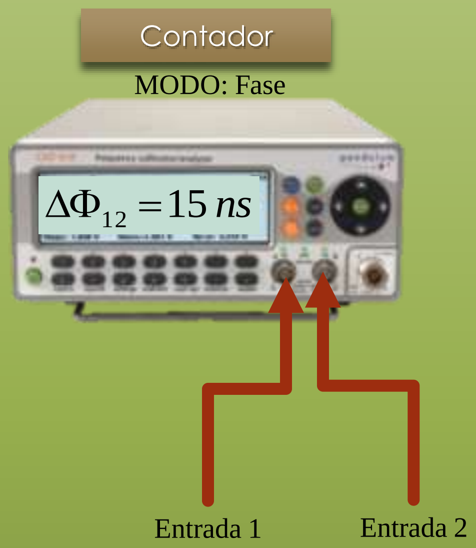
f_0 es la frecuencia patrón

2 es el factor de cobertura k

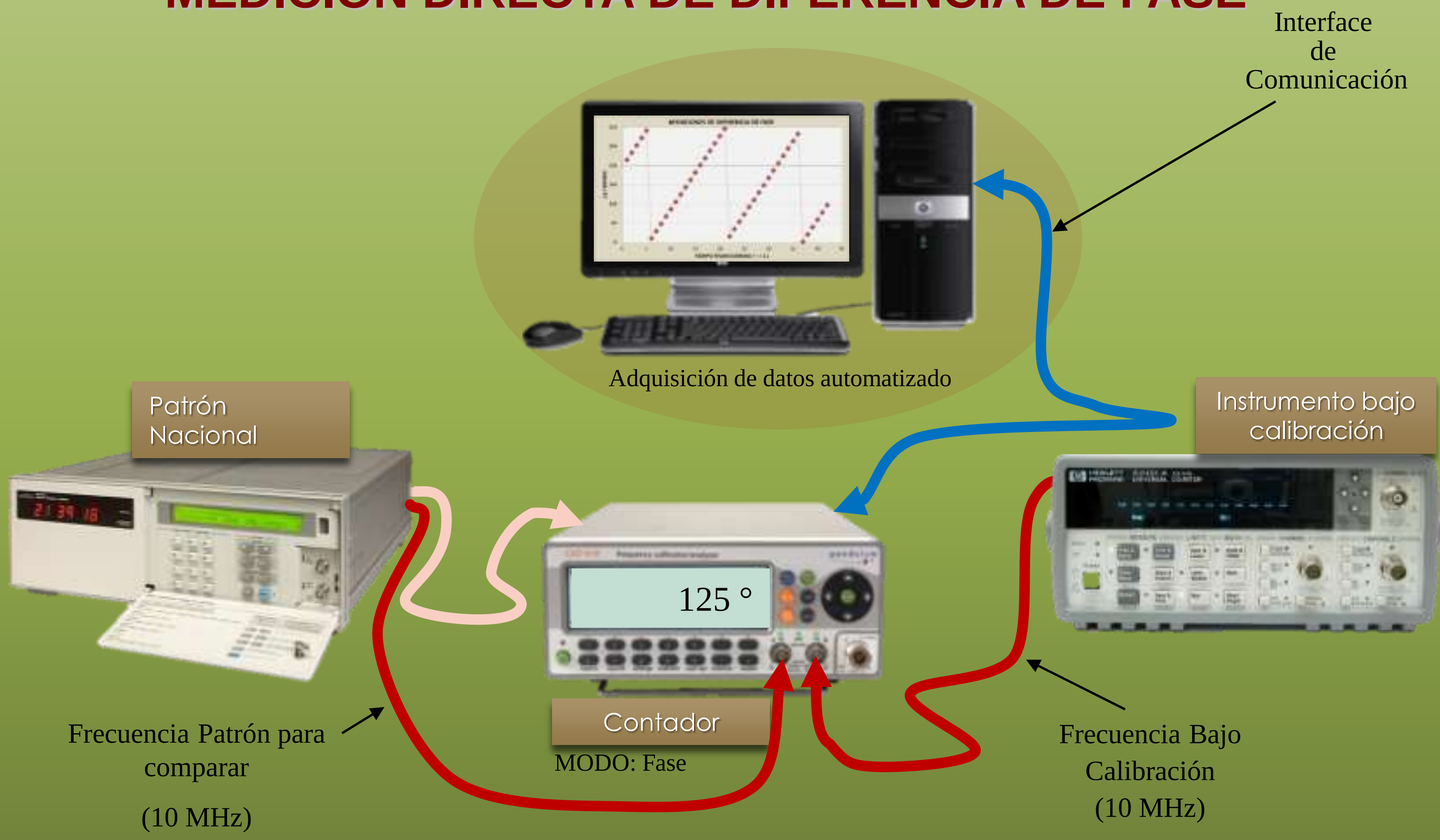
MEDICIÓN DIRECTA DE DIFERENCIA DE FASE

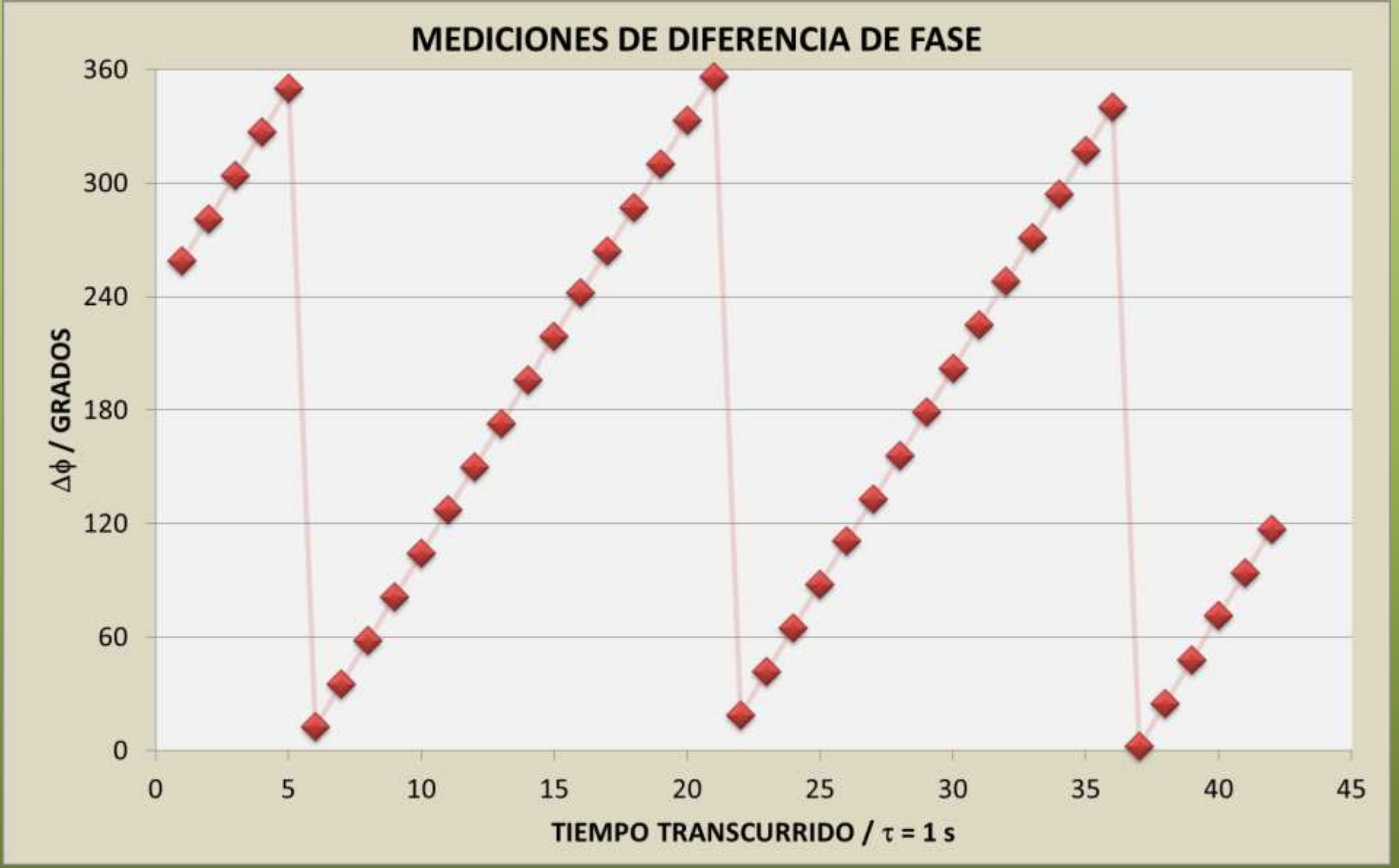
Medición de diferencia de fase

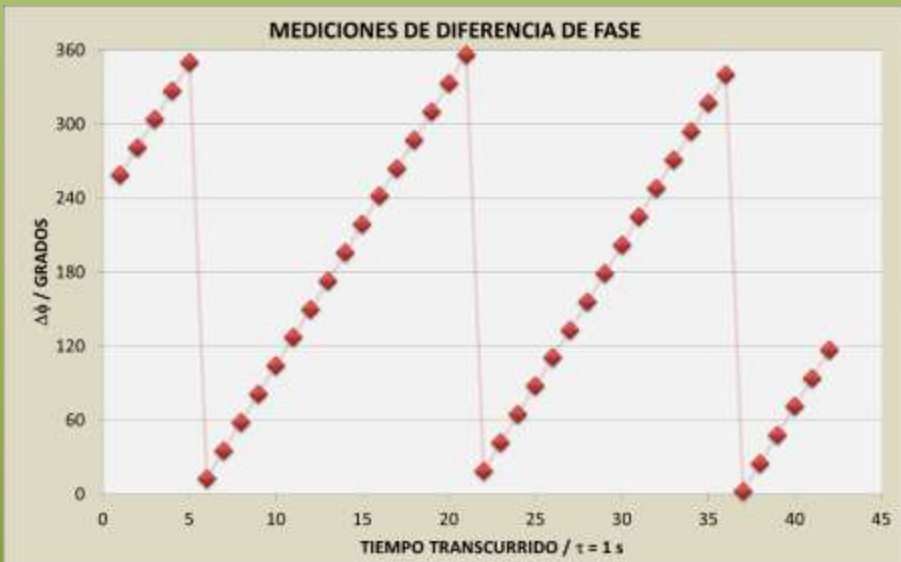


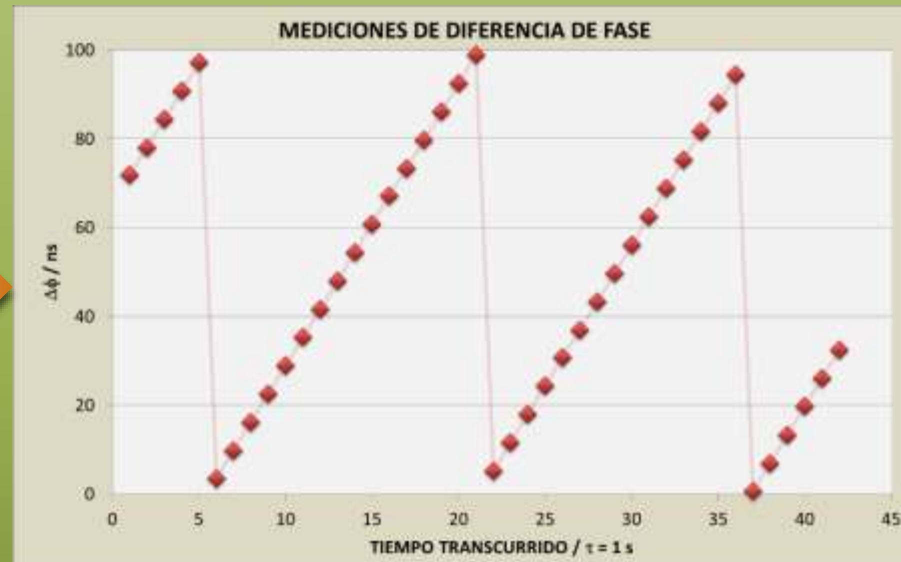


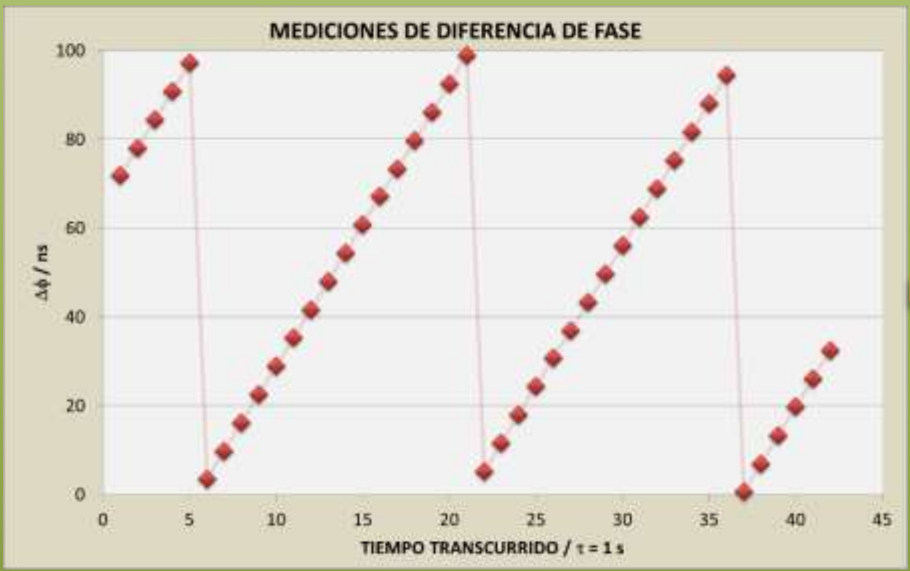
MEDICIÓN DIRECTA DE DIFERENCIA DE FASE



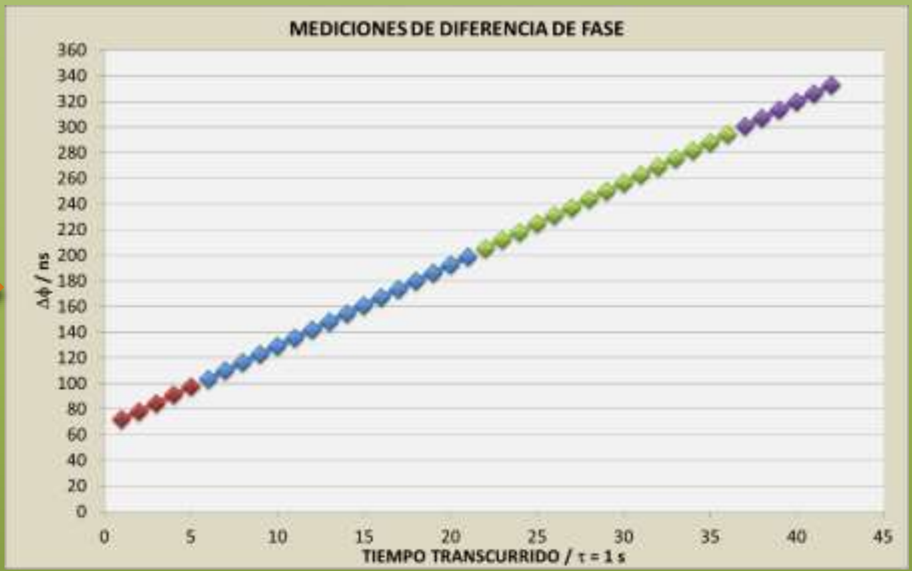

MEDICIONES DE DIFERENCIA DE FASE
360
300
240
180
120
60
0
Δϕ / GRADOS
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
TIEMPO TRANSCURRIDO / τ = 1 s


MEDICIONES DE DIFERENCIA DE FASE
Δϕ / GRADOS
360
300
240
180
120
60
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
TIEMPO TRANSCURRIDO / τ = 1 s

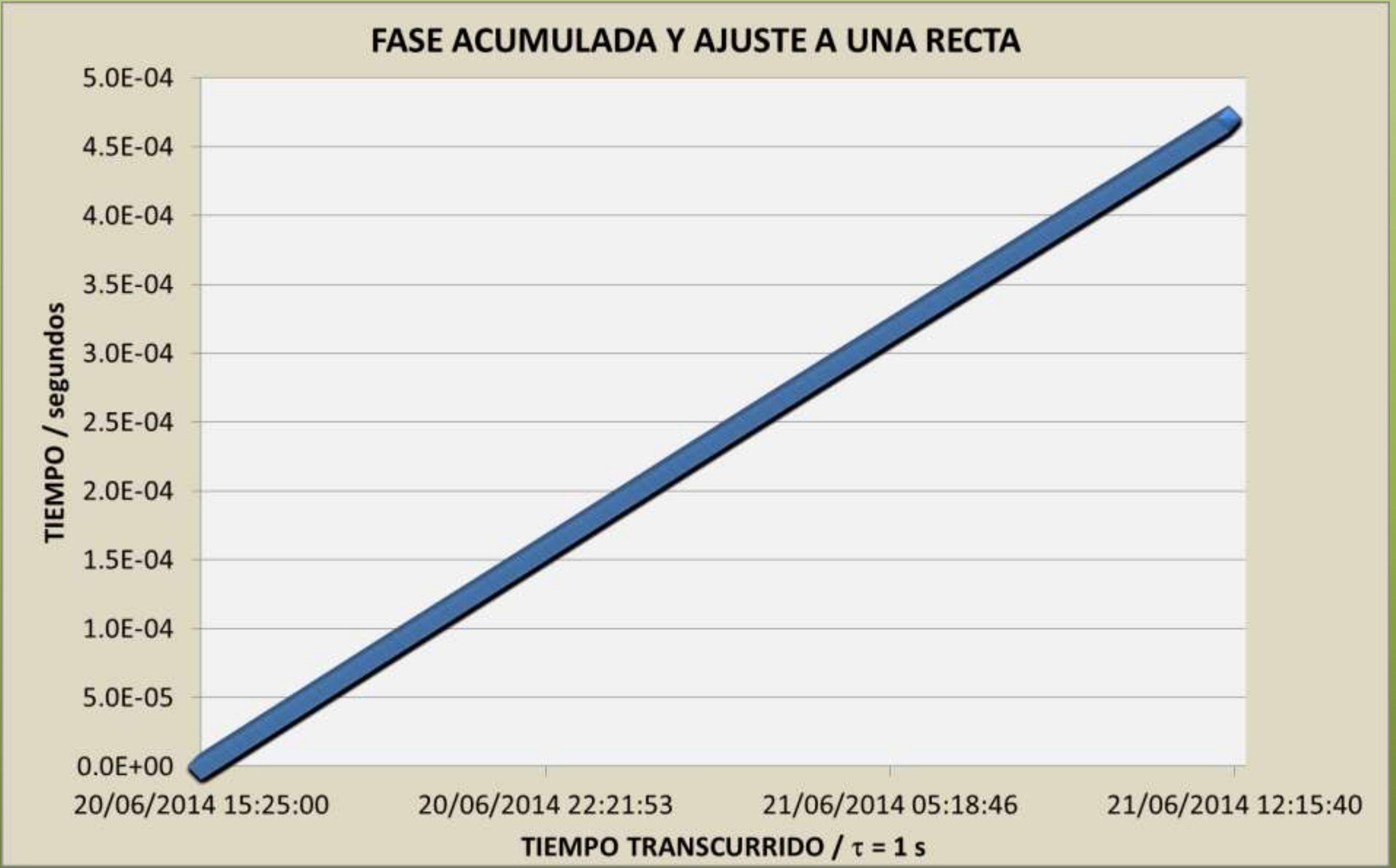

MEDICIONES DE DIFERENCIA DE FASE
Δϕ / ns
100
80
60
40
20
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
TIEMPO TRANSCURRIDO / τ = 1 s

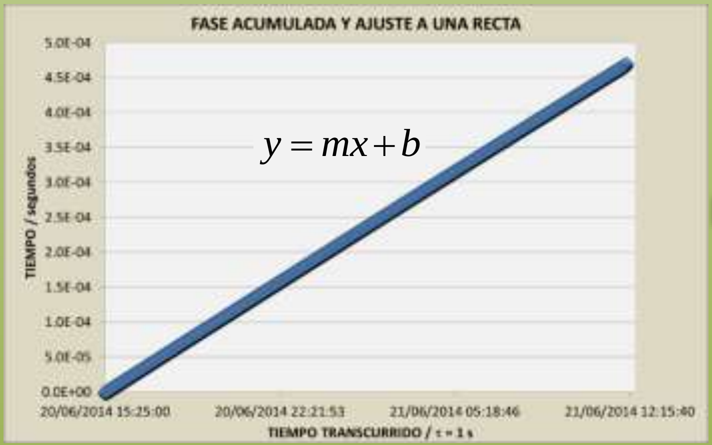


MEDICIONES DE DIFERENCIA DE FASE
Δφ / ns
0
20
40
60
80
100
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45
TIEMPO TRANSCURRIDO / τ = 1 s



MEDICIONES DE DIFERENCIA DE FASE
Δφ / ns
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45
TIEMPO TRANSCURRIDO / τ = 1 s


FASE ACUMULADA Y AJUSTE A UNA RECTA
5.0E-04
4.5E-04
4.0E-04
3.5E-04
3.0E-04
2.5E-04
2.0E-04
1.5E-04
1.0E-04
5.0E-05
0.0E+00
TIEMPO / segundos
20/06/2014 15:25:00
20/06/2014 22:21:53
21/06/2014 05:18:46
21/06/2014 12:15:40
TIEMPO TRANSCURRIDO / τ = 1 s



$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2(n-2)} \sum_{i=1}^{N-2} \left(x_{i+2} - 2x_{i+1} + x_i\right)^2}$$

EXACTITUD

$$m = \frac{\Delta T}{T}$$

$$\frac{\Delta f}{f_0} = -\frac{\Delta T}{T}$$

Desviación Fraccional de Frecuencia

ESTABILIDAD

$$\sigma_y(\tau)$$

Desviación de Allan

$$f = \left(1 + \left(\frac{\Delta f}{f_0}\right) \pm 2\sigma_y(\tau)\right) f_0$$

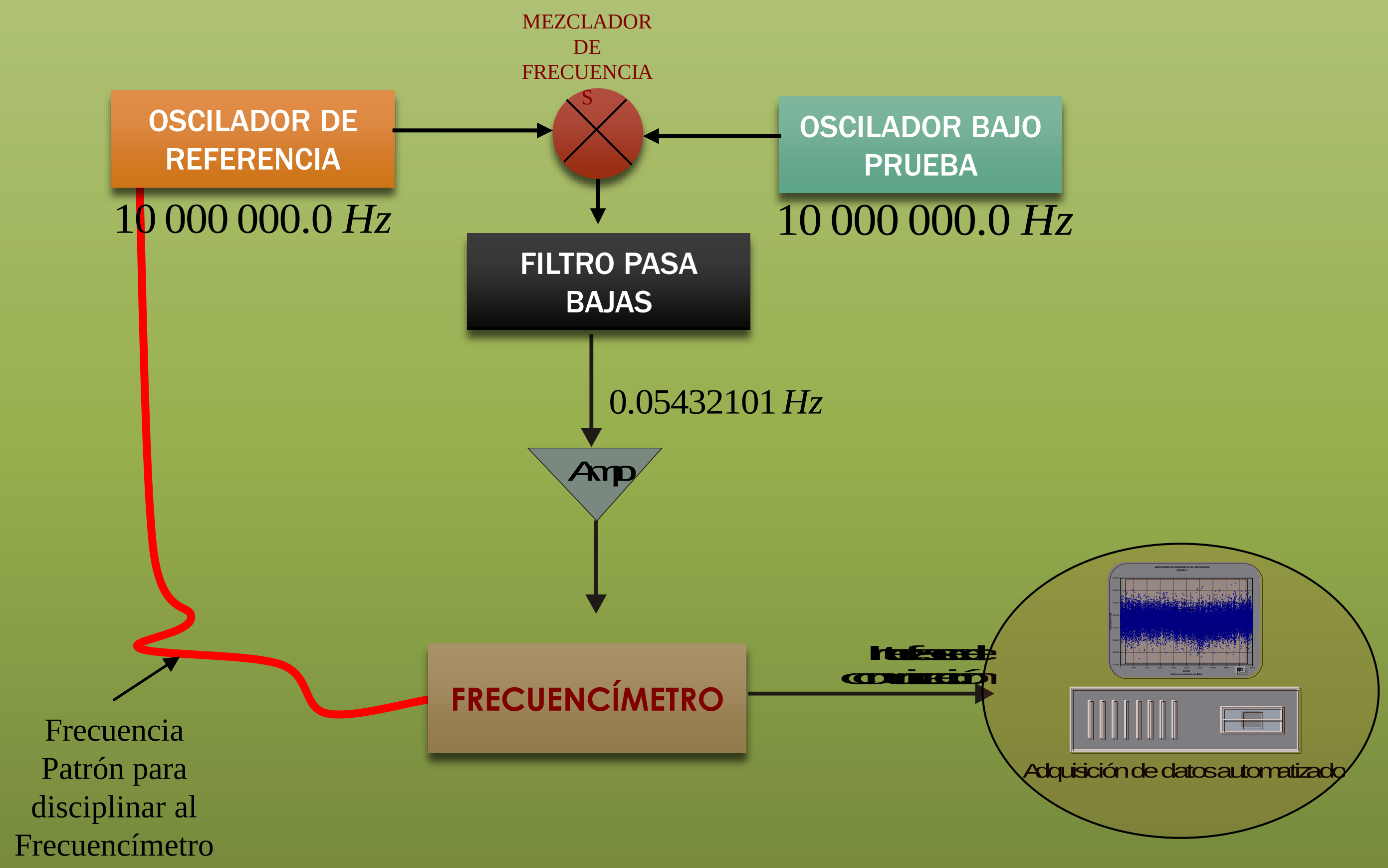
f es la frecuencia del instrumento bajo calibración

f_0 es la frecuencia patrón

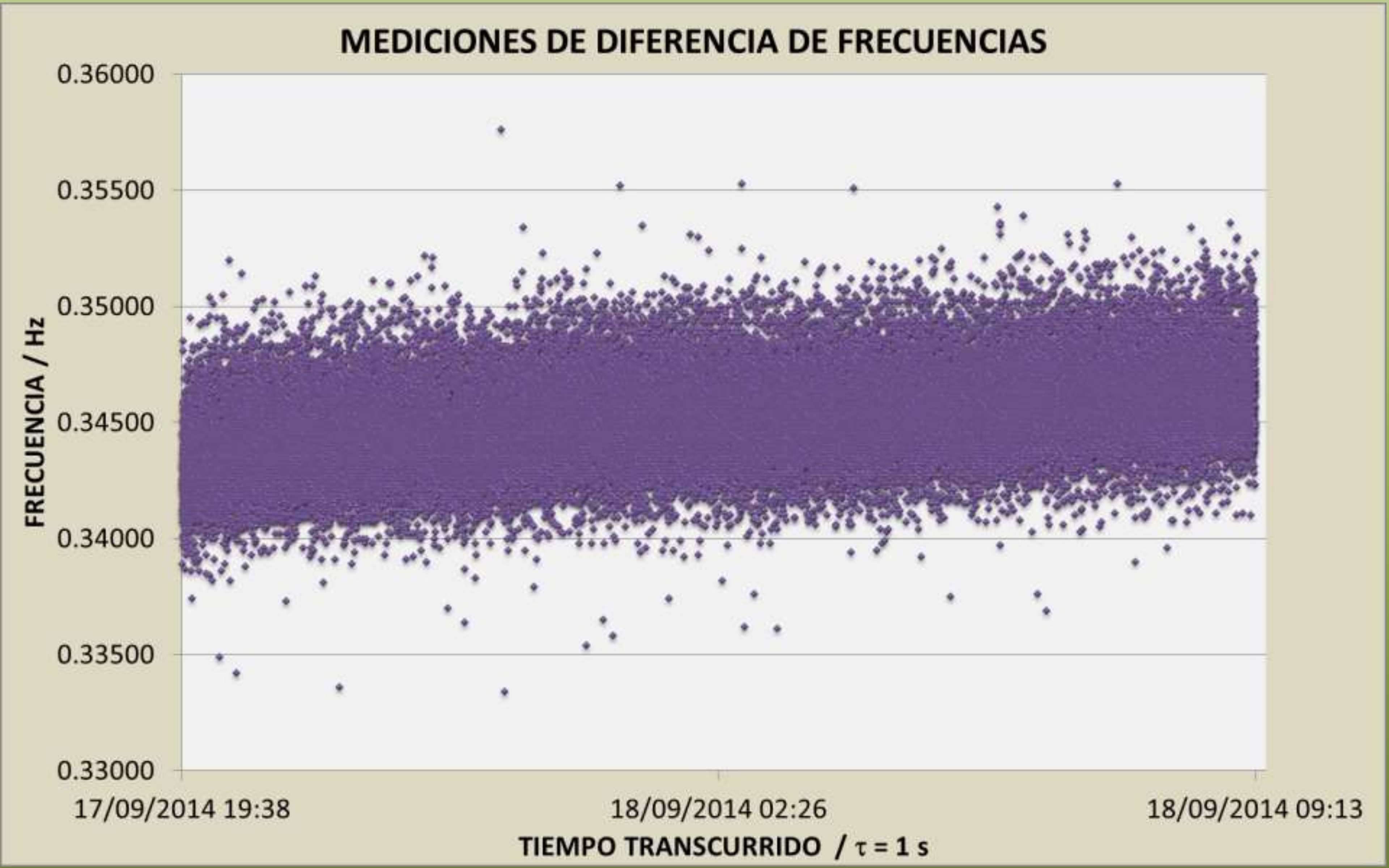
2 es el factor de cobertura k

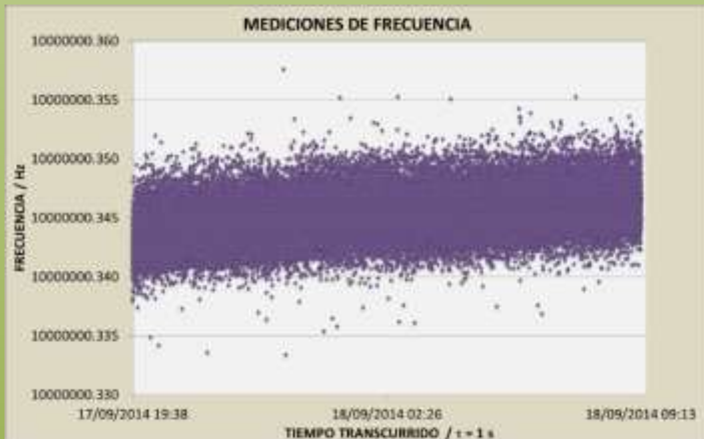
MEDICIÓN DE DIFERENCIA DE FRECUENCIAS

MEDICIÓN DE DIFERENCIA DE FRECUENCIAS



MEDICIÓN DE DIFERENCIA DE FRECUENCIAS


MEDICIONES DE DIFERENCIA DE FRECUENCIAS
0.36000
0.35500
0.35000
0.34500
0.34000
0.33500
0.33000
FRECUENCIA / Hz
17/09/2014 19:38
18/09/2014 02:26
18/09/2014 09:13
TIEMPO TRANSCURRIDO / τ = 1 s



$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2(n-1)}\sum_{i=1}^{N-1}\left(y_{i-1} - y_i\right)^2}$$

EXACTITUD

$$\left\langle \frac{\Delta f}{f_0} \right\rangle = \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{f - f_0}{f_0} \right)$$

Desviación Fraccional de Frecuencia Promedio

ESTABILIDAD

$$\sigma_y(\tau)$$

Desviación de Allan

$$f = \left(1 + \left\langle \frac{\Delta f}{f_0} \right\rangle \pm 2\sigma_y(\tau) \right) f_0$$

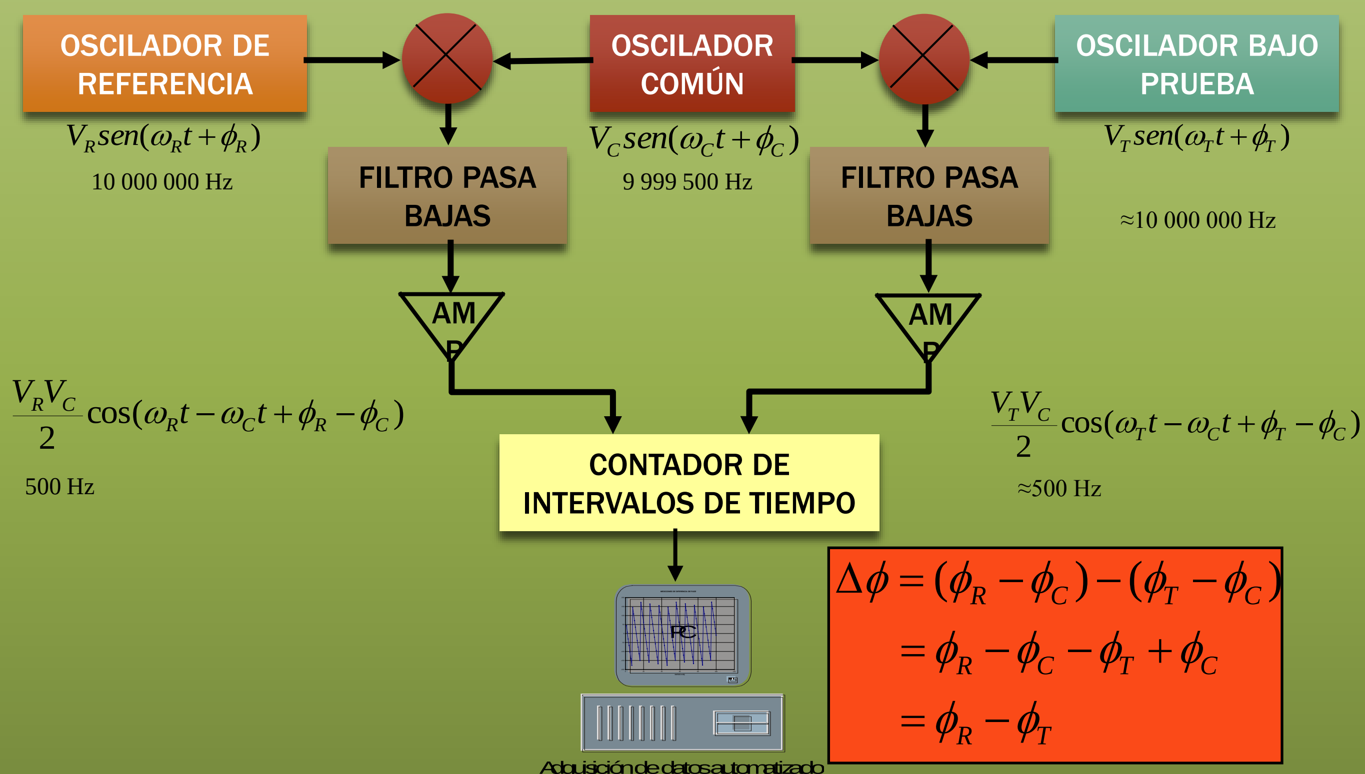
f es la frecuencia del instrumento bajo calibración

f_0 es la frecuencia patrón

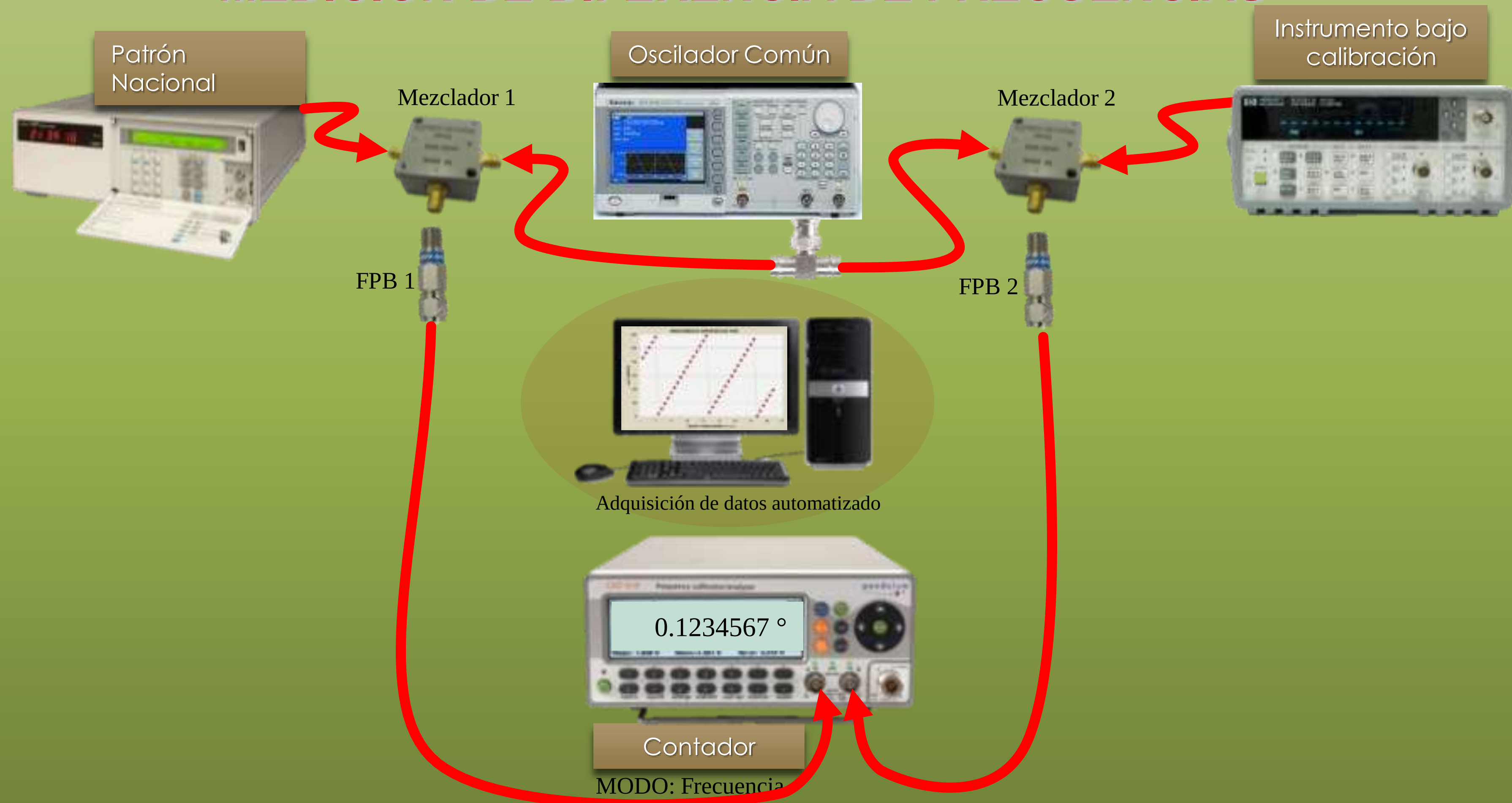
2 es el factor de cobertura k

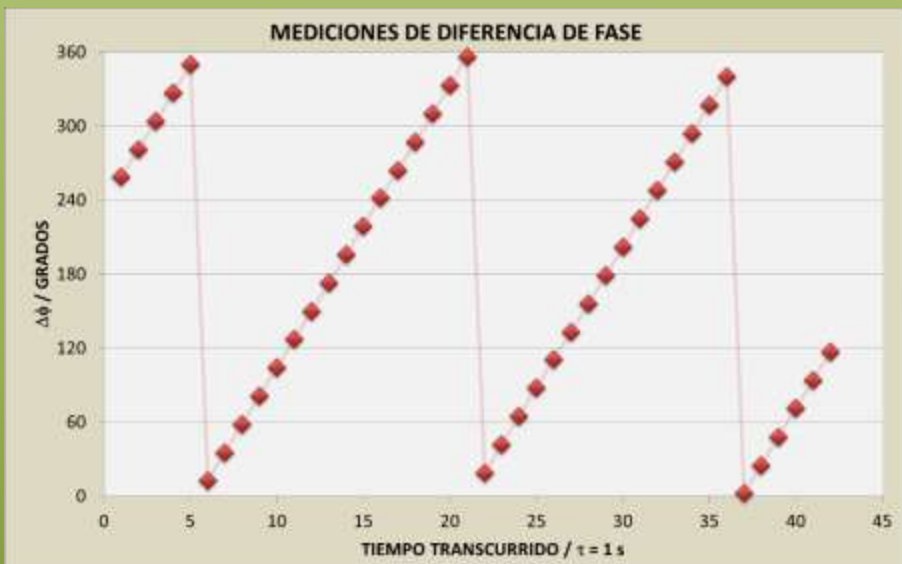
MEDICIÓN DE DIFERENCIA DE FASE CON DOBLE MEZCLADOR

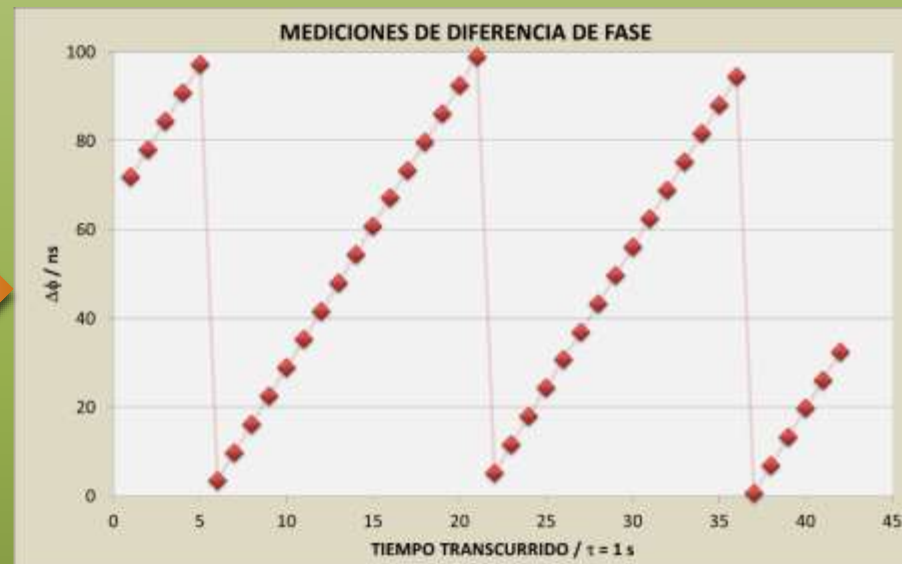
MEDICIÓN DE DIFERENCIA DE FASE CON DOBLE MEZCLADOR

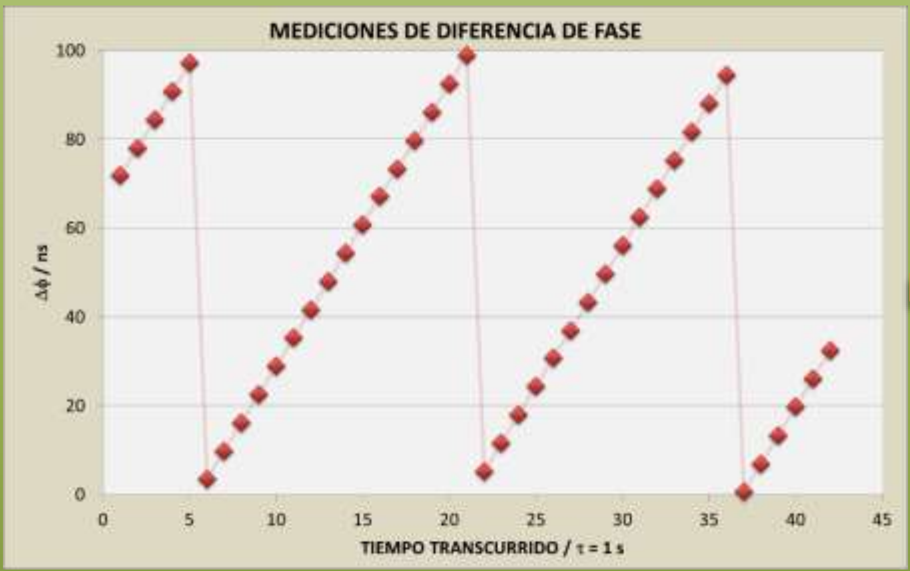


MEDICIÓN DE DIFERENCIA DE FRECUENCIAS

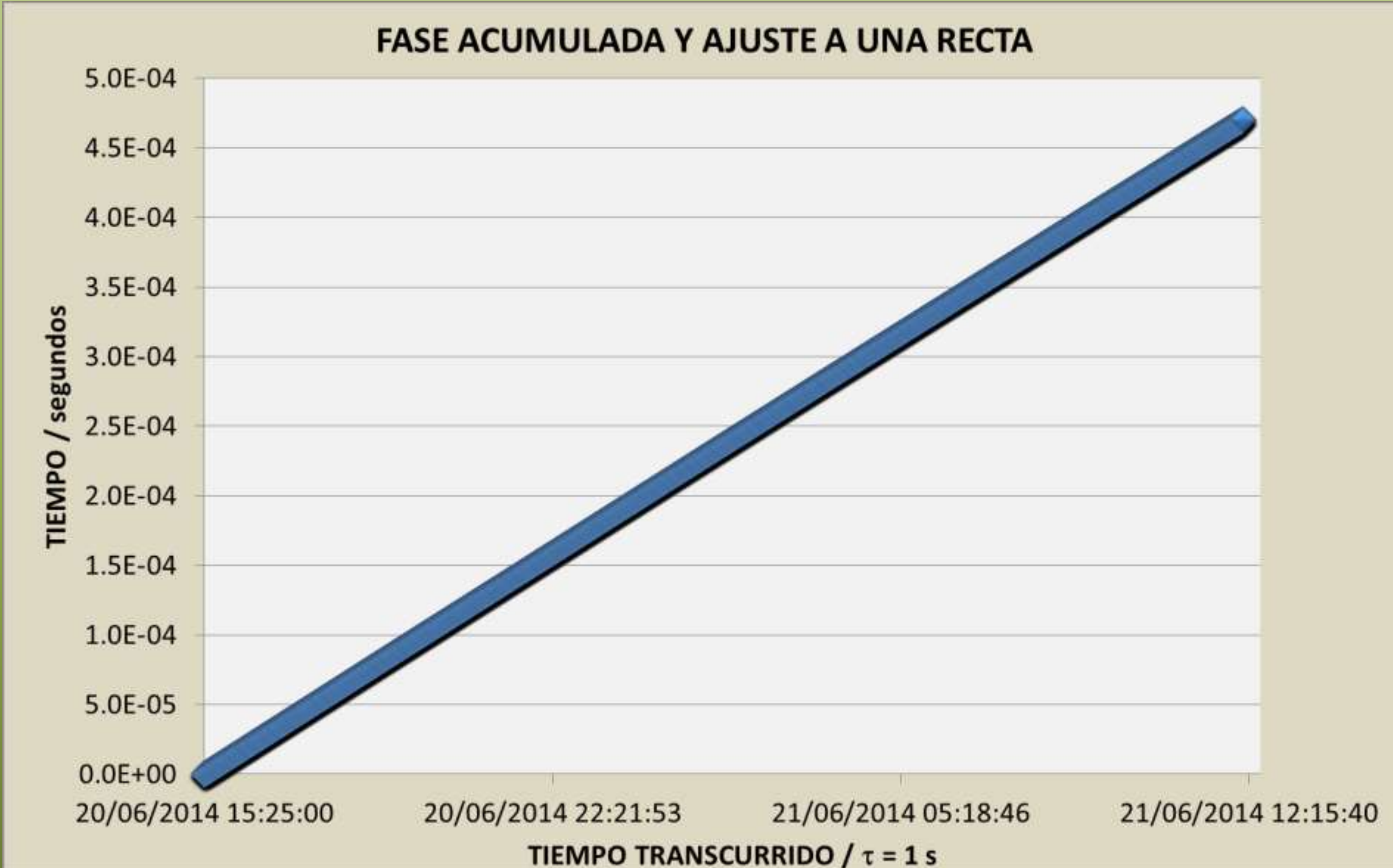


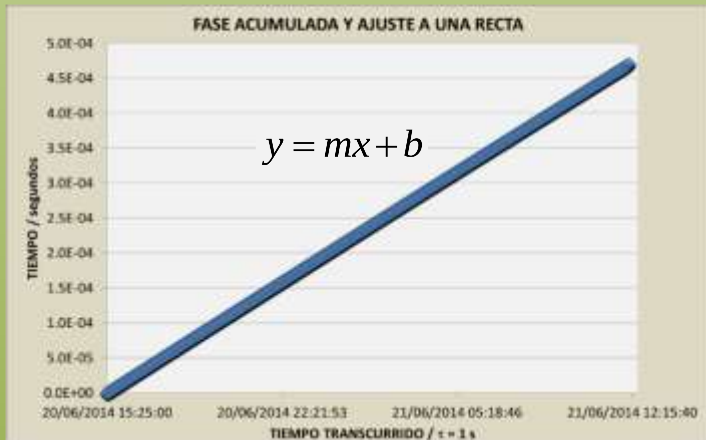

MEDICIONES DE DIFERENCIA DE FASE
Δϕ / GRADOS
TIEMPO TRANSCURRIDO / τ = 1 s


MEDICIONES DE DIFERENCIA DE FASE
Δϕ / ns
TIEMPO TRANSCURRIDO / τ = 1 s


MEDICIONES DE DIFERENCIA DE FASE
Δϕ / ns
TIEMPO TRANSCURRIDO / τ = 1 s


MEDICIONES DE DIFERENCIA DE FASE
Δϕ / ns
TIEMPO TRANSCURRIDO / τ = 1 s


FASE ACUMULADA Y AJUSTE A UNA RECTA
5.0E-04
4.5E-04
4.0E-04
3.5E-04
3.0E-04
2.5E-04
2.0E-04
1.5E-04
1.0E-04
5.0E-05
0.0E+00
TIEMPO / segundos
20/06/2014 15:25:00
20/06/2014 22:21:53
21/06/2014 05:18:46
21/06/2014 12:15:40
TIEMPO TRANSCURRIDO / τ = 1 s



$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2(n-2)} \sum_{i=1}^{N-2} \left(x_{i+2} - 2x_{i+1} + x_i\right)^2}$$

EXACTITUD

$$m = \frac{\Delta T}{T}$$

$$\frac{\Delta f}{f_0} = -\frac{\Delta T}{T}$$

Desviación Fraccional de Frecuencia

ESTABILIDAD

$$\sigma_y(\tau)$$

Desviación de Allan

$$f = \left(1 + \left(\frac{\Delta f}{f_0}\right) \pm 2\sigma_y(\tau)\right) f_0$$

f es la frecuencia del instrumento bajo calibración

f_0 es la frecuencia patrón

2 es el factor de cobertura k