

ANEXOS

ANEXO 1: Filtros para reducción de ruido.

Dentro de los tipos de algoritmos que permiten la reducción del ruido en un filtro digital, se encuentran los siguientes:

- **Filtro FIR con Fase Lineal** [43]: Son filtros de respuesta finita al impulso, lo que quiere decir que a una señal de impulso como entrada, la salida tendrá un número finito de términos no nulos. Se trata de un filtro no recursivo y como características más relevantes se destacan que no tienen realimentación y tampoco presentan problemas de estabilidad.

La estructura de la señal a la salida de este tipo de filtro se basa solamente en la combinación lineal de las entradas actuales y anteriores, como se muestra en la siguiente ecuación característica:

$$H(z) = \sum_{k=0}^N a_k * z^{-k}$$

Los parámetros que usa son el orden del filtro y la frecuencia normalizada digital de la señal.

$$frecuencia\ digital = \frac{2 * \pi * frecuencia\ de\ corte}{frecuencia\ de\ muestreo}$$

El diseño de este tipo de filtros se divide en tres grandes bloques: método de ventana, método en frecuencia y rizado constante [44]. En este estudio, se diseñará el filtro por medio del método de ventana, en este método primero se diseña un filtro ideal IIR y luego se trunca la respuesta multiplicándolo por una función finita.

Los siguientes filtros son filtros digitales de Respuesta Infinita al Impulso (IIR), que contrariamente a los filtros FIR, tienen una salida de número infinito de términos no nulos a una señal de entrada tipo impulso, poseen realimentación pero pueden presentar problemas de estabilidad [43].

- **Filtro de Butterworth:** Se caracteriza por producir la respuesta más plana posible en la banda de paso, es decir no presenta rizado, donde decaerá linealmente desde la frecuencia de corte hacia el infinito, a razón de $20n$ dB por década ó $6n$ dB por octava (siendo n el número de polos del filtro).

Cabe resaltar, que a medida que aumentamos el orden del filtro la respuesta es más ideal, es decir mientras más se aumente el orden, la fase es menos lineal. Los parámetros que usa son el orden del filtro y la frecuencia normalizada digital de la señal.

- **Filtro de Chebyshev:** Dependiendo del tipo del filtro, presentará o bien un rizado en la banda de paso, tipo uno, o en la banda atenuada, tipo dos. Es decir Chebyshev tipo uno maximiza la pendiente fuera de la banda de paso, presenta rizado en la banda de paso y es monótona fuera de ella.

En cambio Chebyshev tipo dos presenta una respuesta monótona en la banda de paso y rizado en la banda de rechazo. A diferencia de Butterworth, la respuesta transitoria es peor. Los parámetros que usa son el orden del filtro, tasa pico a pico de la banda de paso y la frecuencia normalizada digital de la señal.

- **Filtro Elíptico o de Cauer:** Esta clase de filtros se caracterizan por tener rizado en ambas bandas, la banda de paso y la banda atenuada, a diferencia del filtro Chebyshev que solo presenta rizado o en la banda de paso o en la banda atenuada. Son utilizados para eliminación de una frecuencia en concreto ya que tienen una atenuación en la frecuencia de corte bastante empinada.

Suelen ser más eficientes debido a que al minimizar la zona de transición, ante unas mismas restricciones, consiguen un menor orden. Los parámetros que usa son el orden del filtro, la tasa pico a pico de la banda de paso, la mínima atenuación de la banda de rechazo y la frecuencia normalizada digital de la señal.

Los siguientes filtros espaciales también pueden ser aplicados a señales de una dimensión [24] [45]:

- **Filtro de Media:** Es de tipo lineal, asigna al pixel central la media de todos los pixeles incluidos en la ventana. La matriz de filtrado estaría compuesta por unos y el divisor sería el número total de elementos en la matriz.
- **Filtro Gaussiano:** Filtro espacial lineal que simula una distribución gaussiana bivalente. El valor máximo aparece en el pixel central y disminuye hacia los extremos tanto más rápido cuanto menor sea el parámetro de desviación típica s . El resultado será un conjunto de valores entre 0 y 1. Para transformar la matriz a una matriz de números enteros se divide toda la matriz por el menor de los valores obtenidos.
- **Filtro de Mediana:** Este filtro es espacial no lineal, tiene la ventaja de que el valor final del pixel es un valor real presente en la imagen y no un promedio, de este modo se reduce el efecto borroso que tienen las imágenes que han sufrido un filtro de media. Además el filtro de la mediana es menos sensible a valores extremos. El inconveniente es que resulta más complejo de calcular ya que hay que ordenar los diferentes valores que aparecen en los pixeles incluidos en la ventana y determinar cuál es el valor central.

Finalmente, se analizará la técnica propuesta por Rudin, Osher y Fatemi para reducir el ruido en imágenes llamado: *Total Variation Regularization* o también *Total Variation Denoising* [46].

- **Total Variation Denoising (TVD)** [47]: La variable lambda es el parámetro de regularización. La minimización del Total Variation (TV) evita que la solución tenga oscilaciones pero permite que tenga discontinuidades, además ayuda a que la solución sea más cercana a la señal ingresada. Se pueden usar diversos algoritmos para implementar el TVD. Con esta combinación, la minimización encuentra una señal sin ruido. Se presenta un algoritmo de solución con la siguiente ecuación:

$$0 = \operatorname{div} \frac{\nabla u}{|\nabla u|} + \lambda(f - u)$$

Donde f es la señal medida y u es la señal sin ruido. Cuando lambda toma el valor de cero, el valor de la señal medida es ignorada y $u(x)$ (la señal de salida) será la misma que la de entrada. El parámetro lambda se elige para emparejar la varianza del ruido (σ^2), mientras más alto, se tiene una variación total menor.

ANEXO 2: Cálculo de la resolución del sensor MPU-6000.

Rango de medición de velocidad angular:

$$R = \mp 250^{\circ}/s = 500^{\circ}/s$$

Período:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000\text{Hz}} = 1\text{ms}$$

Rango de medición de ángulo:

$$R_A = R_w \times T = \frac{500^{\circ}}{s} \times 1\text{ms} = 0.5^{\circ}$$

Cantidad de bits por medición

$$C = 16 \text{ bits}$$

Resolución del sensor

$$S = \frac{R_A}{2^C} = \frac{0.5^{\circ}}{2^{16}} = 0.0000076^{\circ}/\text{bit}$$

ANEXO 3: Configuración de los registros del MPU-6000.

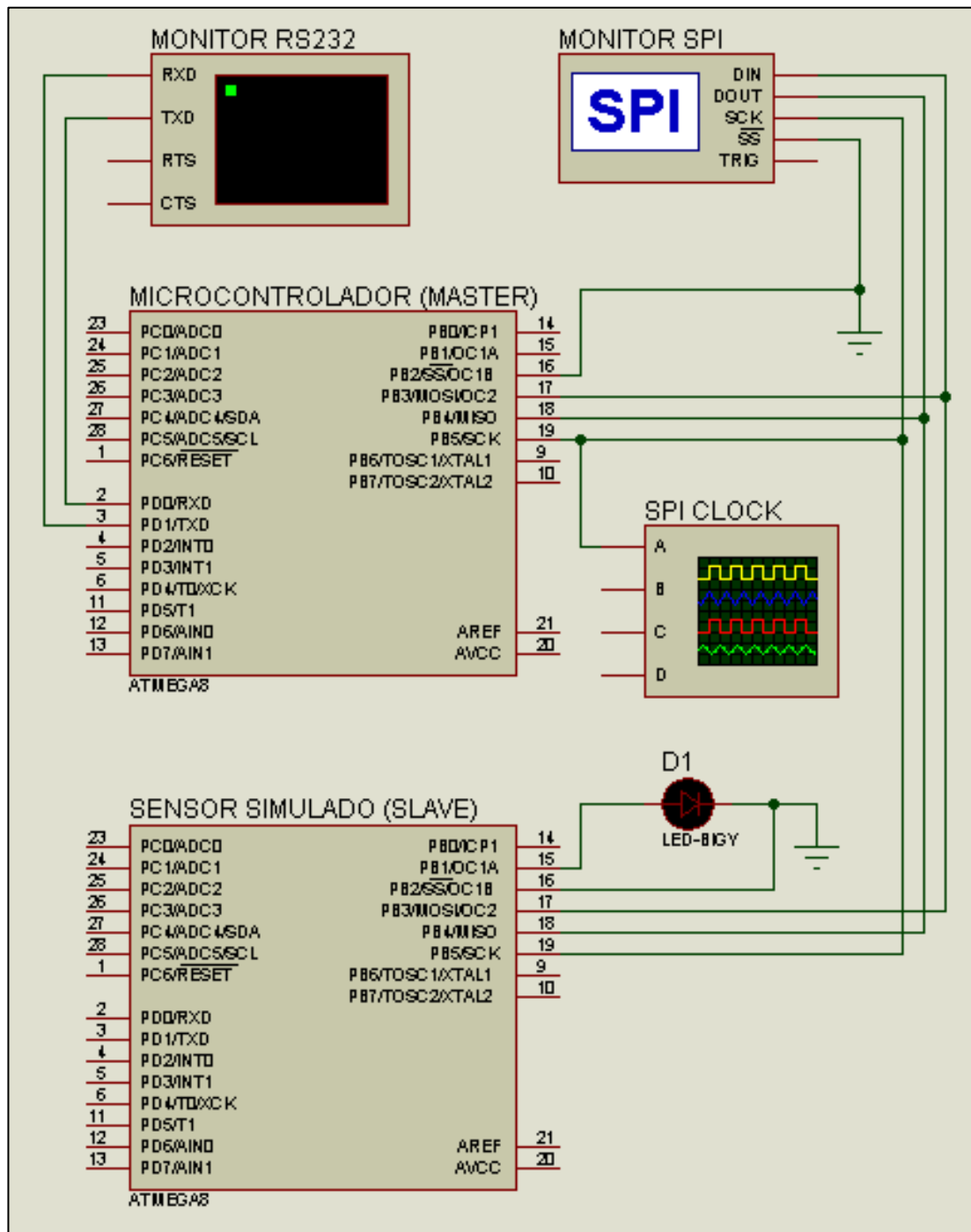
Los siguientes registros se configurarán al encender el sistema de medición.

Registro	Dirección (hexadecimal)	Valor (hexadecimal)	Configuración
Auxiliary I²C Supply Selection	01 (0x01)	0x00	Para el modelo MPU-6000 debe tener el valor de 0.
Sample Rate Divider	25 (0x19)	0x00	La frecuencia del muestreo será igual a la frecuencia de muestreo del giroscopio
Configuration	26 (0x1A)	0x01	La frecuencia de muestreo del giroscopio será de 1KHz.
Gyroscope Configuration	27 (0x1B)	0x18	El rango de medición será de $\pm 2000^\circ/s$.
FIFO Enable	35 (0x23)	0x00	FIFO deshabilitado.
INT Pin / Bypass Enable Configuration	55 (0x37)	0x50	Habilita la señal del reloj interno a un pin.
Interrupt Enable	56 (0x38)	0x01	Cada vez que haya un muestreo nuevo, activará la bandera DATA_RDY_EN.
Signal Path Reset	0x68	0x00	No se reseteará.
Power Management 1	0x6B	0x08	La fuente de reloj será el oscilador interno de 8MHz.

Los siguientes registros se leerán constantemente durante el tiempo de muestreo. Primero se espera que hayan nuevos datos cuando se active el bit 0 del registro Interrupt Status, luego se leen los 6 bytes de los 3 ejes (el valor de cada eje consta de 2 bytes).

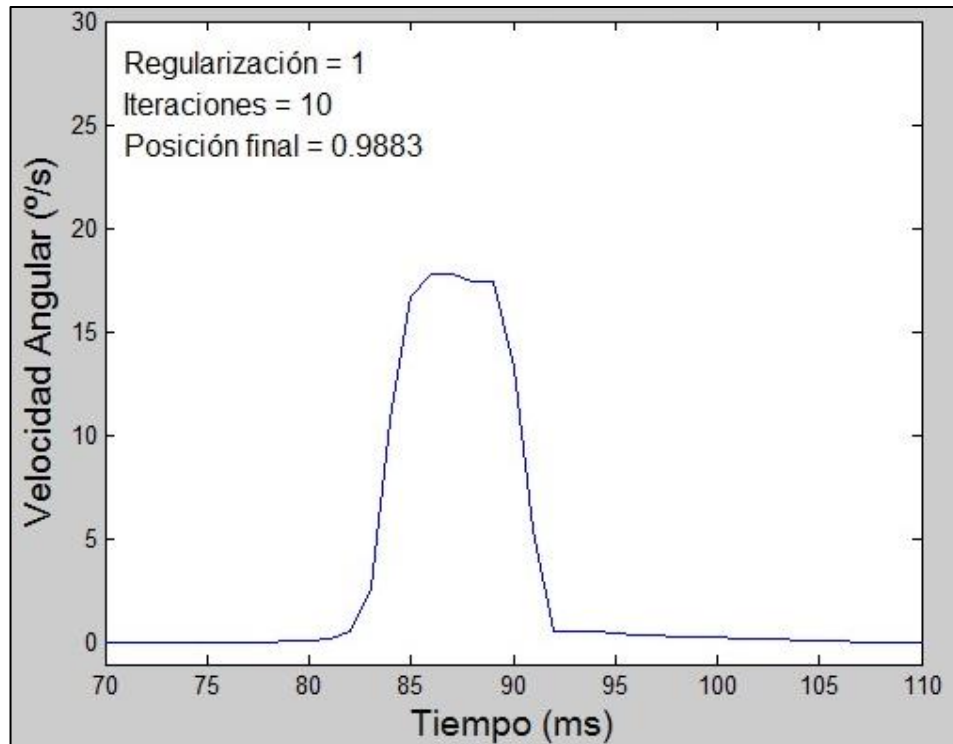
Registro	Dirección (hexadecimal)	Cantidad (bits)	Lectura
Interrupt Status	58 (0x3A)	Bit 0	Se activará este bit cada vez que exista una nueva lectura.
Gyroscope Axis X High	67 (0x43)	X[15:8]	Se lee el byte superior del eje X.
Gyroscope Axis X Low	68 (0x44)	X[7:0]	Se lee el byte inferior del eje X.
Gyroscope Axis Y High	69 (0x45)	Y[15:8]	Se lee el byte superior del eje Y.
Gyroscope Axis Y Low	70 (0x46)	Y[7:0]	Se lee el byte inferior del eje Y.
Gyroscope Axis Z High	71 (0x47)	Z[15:8]	Se lee el byte superior del eje Z.
Gyroscope Axis Z Low	72 (0x48)	Z[7:0]	Se lee el byte inferior del eje Z.

ANEXO 4: Configuración de la simulación.

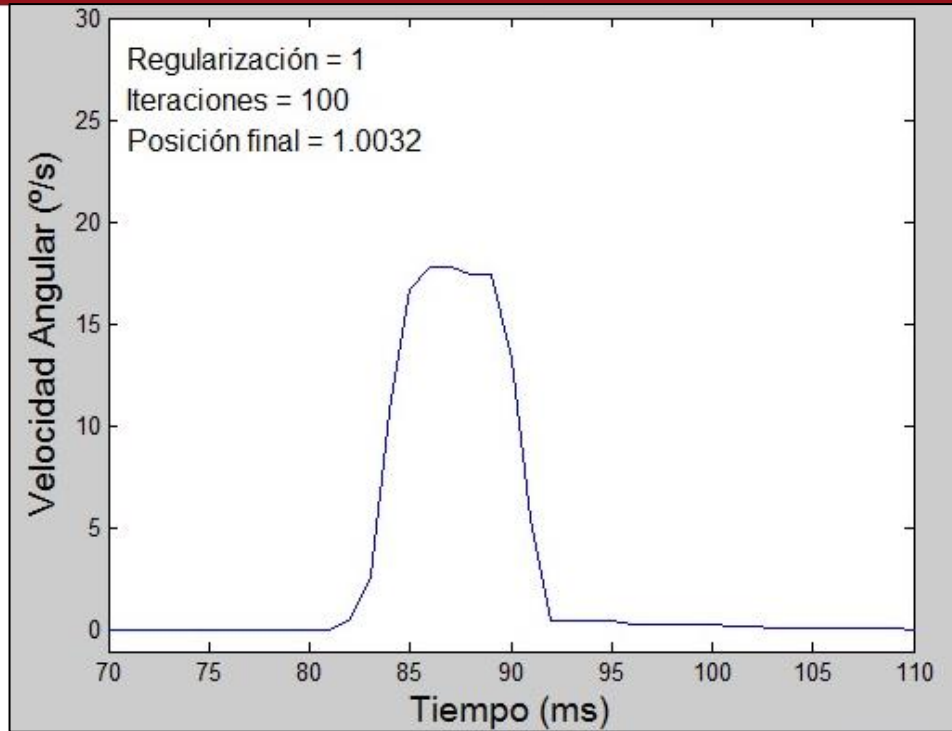


ANEXO 5: Variación de Parámetros en TVD.

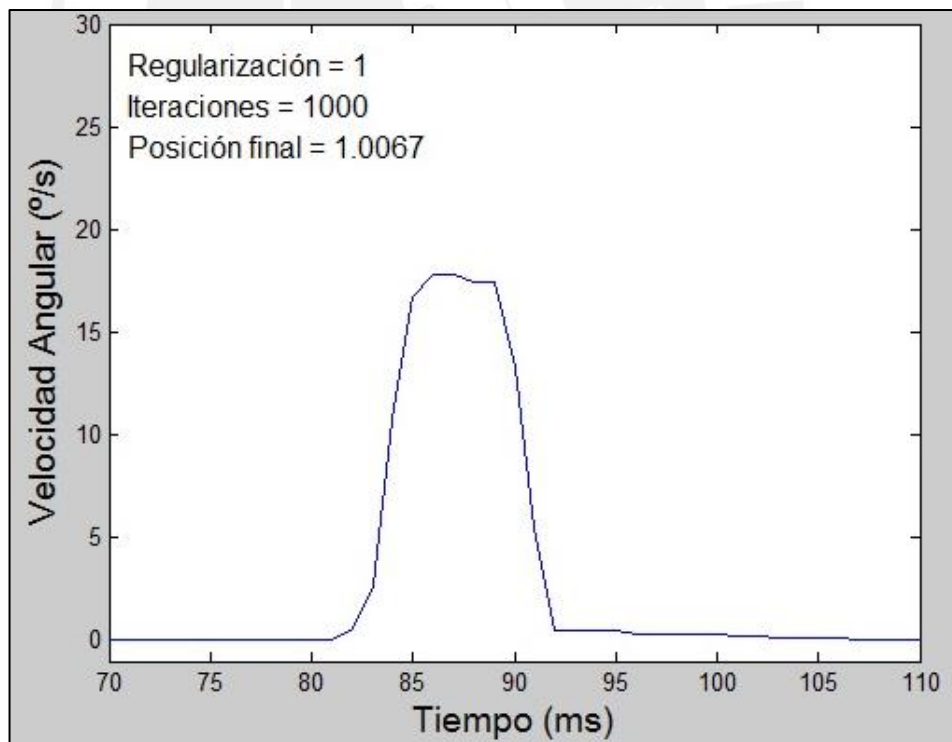
Se tendrá que encontrar los valores del parámetro de regularización e iteraciones con los que se trabajarán. Primero, se mantendrá el parámetro de regularización constante (1) y se cambiará el número de iteraciones (10, 100, 1000). Como se puede observar, este parámetro atenúa los cambios bruscos de valor dentro de la señal de velocidad angular.



R=1, N=10

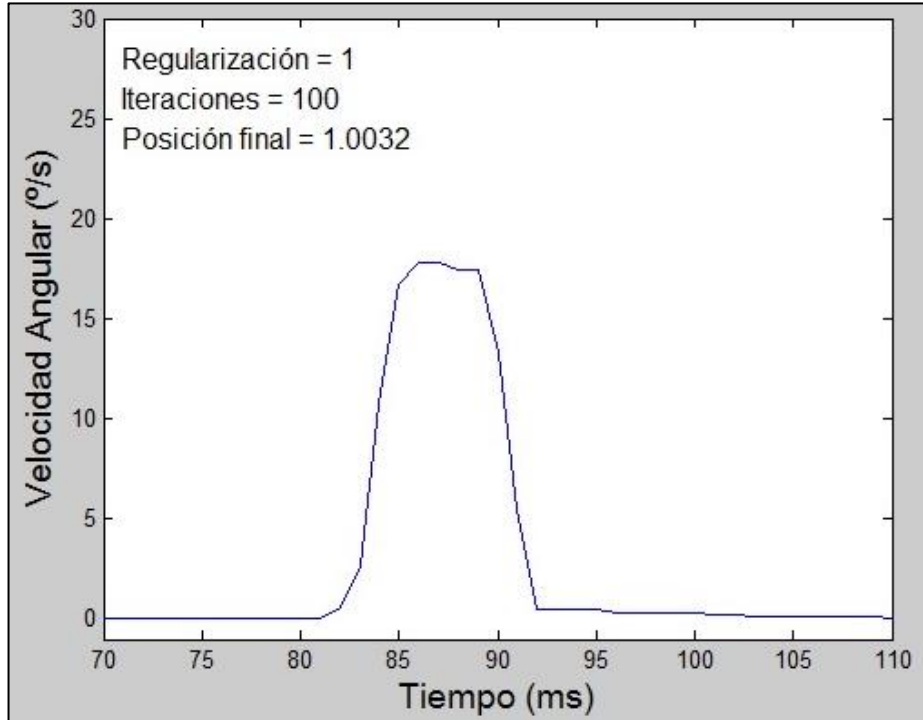


R=1, N=100

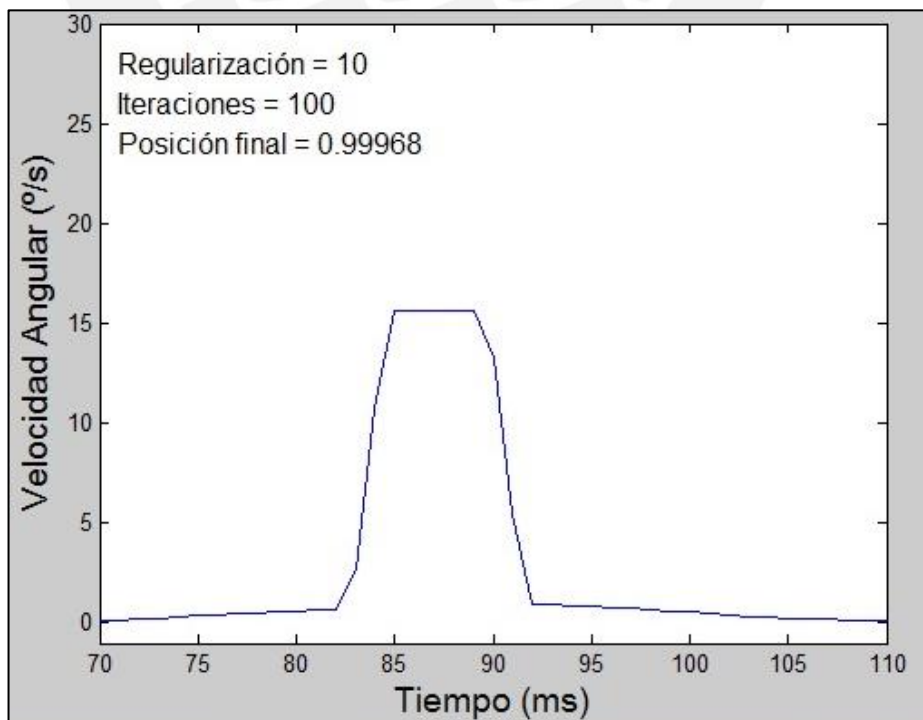


R=1, N=1000

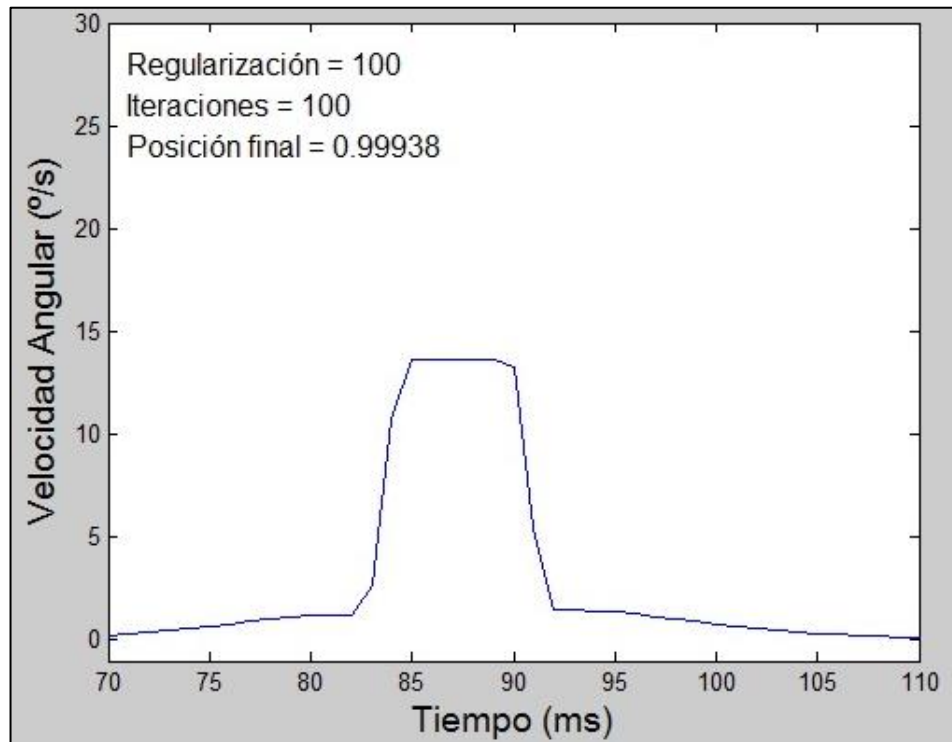
Se fijará el número de Iteraciones a 100 debido a que presenta la mejor aproximación al valor real, luego se modificará el parámetro de regularización (1, 10, 100).



R=1, N=100



R=10, N=100



R=100, N=100

A medida que se incrementa el parámetro de regularización, la señal va siendo truncada por lo que modifica el valor real de medición. Por lo tanto, los valores con los que se trabajará serán los siguientes:

Número de Iteraciones = 100

Parámetro de Regularización = 1

ANEXO 6: Cálculo de la resolución de la articulación 4 del SCORA-ER 14.

Número de pasos por revolución del codificador:

$$n = 2048$$

Resolución del codificador:

$$S_E = \frac{360^\circ}{n} = \frac{360^\circ}{2048} = 0.176^\circ$$

Razón de cambio de los ejes:

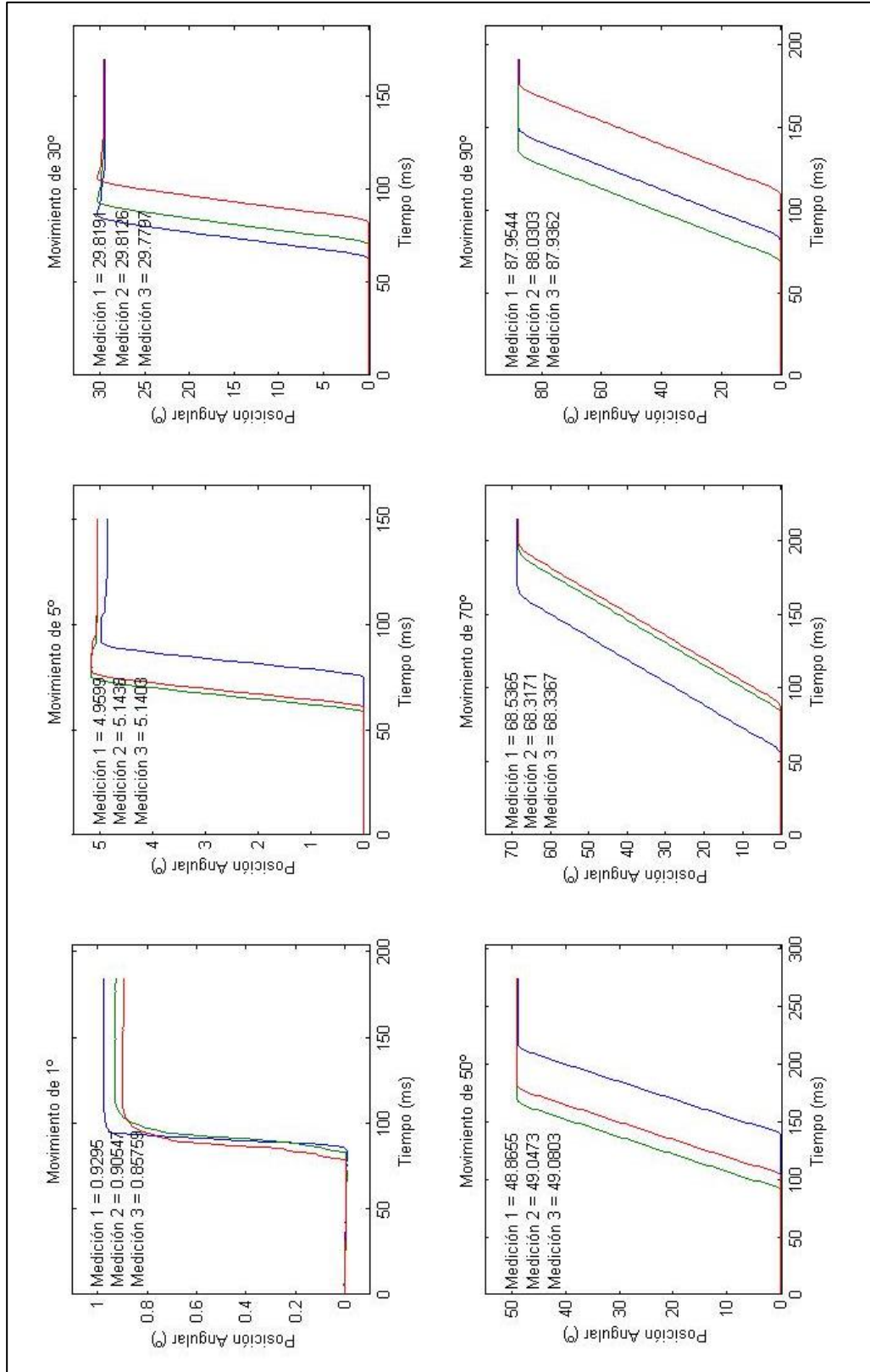
Eje	Razón de cambio
1	160
2	160
3	3.81
4	50

Resolución de la articulación 4:

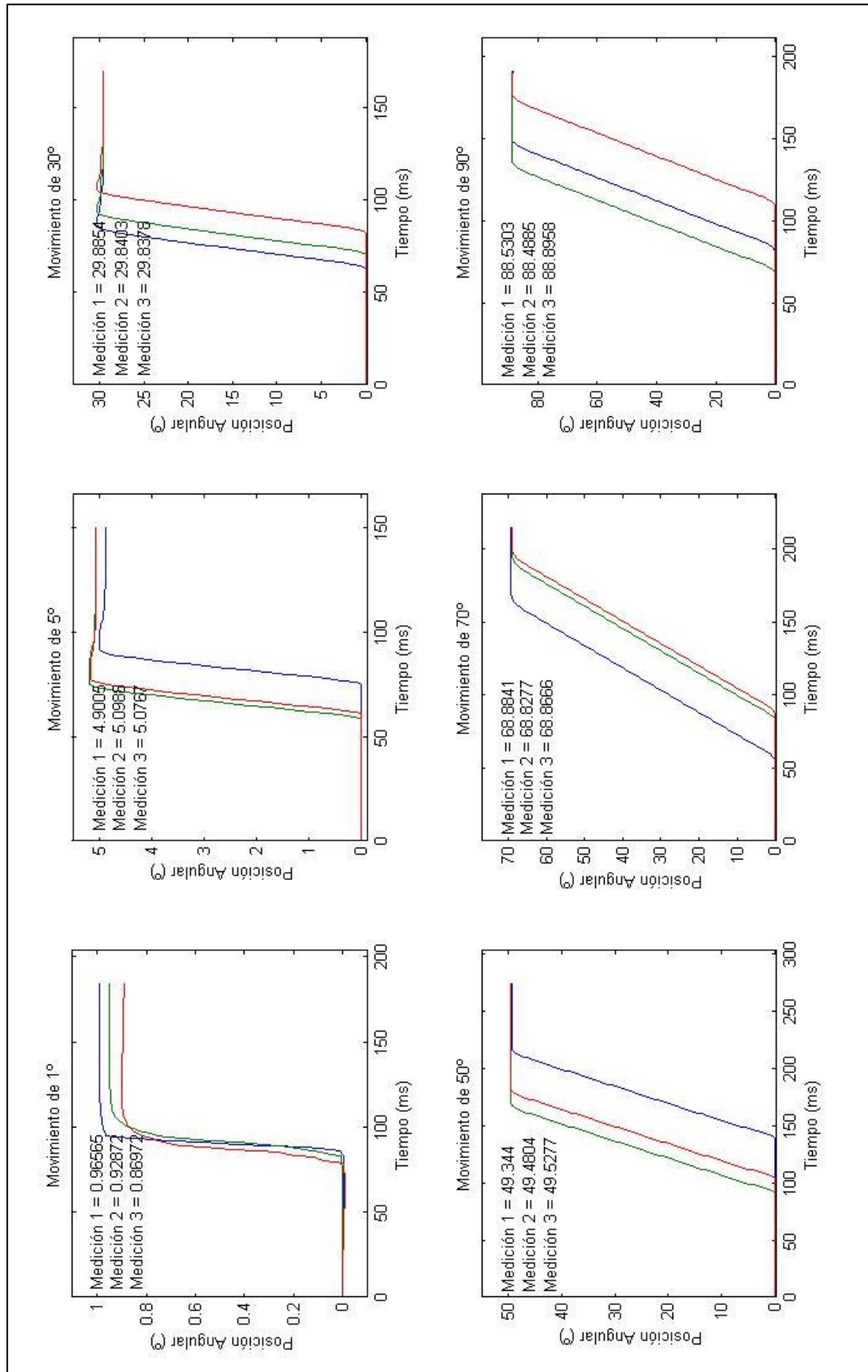
$$S_4 = \frac{S_E}{N_4} = \frac{0.176^\circ}{50} = 0.00352^\circ$$

ANEXO 7: Gráficas de las pruebas de exactitud

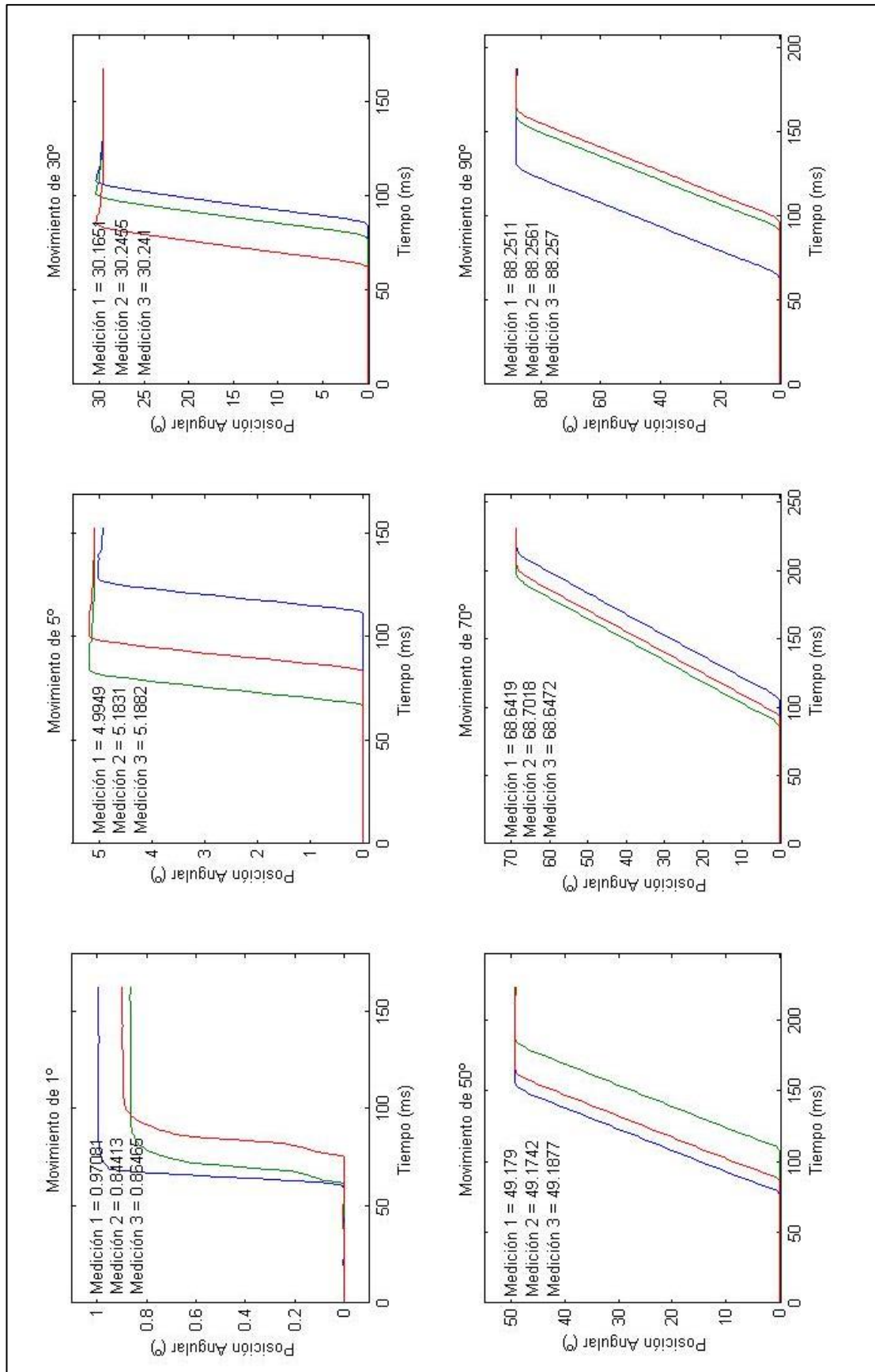
- Eje X (Roll): Sin Filtro



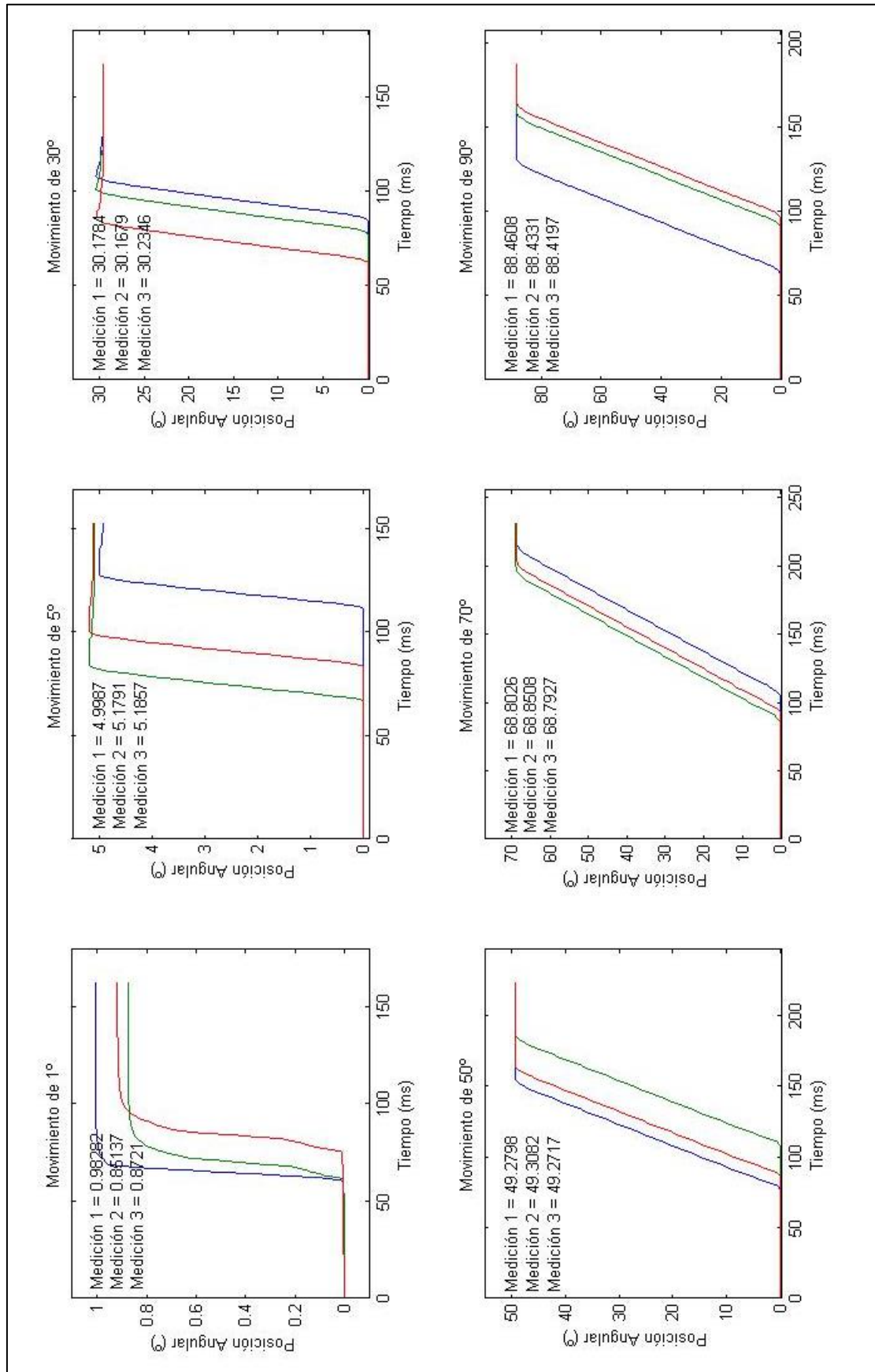
- Eje X (Roll): Con Filtro



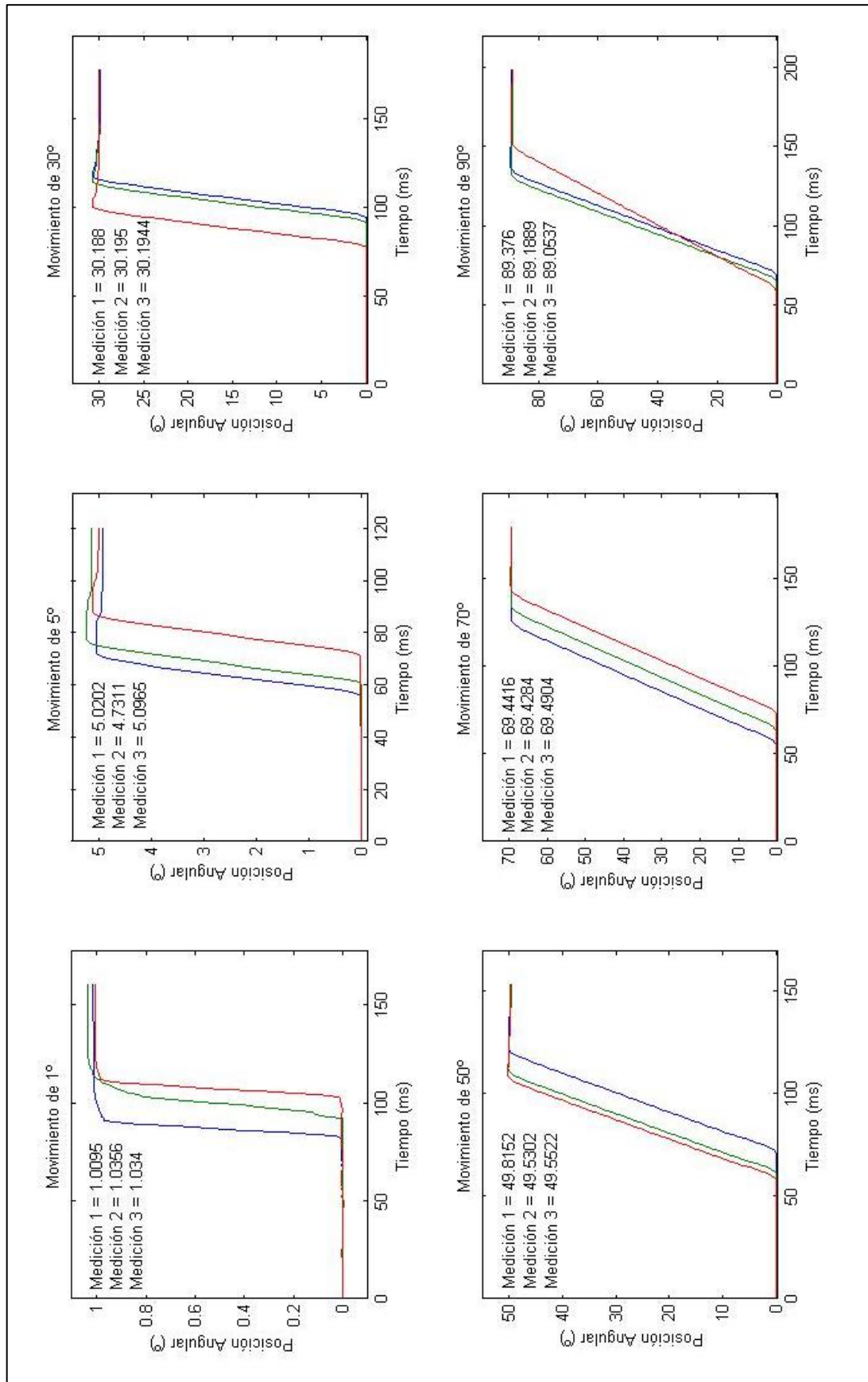
- Eje Y (Pitch): Sin Filtro



- Eje Y (Pitch): Con Filtro



- Eje Z (Yaw): Sin Filtro



- Eje Z (Yaw): Con Filtro

