

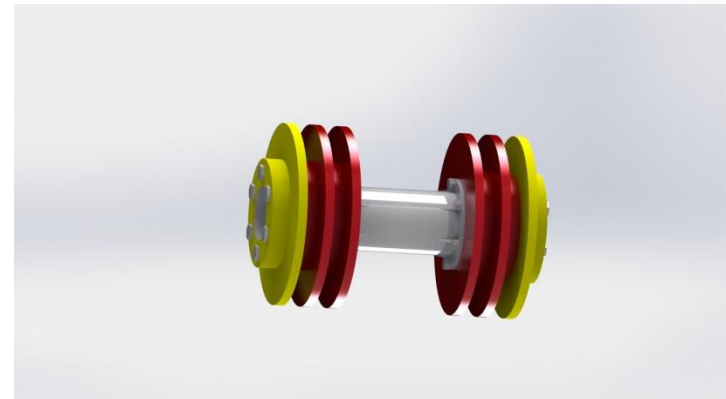
# INTERPRETACIÓN DE SEÑALES PARA LA DETECCIÓN DE OBSTRUCCIONES EN INSPECCIONES INSTRUMENTADAS DE TUBERÍAS

JUAN CAMILO BOHÓRQUEZ R.

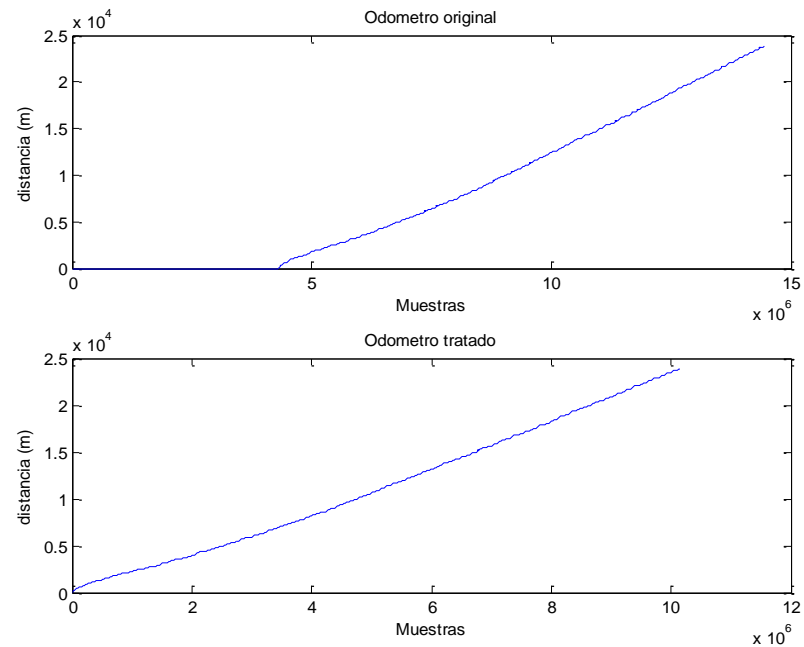


# Introducción

- Recorrido 23 Km
- Tasa de muestreo 300 Hz
- 8 sensores inerciales
- 8 sensores MFL
- 2 sensores Caliper
- Odómetro



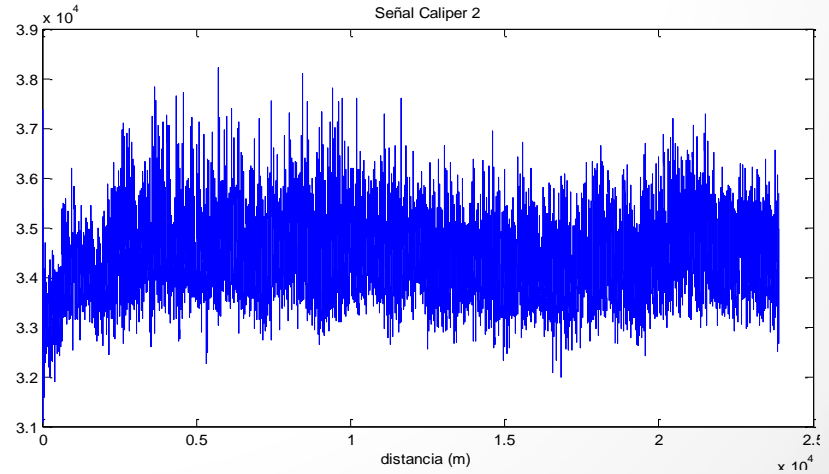
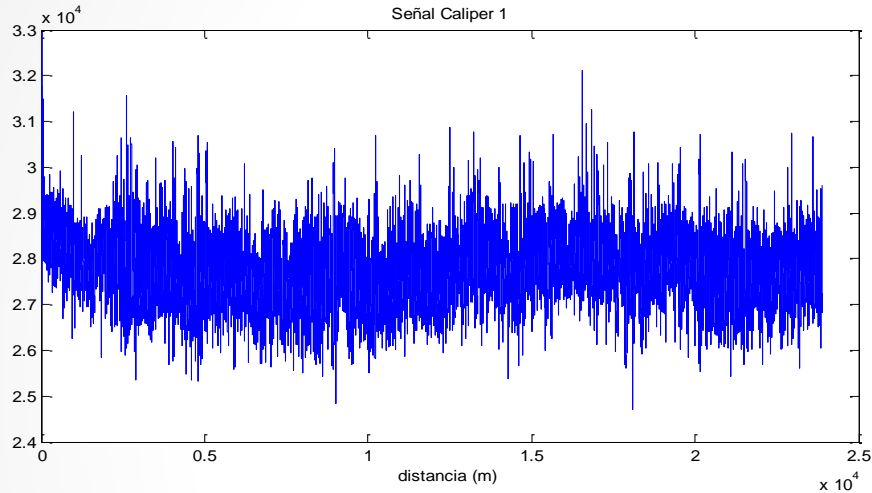
# Odómetro



# Metodología



# Señales Caliper



# Filtrado

- Filtro Shrinkage

- Criterio del MSE entre la señal original y la filtrada para encontrar la configuración óptima mediante la transformada *Wavelet*.
- Se calcula en nivel máximo de descomposición para cada *Wavelet* madre y su MSE.
- La *Wavelet* madre óptima y el nivel de descomposición se escoge al mínimo MSE.

***Wavelet Madre Óptima = Sym9***

***Nivel de descomposición = 9***

- Se obtienen los parámetros óptimos del filtro Shrinkage utilizando el criterio del MSE.

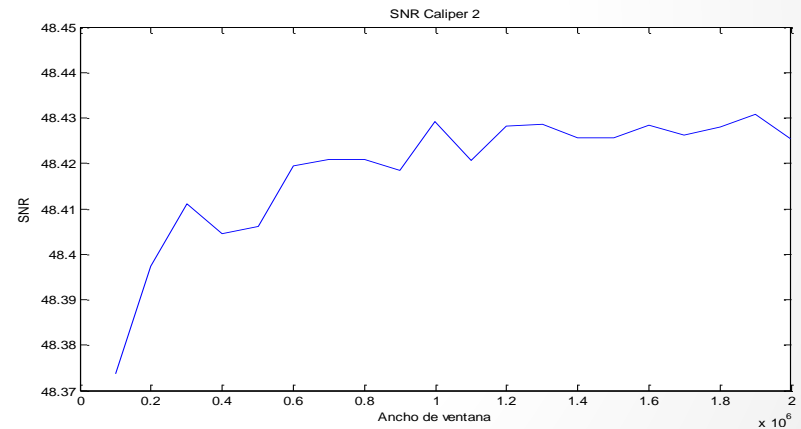
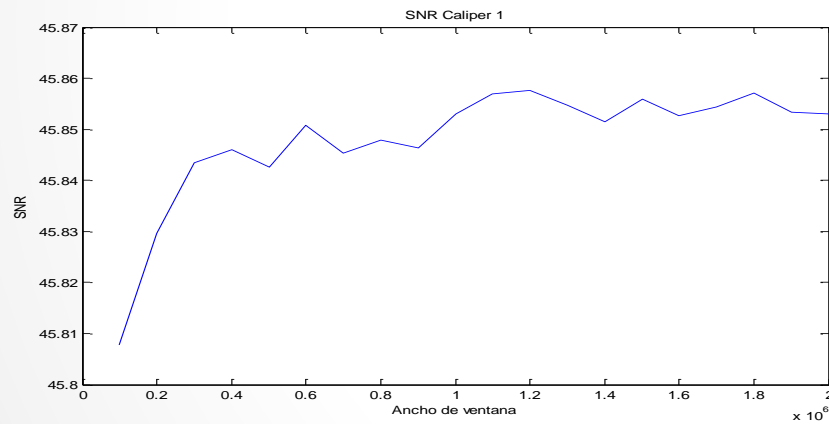
***Universal Threshold = MinMax***

***Threshold Scaling = One***

***Implementation of Thresold = Hard***

# Filtrado

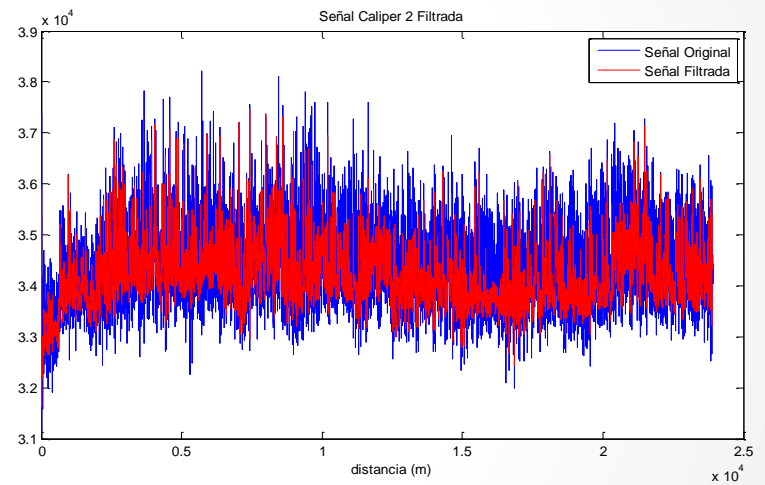
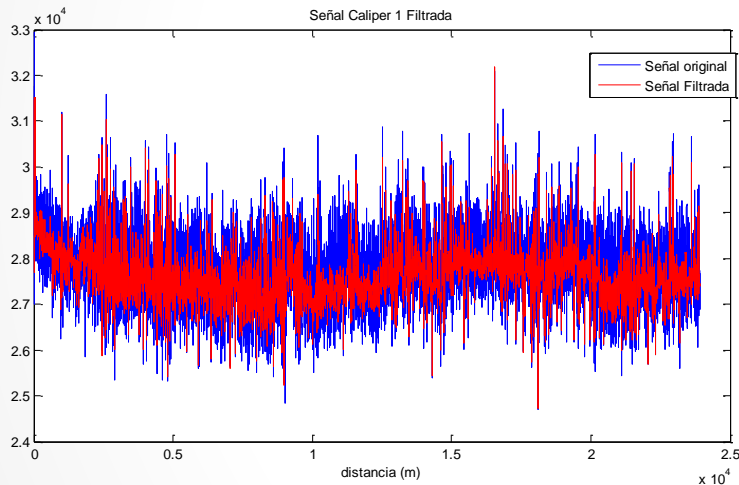
- Filtro Shrinkage.
  - Ventana optima: Debido al tamaño de las señales, se realiza el filtrado por ventanas.
  - Criterio del SNR.



# Filtrado

- Filtro *Shrinkage*
  - Ancho de ventana escogido

1'048.576



Se puede observar el cambio de amplitud en las señales caliper luego de implementar el filtro *Shrinkage* y de igual manera sigue el mismo comportamiento de la señal.

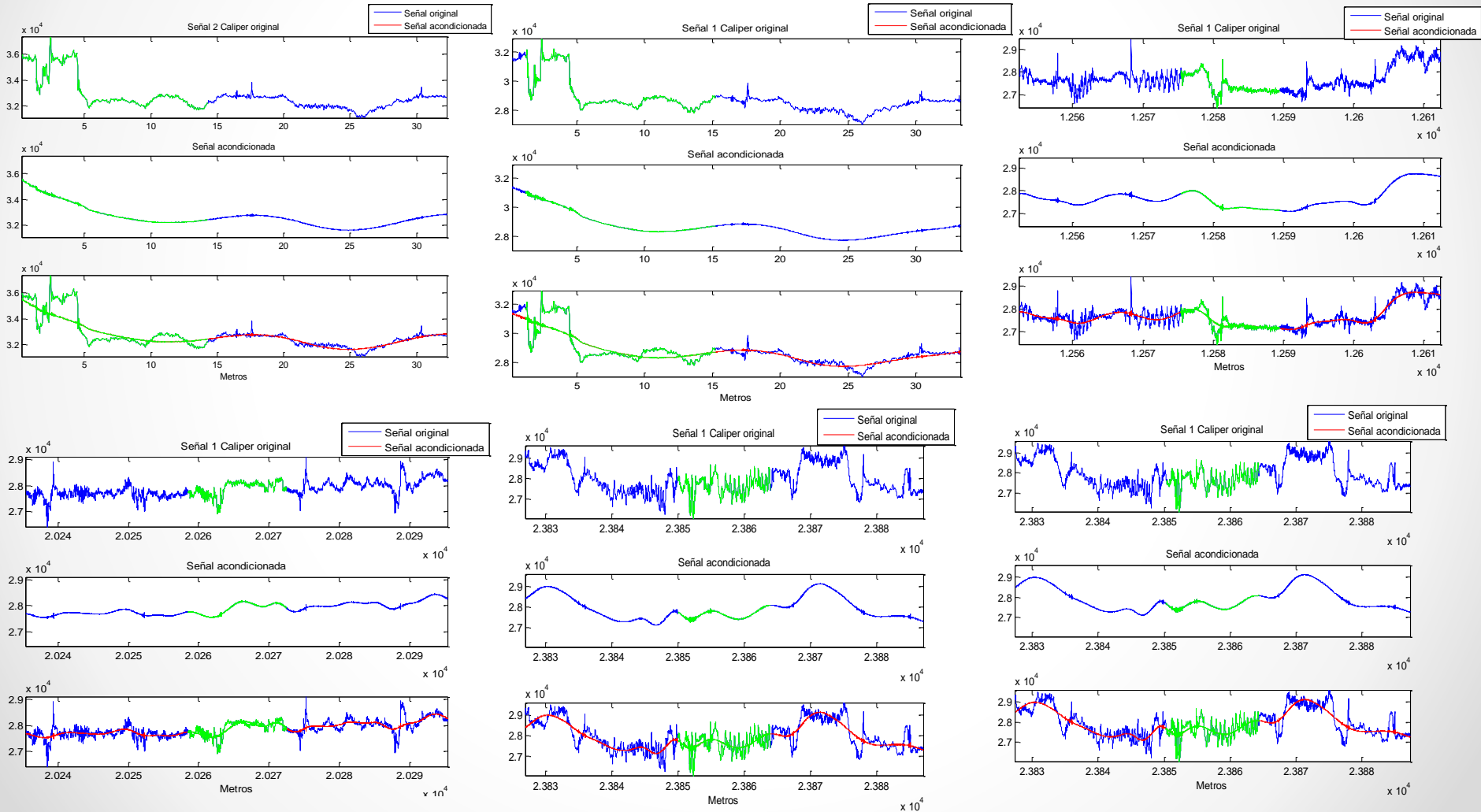


# Marcadores

MARCADORES SEÑALES CALIPER	
Nombre de la etiqueta	Rango de distancia del marcador (m)
TA1	$7.27 \pm 7$
TA2	$8.25 \pm 7$
TA3	$12582.44 \pm 7$
TA4	$20265.49 \pm 7$
TA5	$23856.97 \pm 7$
TA6	$23857.32 \pm 7$
TA7	$23857.66 \pm 7$
TA8	$23858.01 \pm 7$
GR1	$10.60 \pm 7$
GR2	$30.01 \pm 7$
GR3	$23855.97 \pm 7$

Cada marcador posee una distancia de 14 metros en la señal, en la tabla anterior se observa la posición central de cada uno de ellos.

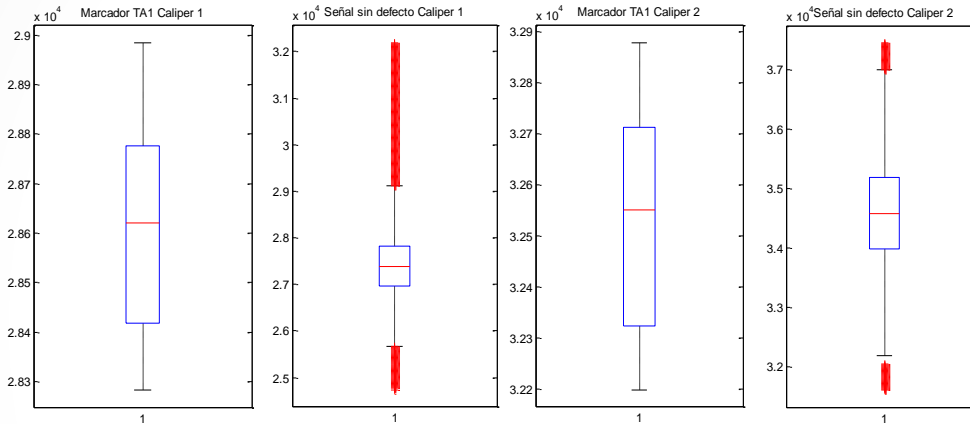
# Marcadores





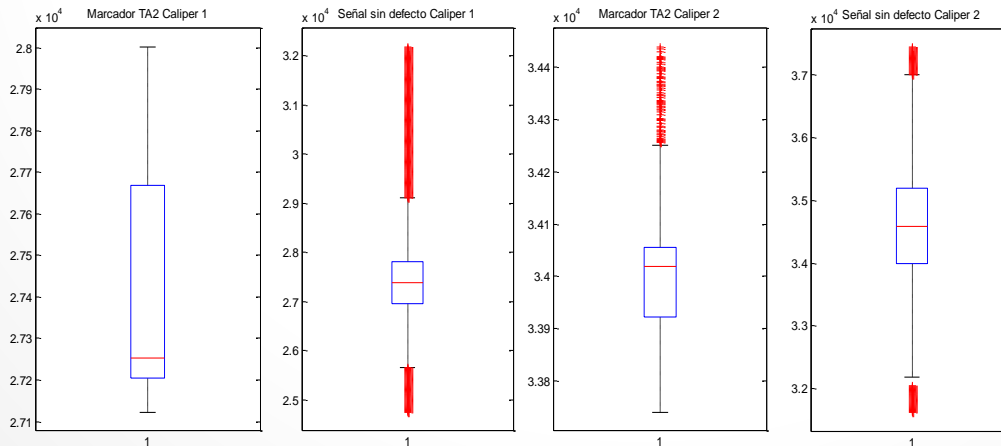
# Análisis Estadístico

- TA1



Cada marcador se separa de la señal dejando las muestras que se encuentran etiquetadas aparte de la señal donde no existen defectos tipo Caliper.

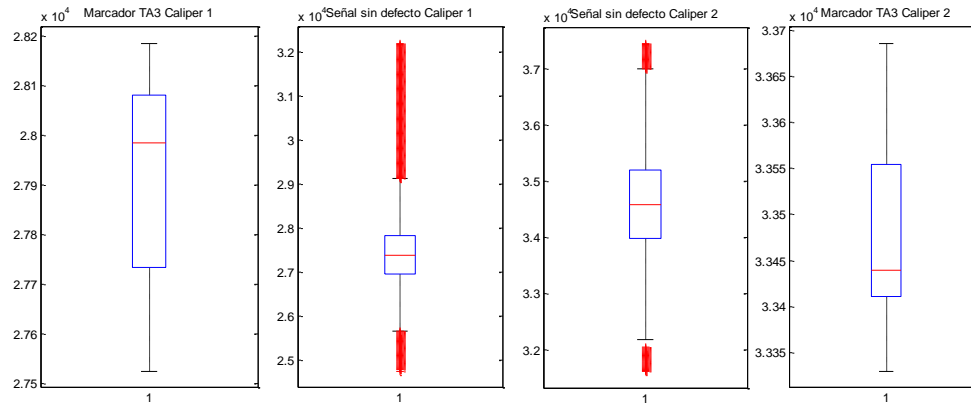
- TA2



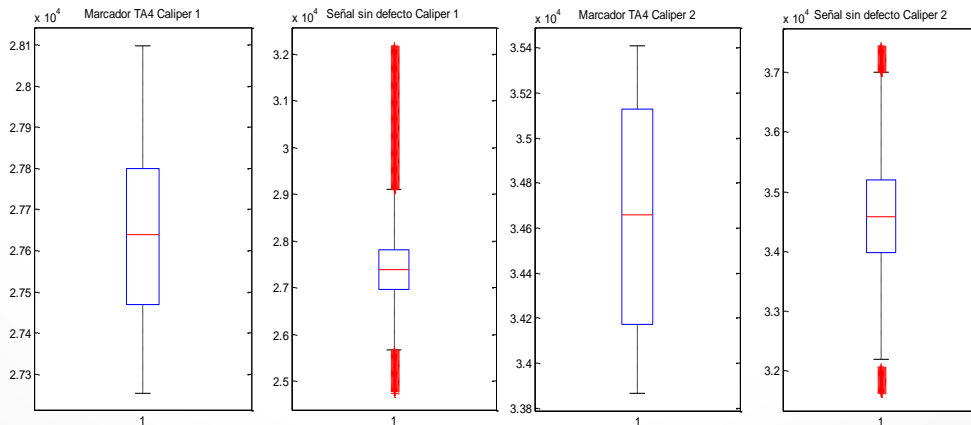
Se compara cada marcador con la parte de la señal donde no existen defectos.

# Análisis Estadístico

- TA3

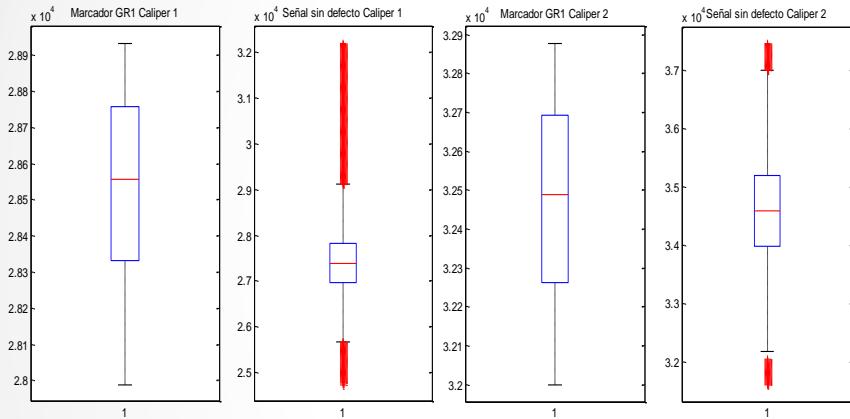


- TA4

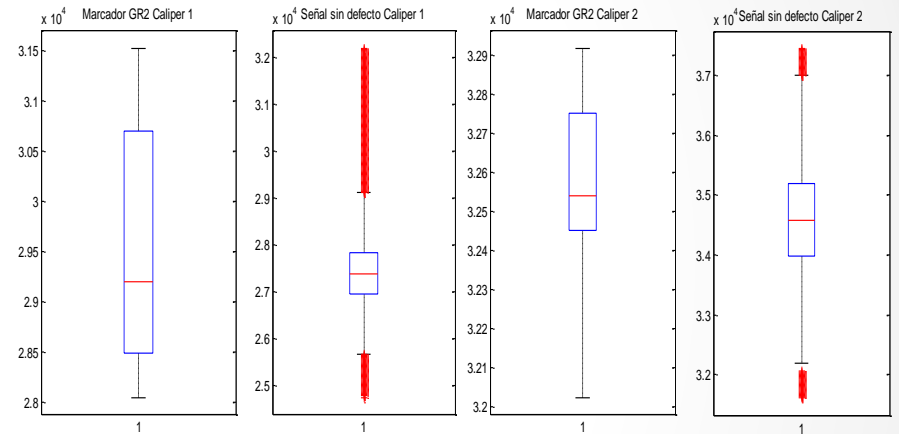


# Análisis Estadístico

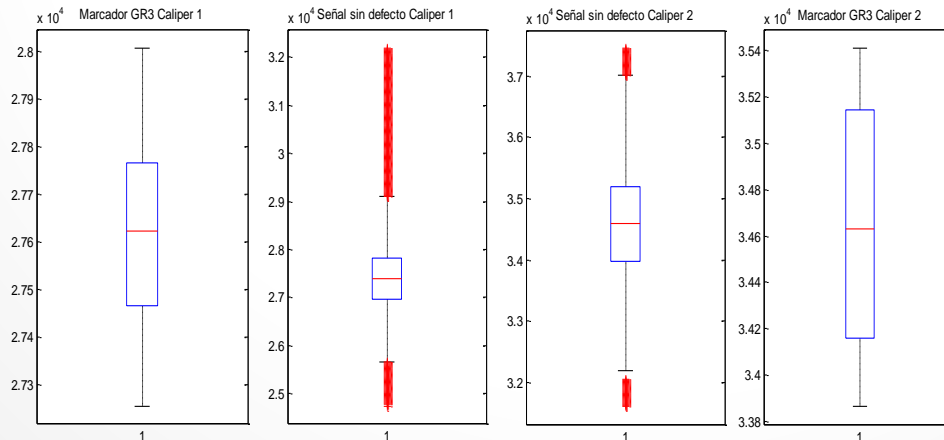
- GR1



- GR2



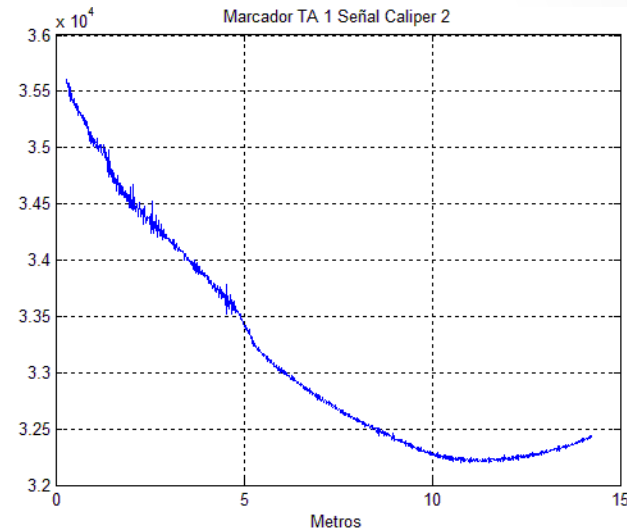
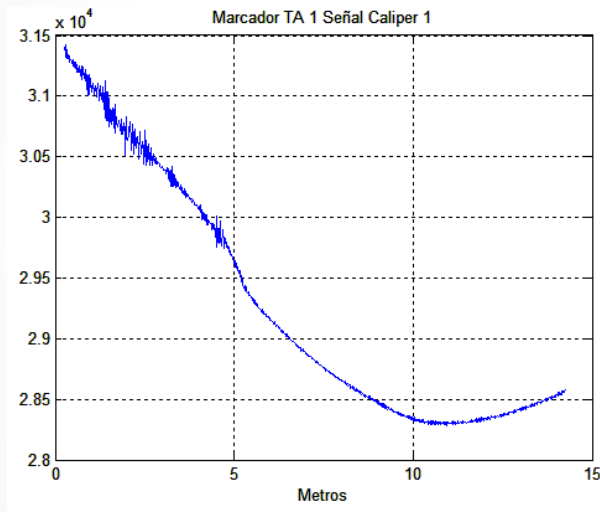
- GR3



Se puede observar en cada análisis que cada marcador se encuentra solapado con la parte de la señal que no posee defectos Caliper.

# Correlación

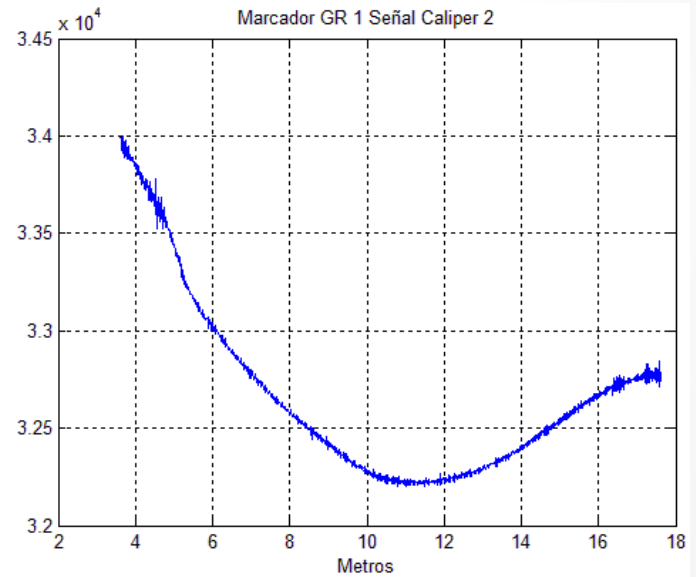
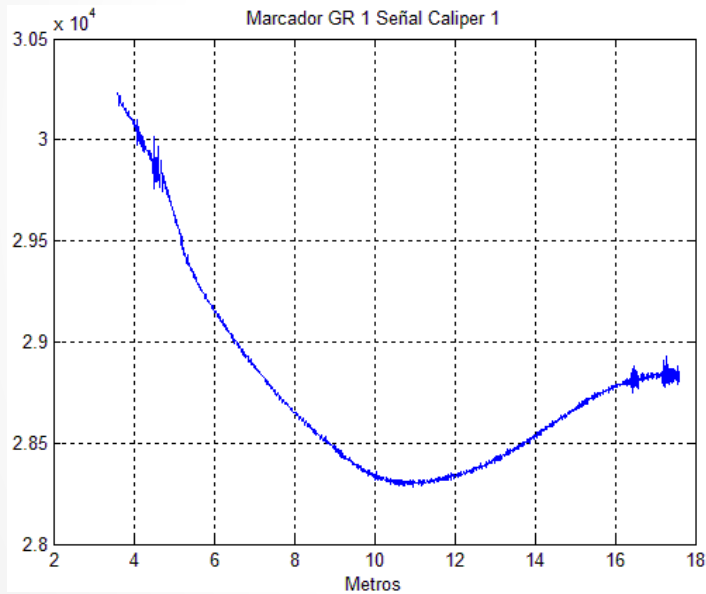
- Ventana deslizante



Correlación entre muestras representativas mostradas en las imágenes y ventanas deslizantes con paso de 1 y del mismo ancho de la muestra representativa.

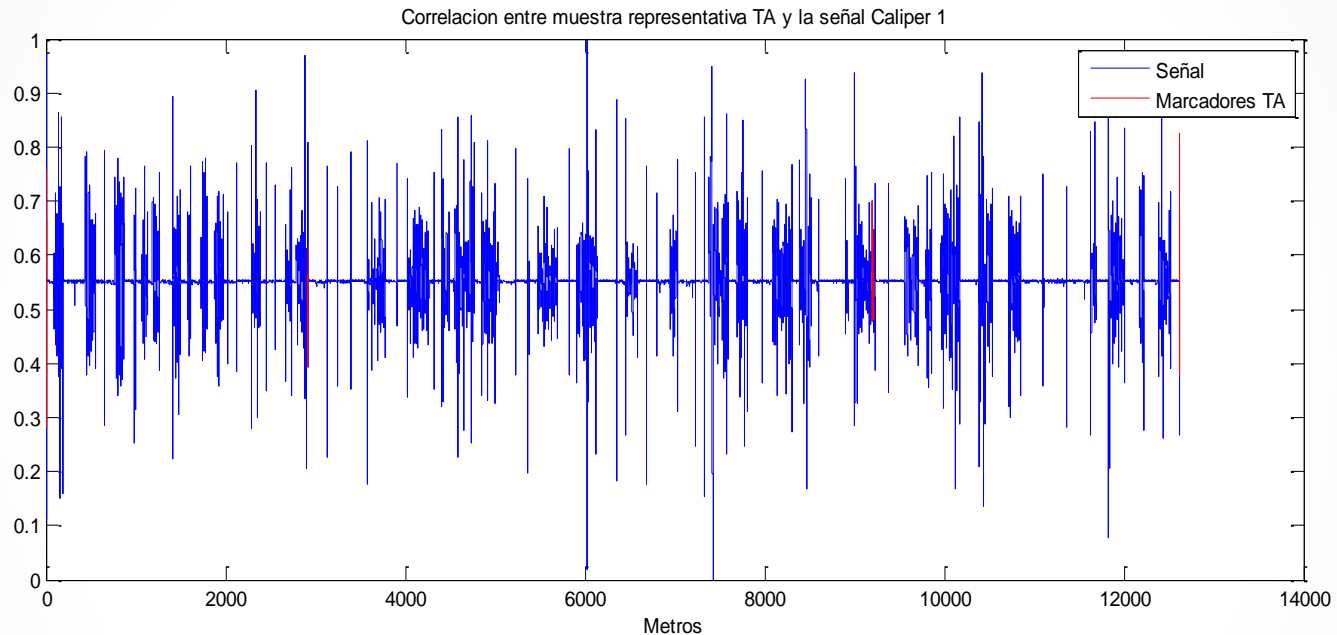
# Correlación

- Ventana deslizante





# Correlación

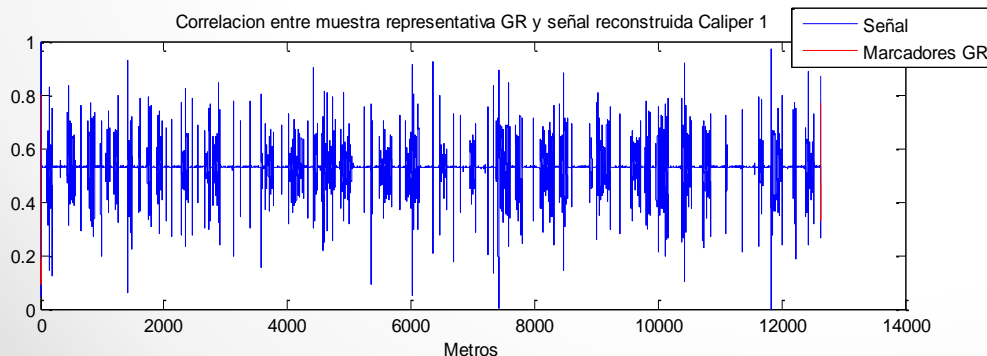
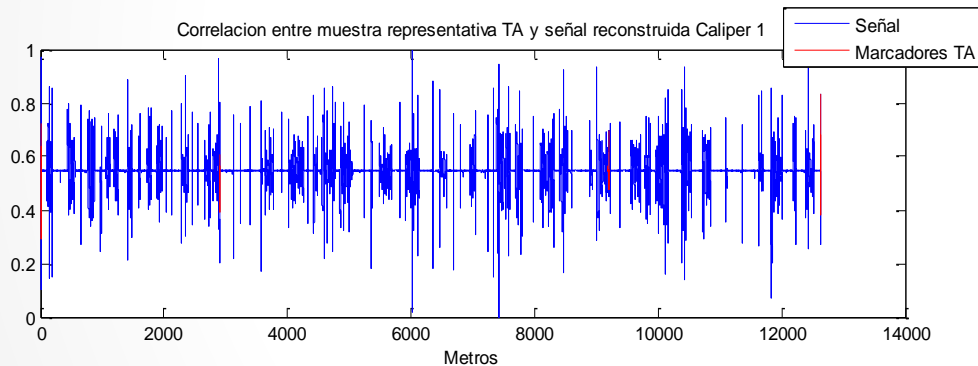


Correlación entre una muestra representativa y una señal caliper donde los colores rojos representan todos los marcadores tipo TA en la señal.

Se puede observar que zonas de la señal donde no hay defectos es decir en la zona azul de la señal, existen similitudes mas grandes que en zonas donde se encuentran los marcadores.

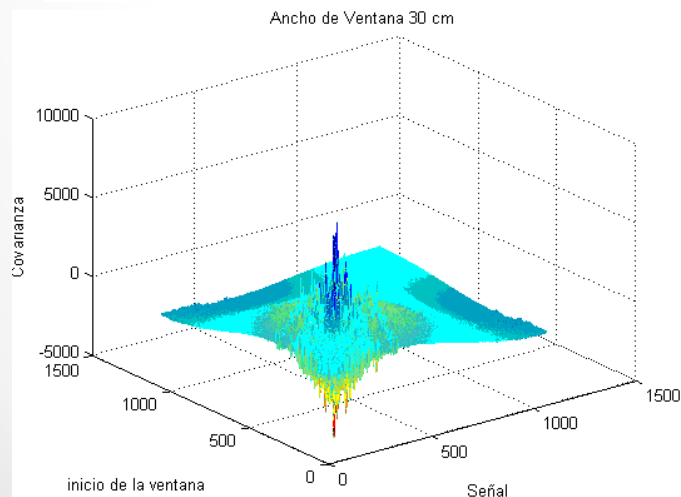
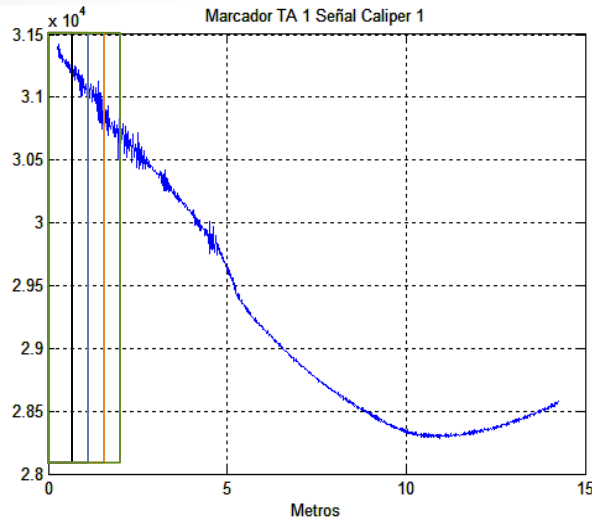
# Correlación y descomposición *Wavelet*

Descomposición Wavelet a 6 niveles utilizando wavelet madre Sym9 y correlación utilizando ventana deslizante utilizando una muestra representativa de marcador TA y GR en cada nivel de descomposición.



El color azul representa a la señal sin defecto tipo Caliper y el color rojo, marcadores tipo TA y GR.

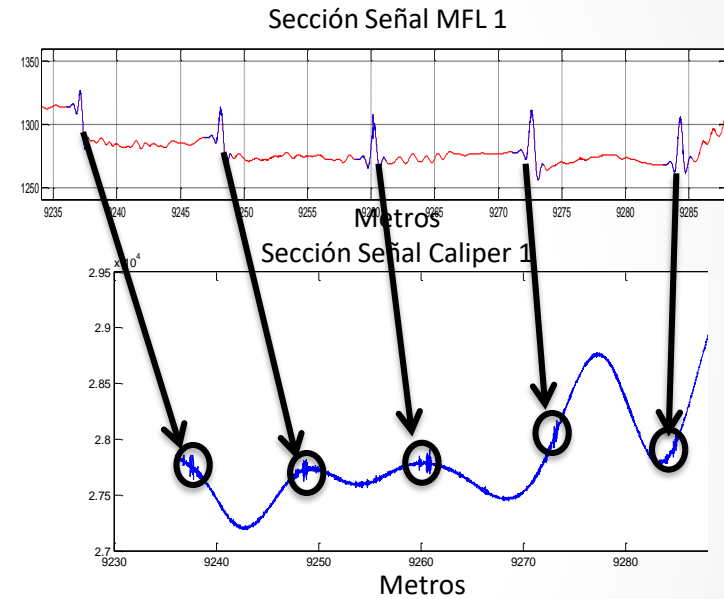
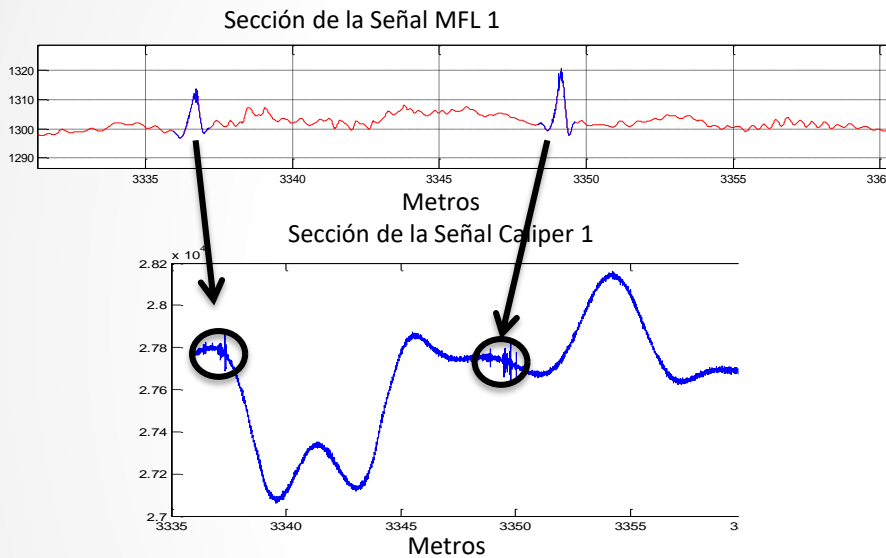
# Correlación Marcadores



Correlación utilizando ventana deslizante de ancho variable

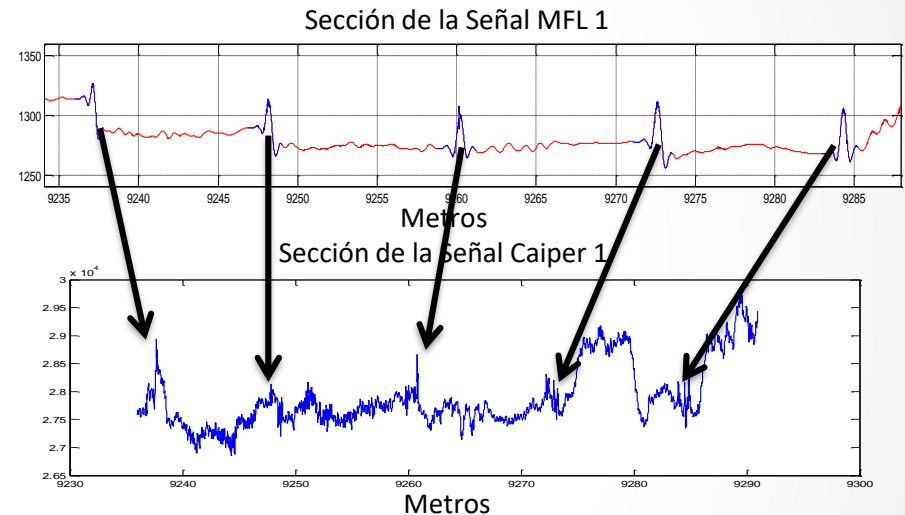
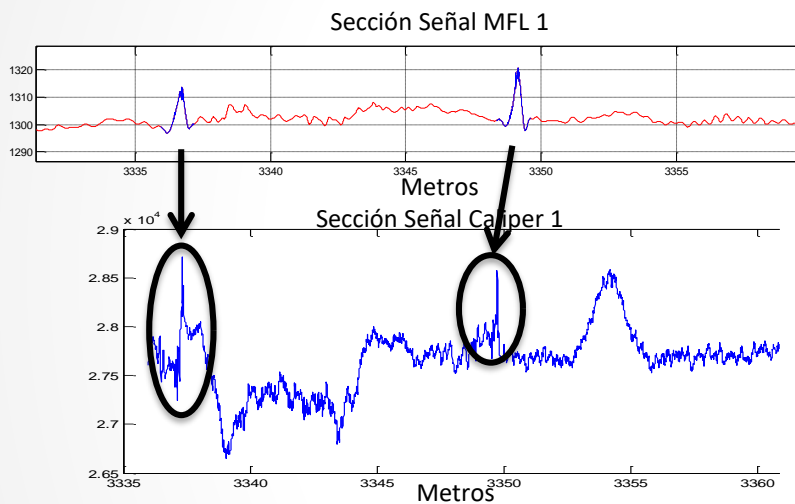
- Se recorre el marcador utilizando una ventana representativa de un tamaño determinado y se recorre la señal.
- Se toma otra ventana representativa a una muestra de distancia de la anterior y se recorre la señal.
- Luego de tomar todas las ventanas representativas posibles se incrementa 1 cm la ventana representativa y se repite el procedimiento.

# Clasificación de las oscilaciones periódicas



Comparación de Oscilaciones periódicas en señales MFL y Caliper luego del proceso de filtrado.

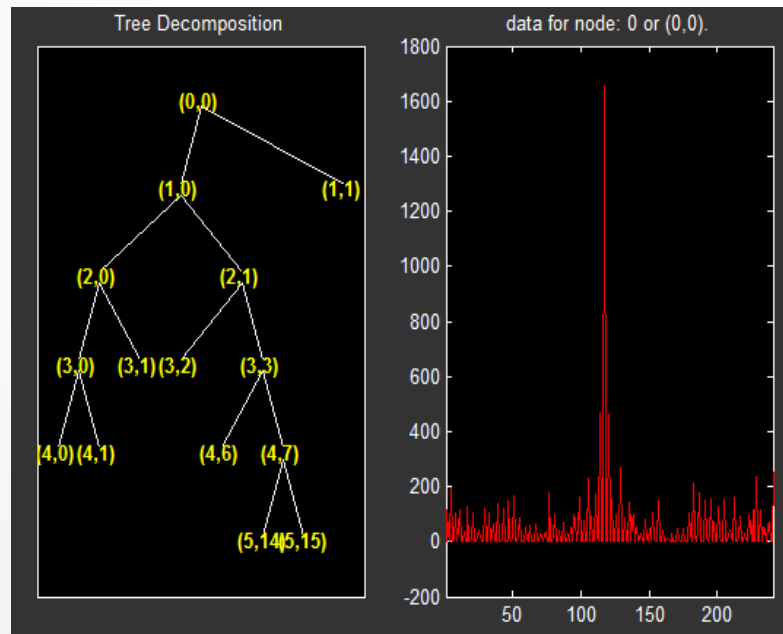
# Clasificación de las oscilaciones periódicas



Comparación de Oscilaciones periódicas en señales MFL y Caliper antes del proceso de filtrado.

# Clasificación de las oscilaciones periódicas

Descomposición *Wavelet*



Por medio de la *Wavelet Packet* de Matlab® se obtiene el árbol de descomposición de ambas señales Caliper

El *Wavelet packet* descompone una señal a todas sus posibles ramificaciones. Cada ramificación se le llama nodo que contiene coeficientes de descomposición *Wavelet*.

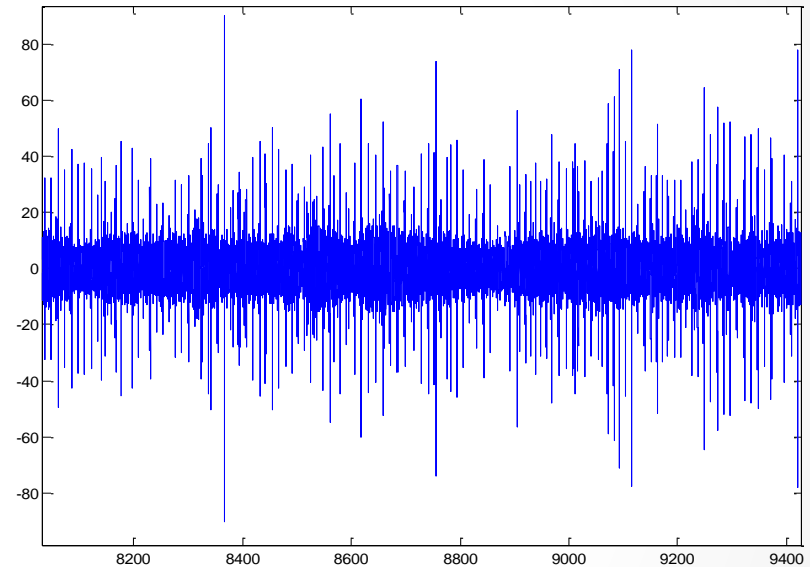
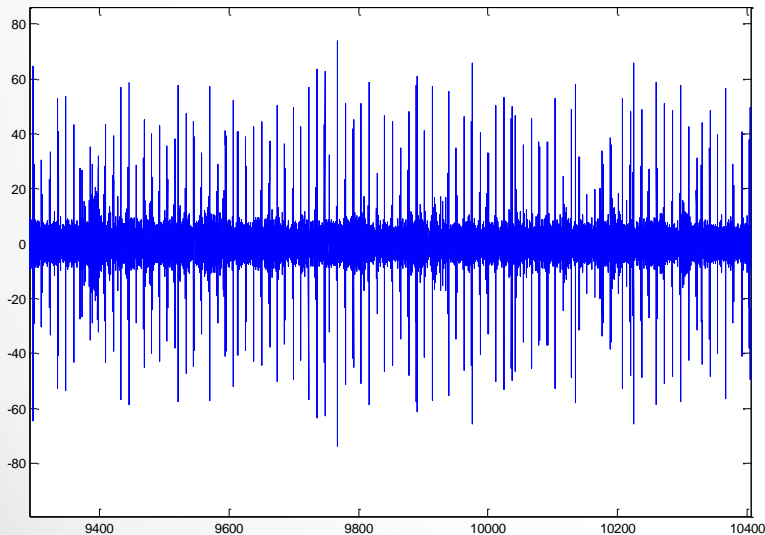
Se escoge el nodo para reconstruir la señal que separe esta de las oscilaciones periódicas.

# Clasificación de las oscilaciones periódicas

Marcador\Señal Caliper	Caliper 1	Caliper 2
TA1	Nodo 13	Nodo 13
TA2	Nodo 27	Nodo 39
TA3	Nodo 56	Nodo 19
TA4	Nodo 56	Nodo 20
GR1	Nodo 27	Nodo 13
GR2	Nodo 6	Nodo 10
GR3	Nodo 13	Nodo 10

# Clasificación de las oscilaciones periódicas

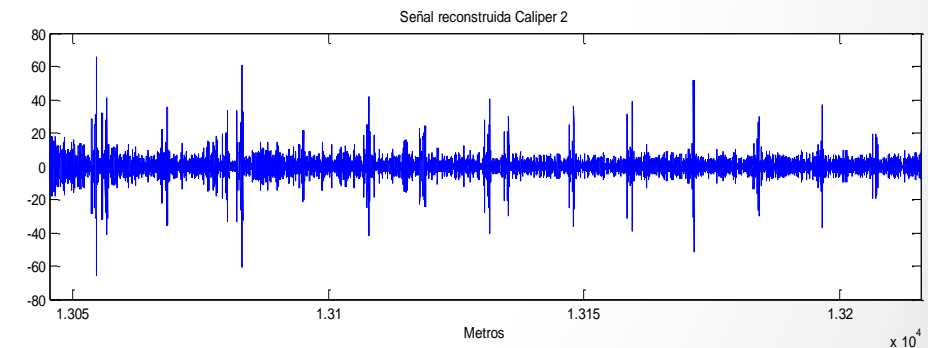
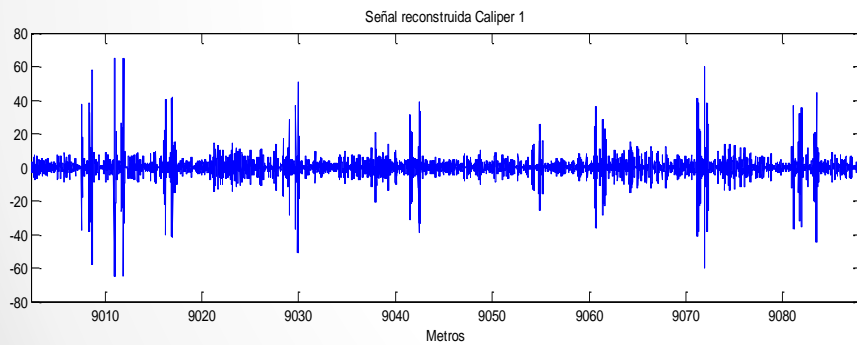
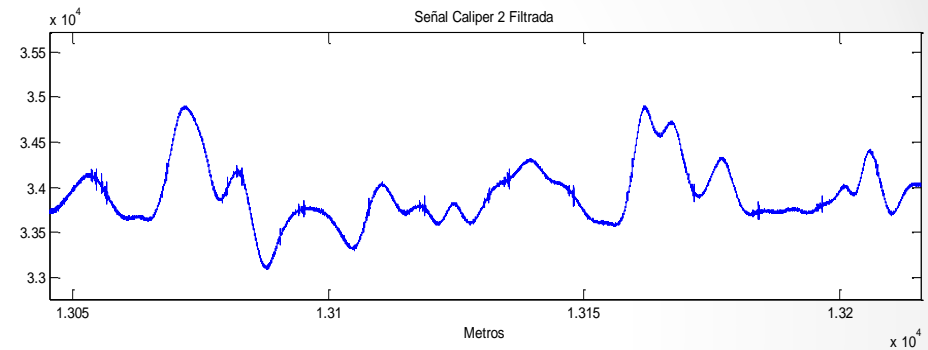
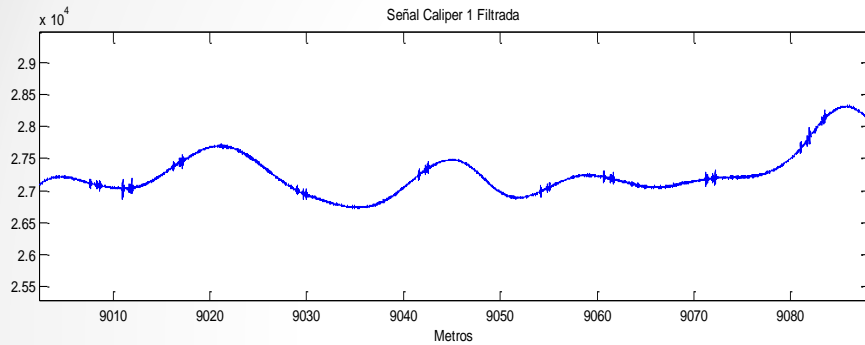
Señal reconstruida a partir de la señal Caliper 1 Filtrada



Señal reconstruida a partir de la señal Caliper 2 Filtrada

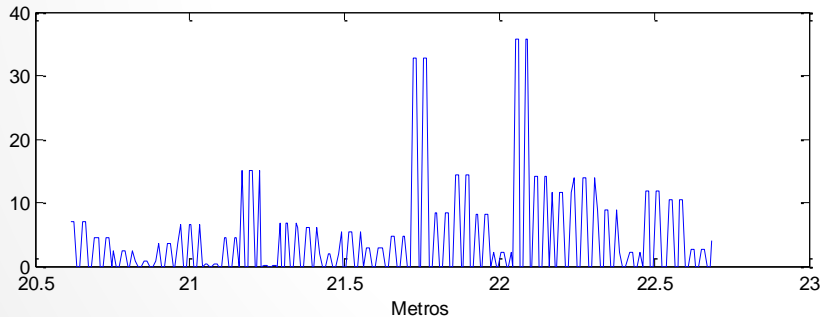
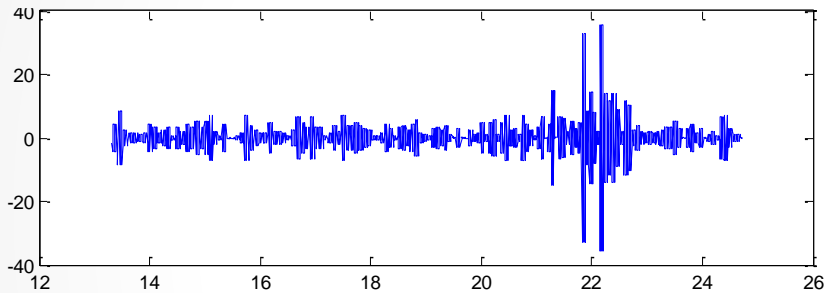


# Clasificación de las oscilaciones periódicas



Se observa las oscilaciones en la señales caliper filtradas y en la señal reconstruida de cada una de ellas. Se eliminaron los componentes de baja frecuencia con el fin de separar las oscilaciones de la señal.

# Clasificación de las oscilaciones periódicas



En cada marcador se separan las oscilaciones y se procede a hallar su media y desviación estándar. Debido a que la señal es simétrica en cero, se eliminan los datos negativos para que la media no sea igual a cero. Se realiza para cada marcador.

Se halla un umbral sumando los estadísticos para obviar el nivel de ruido y garantizar que se detecten la mayor cantidad de oscilaciones.

# Clasificación de las oscilaciones periódicas

Estadístico\Marcador	TA1	TA2	TA3	TA4	GR1	GR2	GR3
Media	4.1625	3.1093	3.7050	4.1017	4.1392	3.8136	4.1025
Desviación	7.1338	6.3927	7.7137	8.2024	7.1400	6.4824	8.2021
Media + Desviación	11.2965	9.5021	11.4188	12.3041	11.2791	10.296	12.304

	TA1	TA2	TA3	TA4	GR1	GR2	GR3
Umbral	11.2965	9.5021	11.4188	12.3041	11.2791	10.296	12.304
Oscilaciones encontradas	1072	623	1106	1278	1068	841	1279

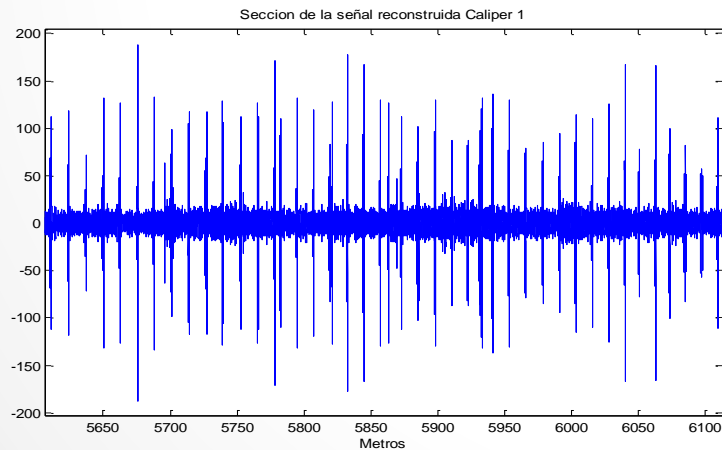
	TA1	TA2	TA3	TA4	GR1	GR2	GR3
Umbral	11.2965	9.5021	11.4188	12.3041	11.2791	10.296	12.304
Oscilaciones encontradas	526	126	553	789	525	276	789

Los valores en rojo corresponden al mejor resultado de clasificación y su umbral correspondiente.

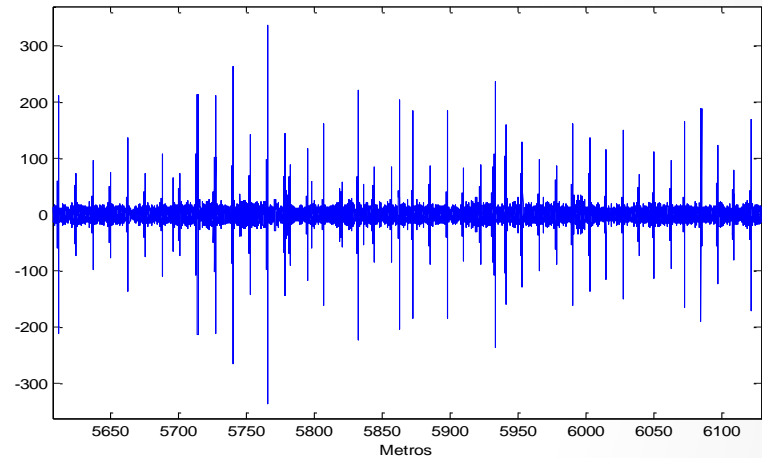
Tablas de estadísticos de las oscilaciones de los marcadores y Tablas de resultados de la clasificación de oscilaciones utilizando cada umbral seleccionado.

# Clasificación de las oscilaciones periódicas

Señal reconstruida a partir de la señal Caliper 1 sin filtrar

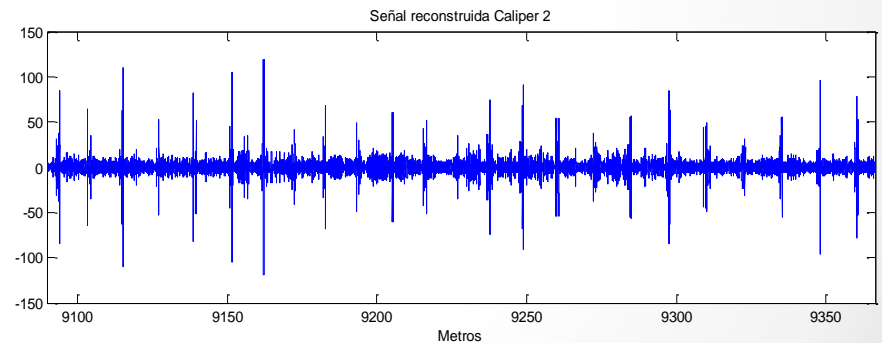
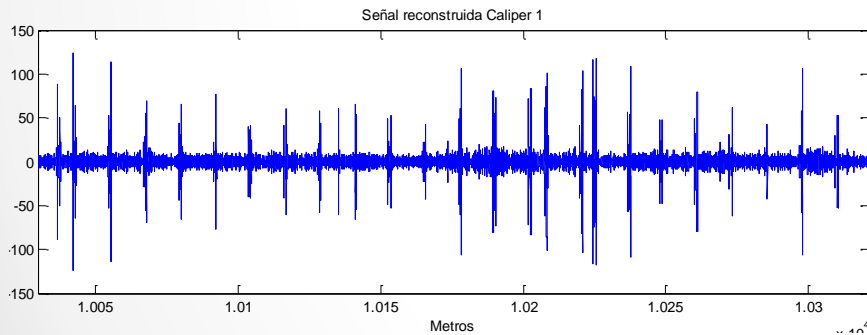
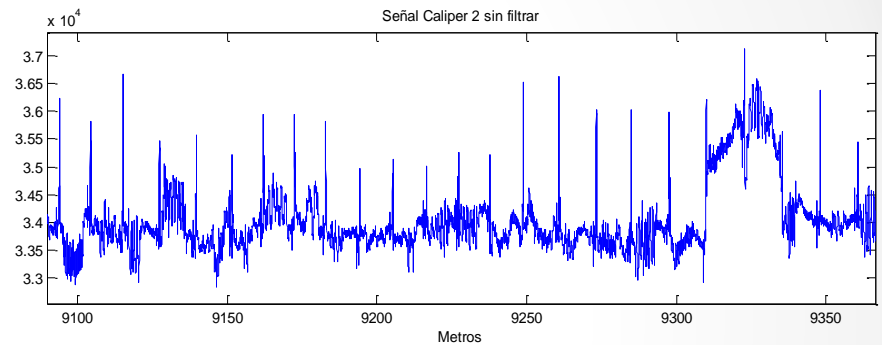
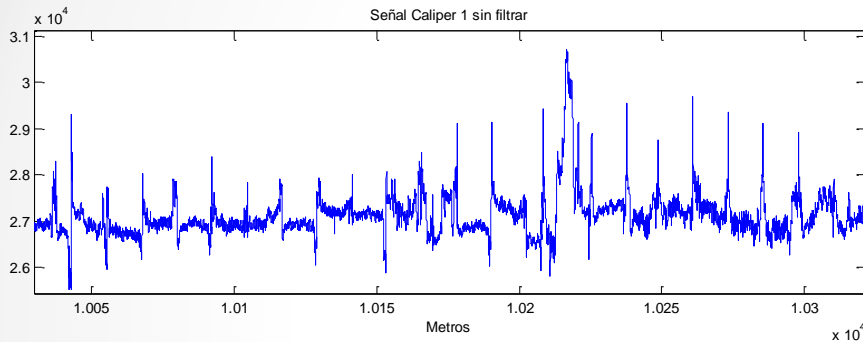


Seccion de la señal reconstruida Caliper 2



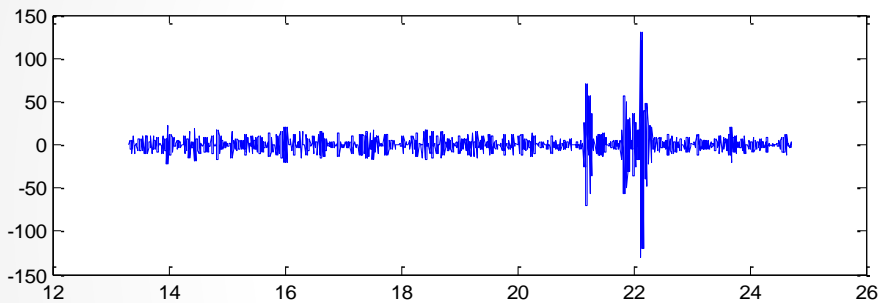
Señal reconstruida a partir de la señal Caliper 2 sin filtrar

# Clasificación de las oscilaciones periódicas

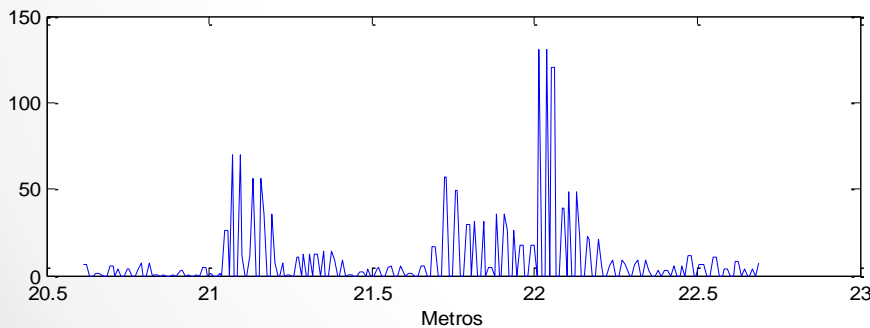


Se observa las oscilaciones en la señales caliper sin filtrar y en la señal reconstruida de cada una de ellas. Se eliminaron los componentes de baja frecuencia con el fin de separar las oscilaciones de la señal.

# Clasificación de las oscilaciones periódicas



En cada marcador se separan las oscilaciones y se procede a hallar su media y desviación estándar. Debido a que la señal es simétrica en cero, se eliminan los datos negativos para que la media no sea igual a cero. Se realiza para cada marcador.



Se halla un umbral sumando los estadísticos para obviar el nivel de ruido y garantizar que se detecten la mayor cantidad de oscilaciones.

# Clasificación de las oscilaciones periódicas

Estadístico\Marcador	TA1	TA2	TA3	TA4	GR1	GR2	GR3
Media	9.0010	9.7541	6.0674	9.2313	8.9678	7.5601	9.1919
Desviación	20.1775	24.3046	12.7999	19.7756	20.1872	17.7863	19.7868
Media + Desviación	29.0785	34.0587	18.8673	29.0069	29.155	25.3464	28.987

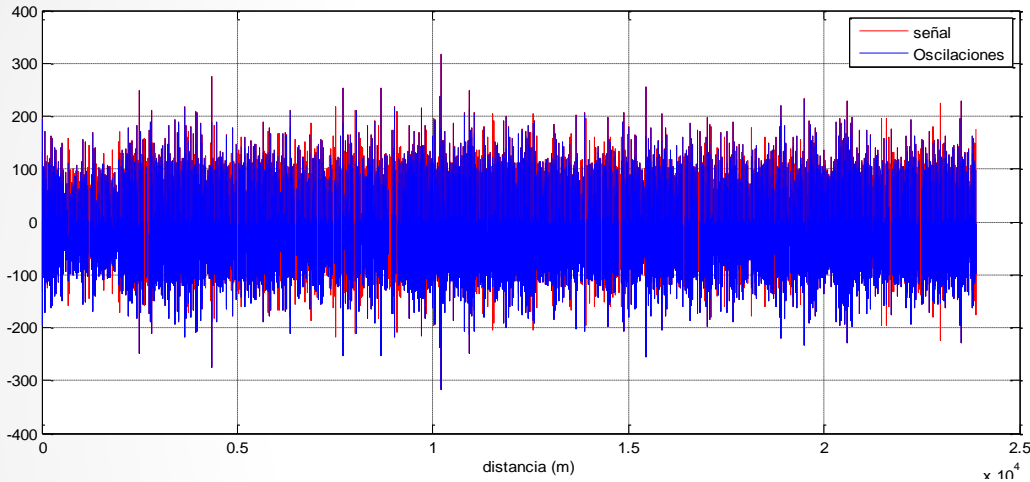
	TA1	TA2	TA3	TA4	GR1	GR2	GR3
Umbral	29.0785	34.0587	18.8673	29.0069	29.155	25.3464	28.987
Oscilaciones encontradas	1521	1588	835	1521	1521	1411	1513

	TA1	TA2	TA3	TA4	GR1	GR2	GR3
Umbral	29.0785	34.0587	18.8673	29.0069	29.155	25.3464	28.987
Oscilaciones encontradas	1432	1560	377	1432	1432	1254	1425

Los valores en rojo corresponden al mejor resultado de clasificación y su umbral correspondiente.

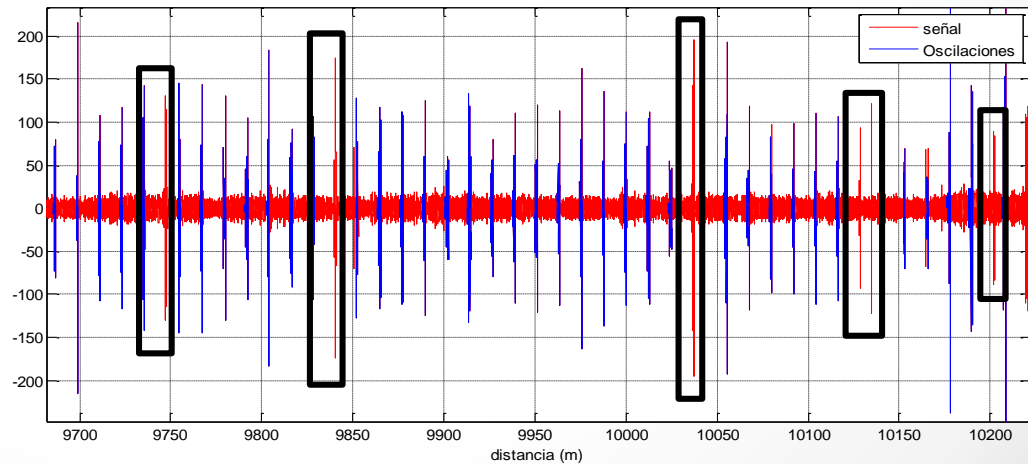
Tablas de estadísticos de las oscilaciones de los marcadores y Tablas de resultados de la clasificación de oscilaciones utilizando cada umbral seleccionado.

# Resultados de Clasificación Caliper 1



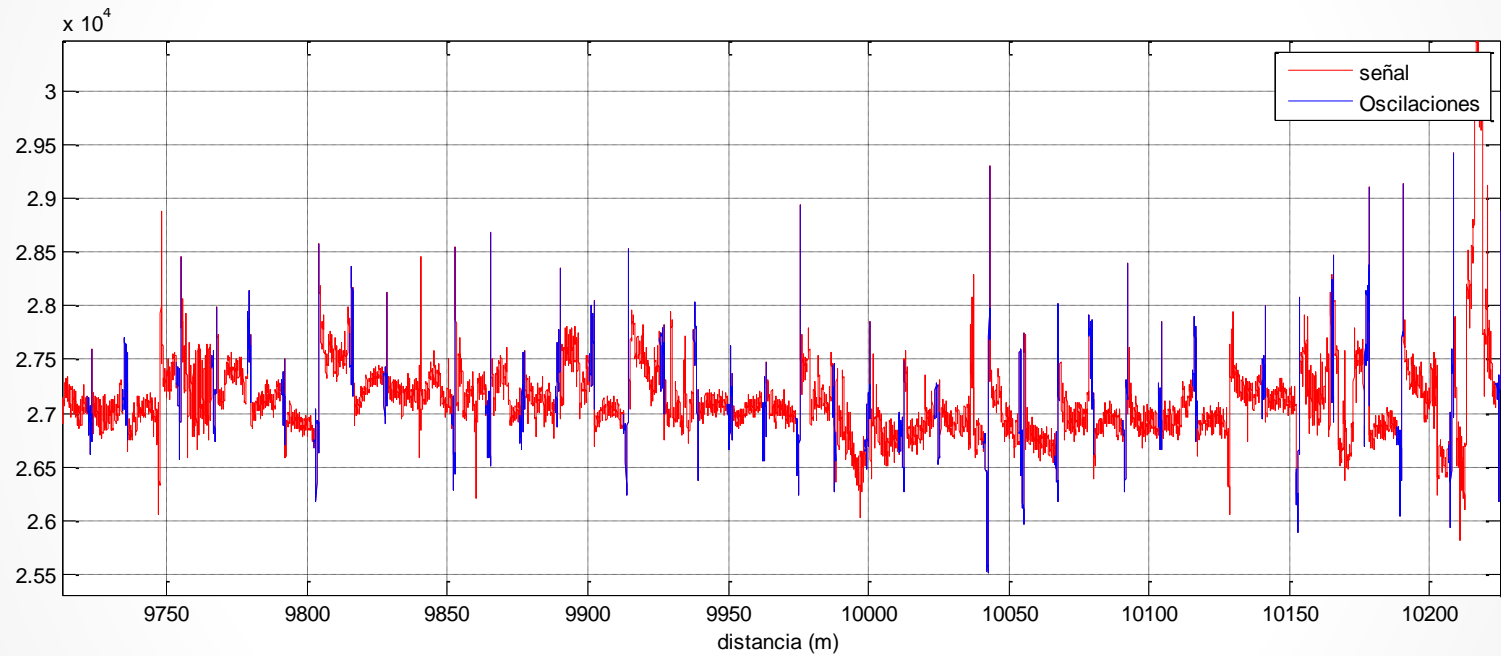
El color Azul corresponde a las oscilaciones clasificadas y el color rojo corresponde a la señal que se considero como sin defecto.

Las oscilaciones marcadas corresponden a los errores de clasificación.



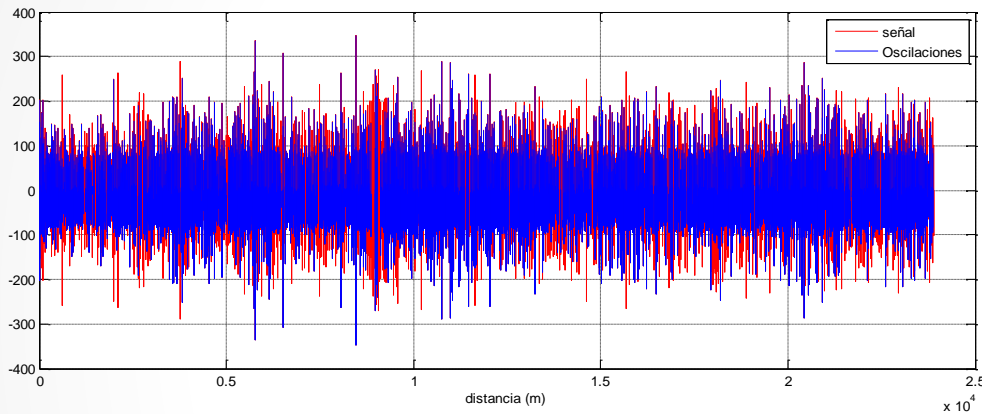


# Resultados de Clasificación Caliper 1



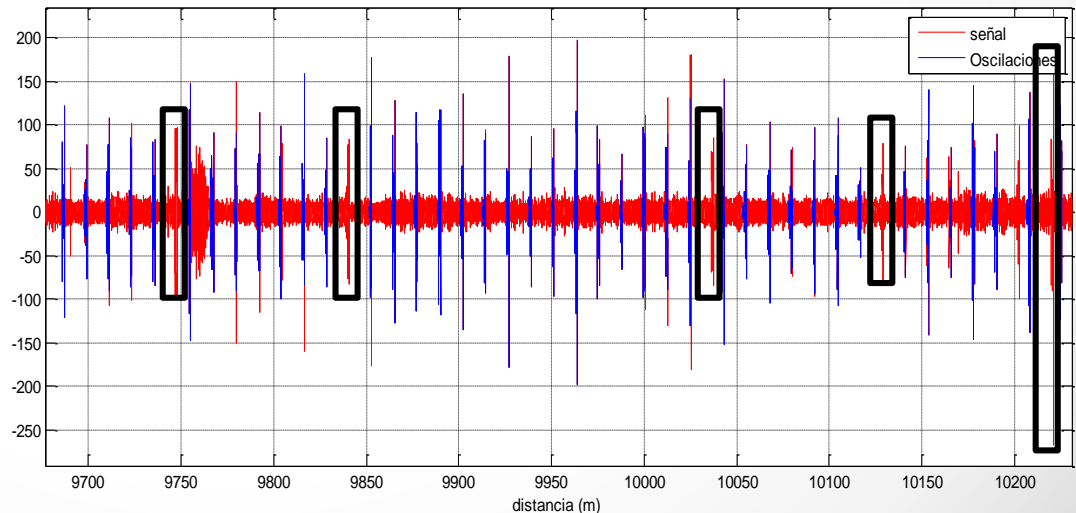
Señal original Caliper 1 sin filtrar clasificada.

# Resultados de Clasificación Caliper 2

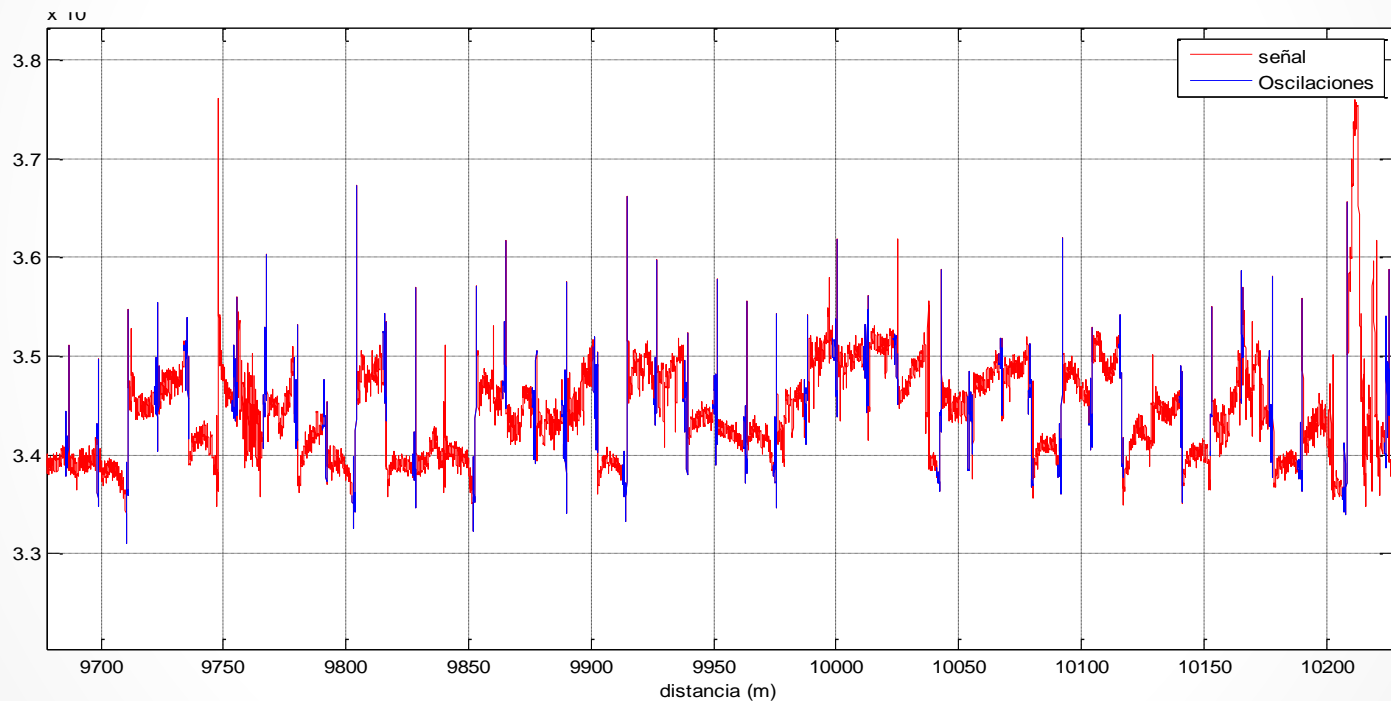


El color Azul corresponde a las oscilaciones clasificadas y el color rojo corresponde a la señal que se considero como sin defecto.

Las oscilaciones marcadas corresponden a los errores de clasificación.

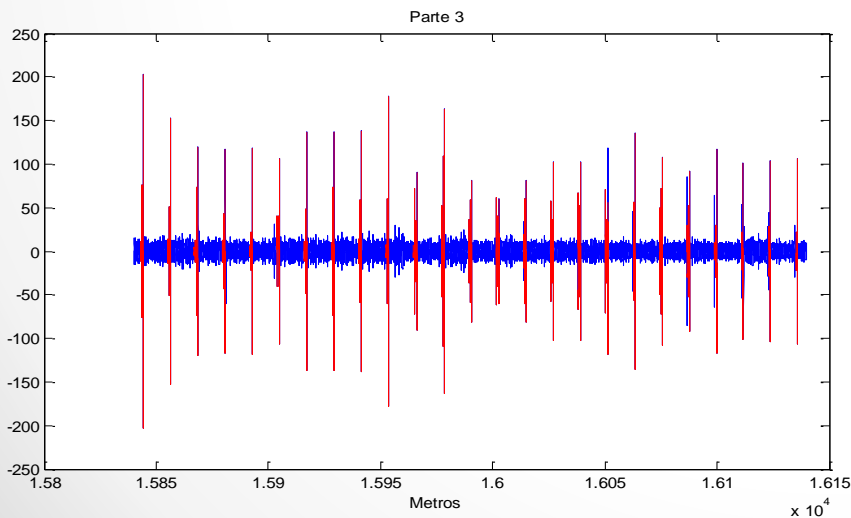
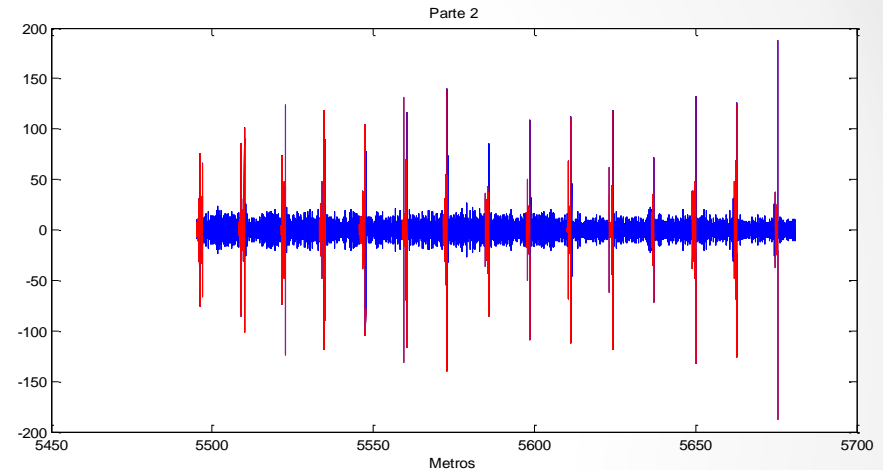
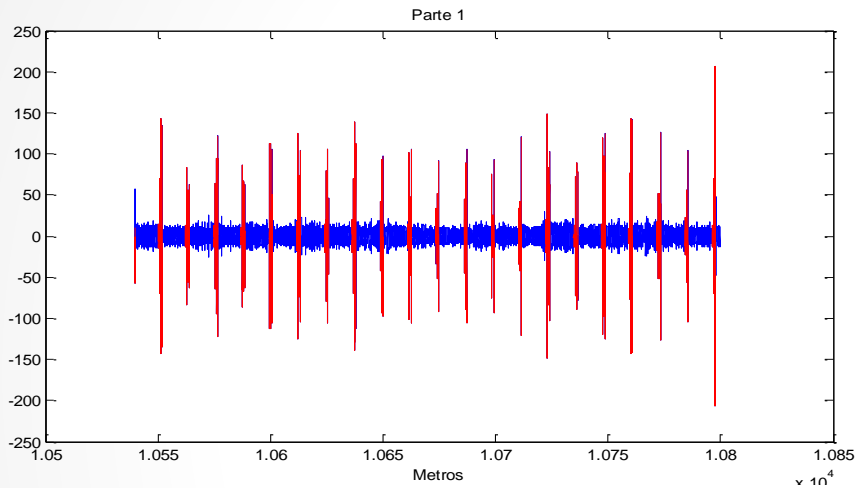


# Resultados de Clasificación Caliper 2



Señal original Caliper 1 sin filtrar clasificada.

# Red Neuronal

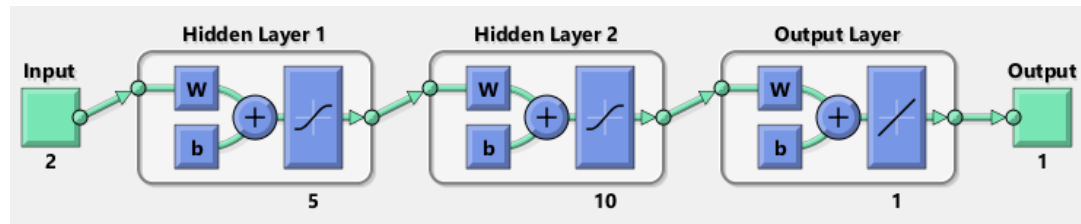


Se seleccionan partes de la señal clasificada que no tengan errores de clasificación para generar una base de datos.

Utilizando esta base de datos se busca entrenar, probar y validar una red neuronal.

# Red Neuronal

## Arquitectura de red

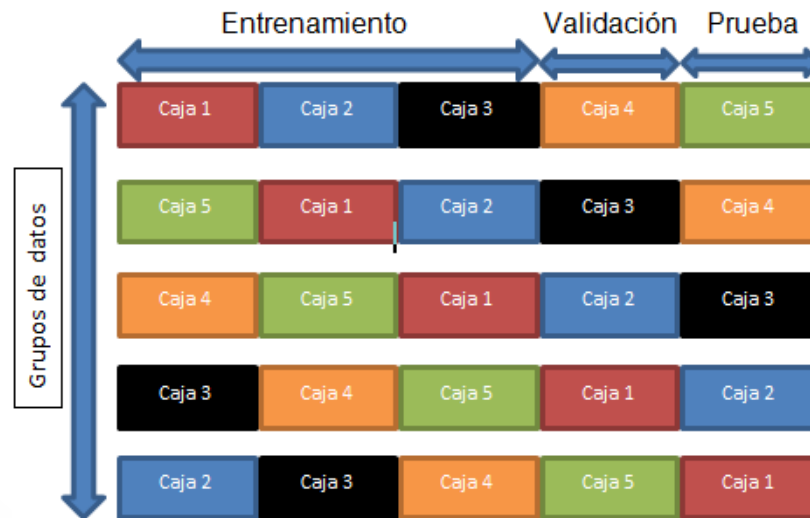


## Parámetros de entrenamiento

- Iteraciones: 1000
- Meta (mínimo MSE):  $1e-5$
- Mínimo gradiente:  $1e-7$
- Tasa de aprendizaje: 0.05
- Decremento de la tasa de aprendizaje: 0.1
- Incremento de la tasa de aprendizaje: 10
- Máxima tasa de aprendizaje:  $1e10$
- Parada por validación: 6

# Validación del clasificador neuronal

- Se utilizó el método de *K-fold Cross Validation* para comprobar la eficiencia de la red neuronal como clasificador.



# Resultados de la validación

- Utilizando la siguiente formula se calculo los porcentajes de clasificación para cada una de las iteraciones.

$$\textit{Precision equilibrada} = \frac{1}{2} * \frac{Cp}{Cp + Fp} + \frac{1}{2} * \frac{Cn}{Cn + Fn}$$

$Cp$  = Correctos Positivos

$Fp$  = Falsos Positivos

$Cn$  = Correctos Negativos

$Fn$  = Falsos Negativos

# Resultados de la validación

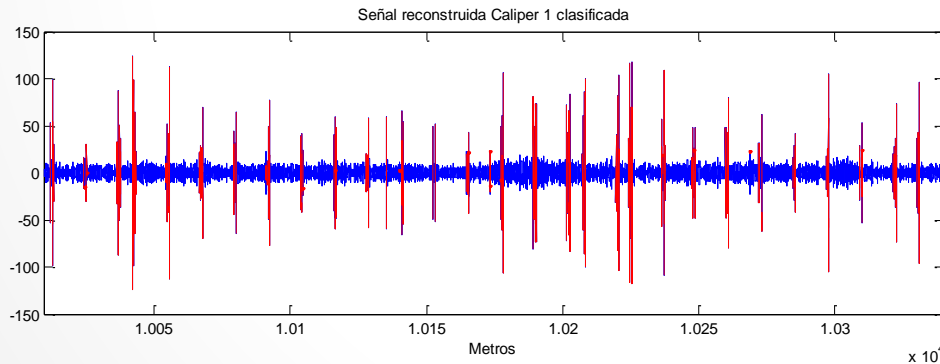
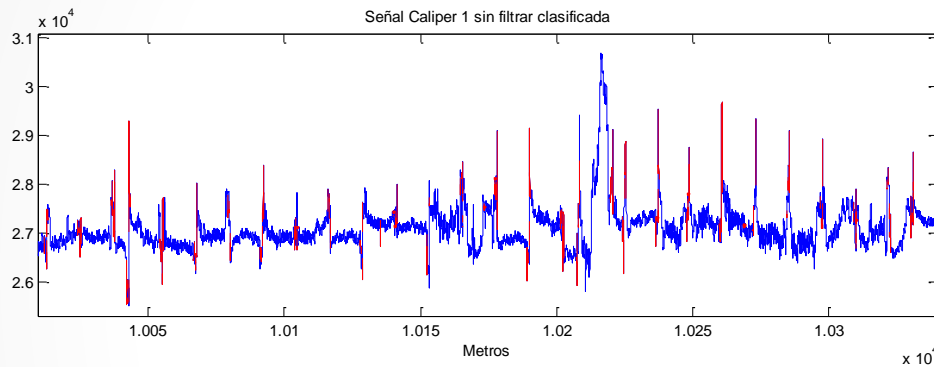
Iteraciones\Grupo de datos	1	2	3	4	5
1	86.2688	87.6730	89.8894	89.5327	88.0955
2	86.5376	87.6434	90.0195	89.4517	87.9428
3	86.7123	87.6730	90.0340	89.4810	87.9714
4	86.7623	87.7359	89.9315	89.5034	87.9879
5	86.3479	87.6558	90.1917	89.3786	88.0168
6	86.9391	87.7819	90.1629	89.7429	87.9096
7	86.6094	87.8578	90.2356	89.4888	87.9263
8	86.6486	87.7248	89.9042	89.5327	88.0498
9	86.6980	87.8062	89.8031	89.5181	87.7151
10	86.6633	87.7422	90.0049	89.6137	87.8648
11	86.5808	87.8111	90.2642	89.2330	87.9263
12	86.5852	87.9006	89.8894	89.6425	87.9263
13	86.6048	87.8749	90.0904	89.3925	87.8814
14	86.5808	87.7889	90.0620	89.5906	87.9879
15	86.6835	87.8331	89.8329	89.3279	87.9214

*%Clasificación total (Balanced Accuracy) = 88.3680%*



# Señal Clasificada

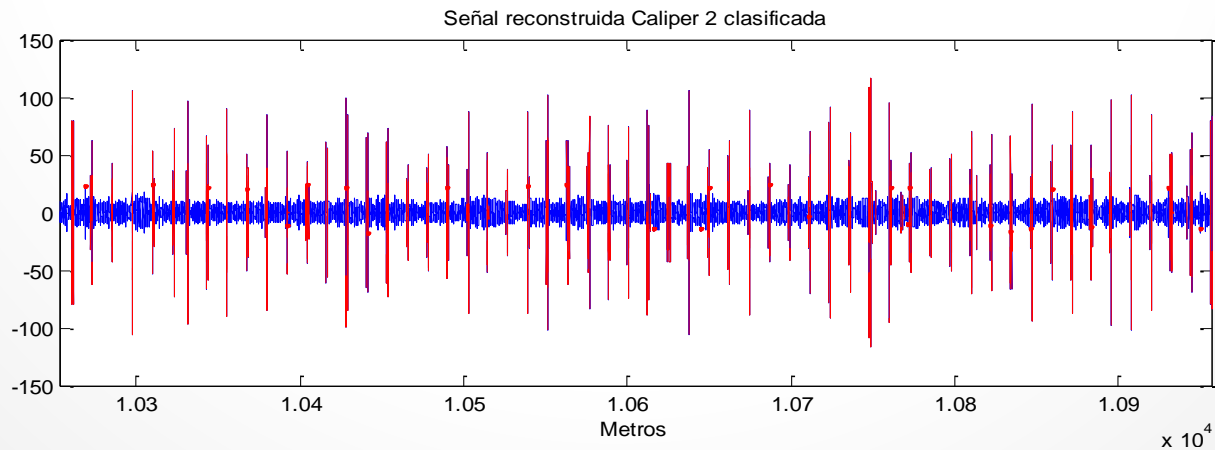
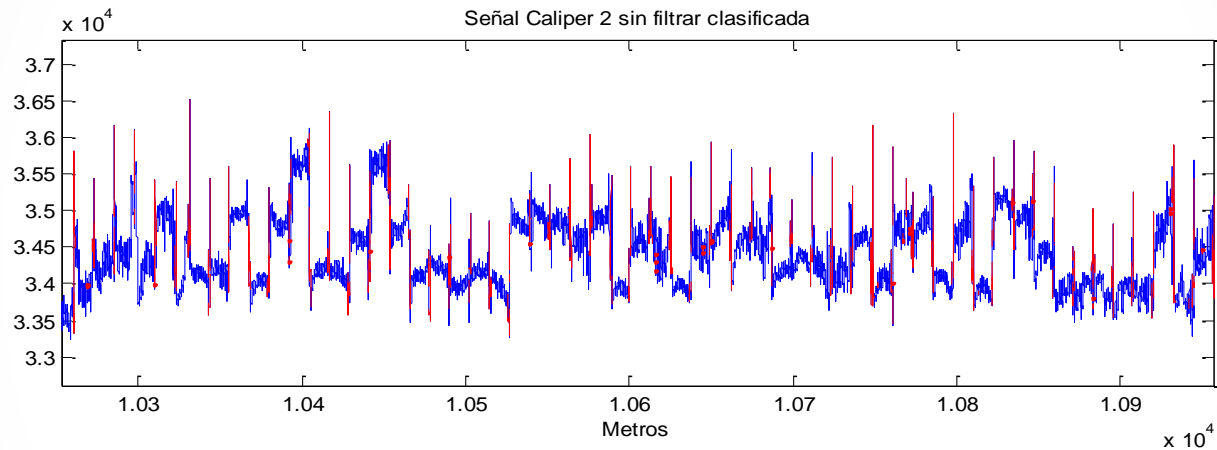
Señal reconstruida a partir de la señal Caliper 1 sin Filtrar



Esta clasificación se realizó utilizando el modelo de la red neuronal con mejor porcentaje de clasificación en el proceso de validación.

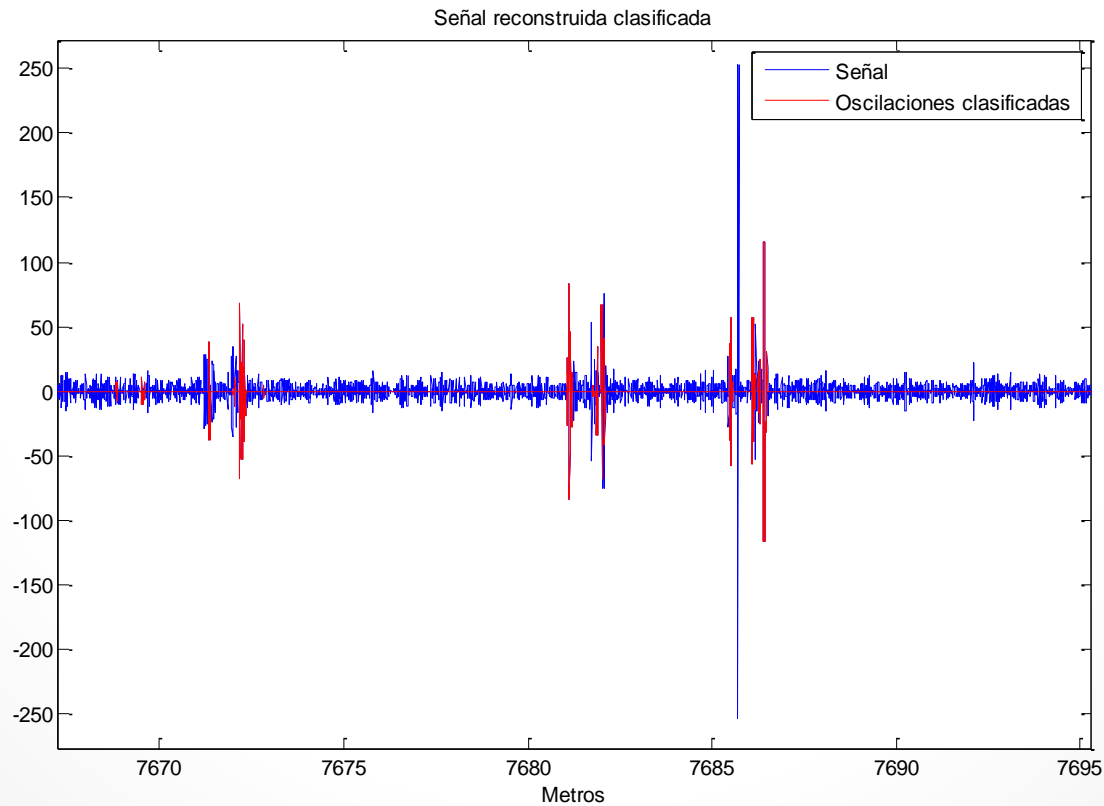
# Señal Clasificada

Señal reconstruida a partir de la señal Caliper 2 sin Filtrar

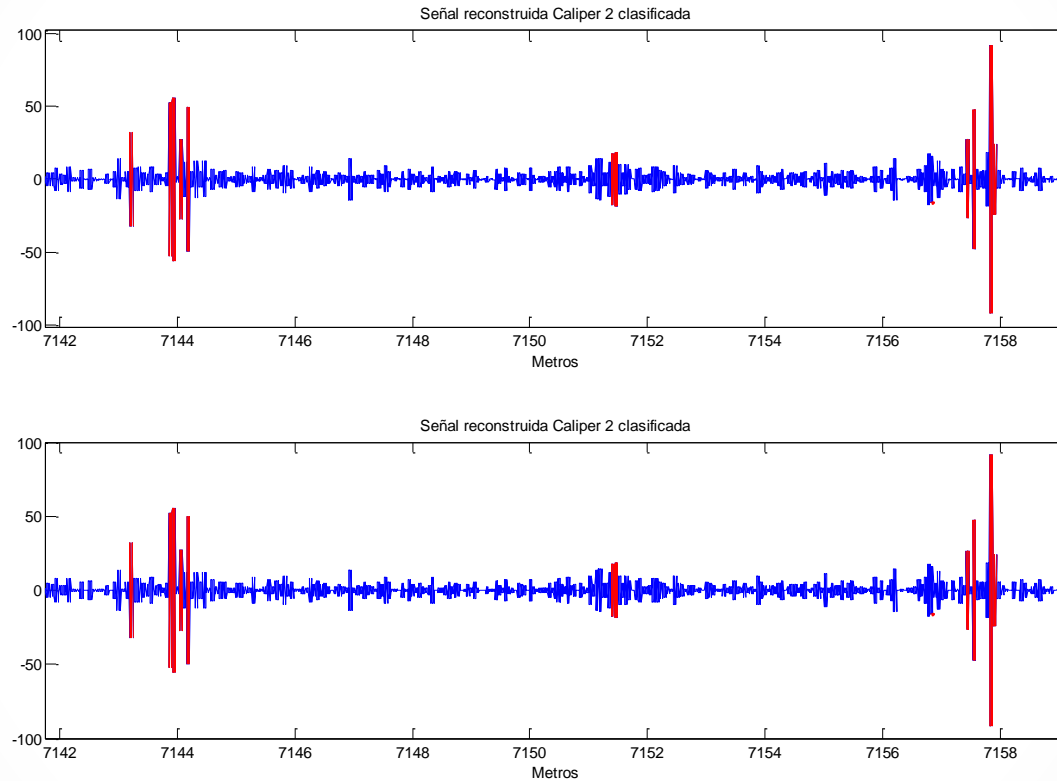


# Señal Clasificada

Errores de la clasificación

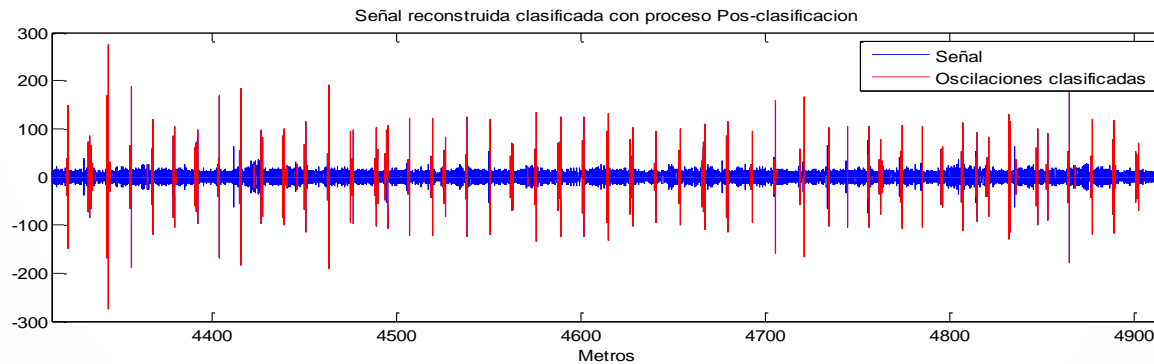
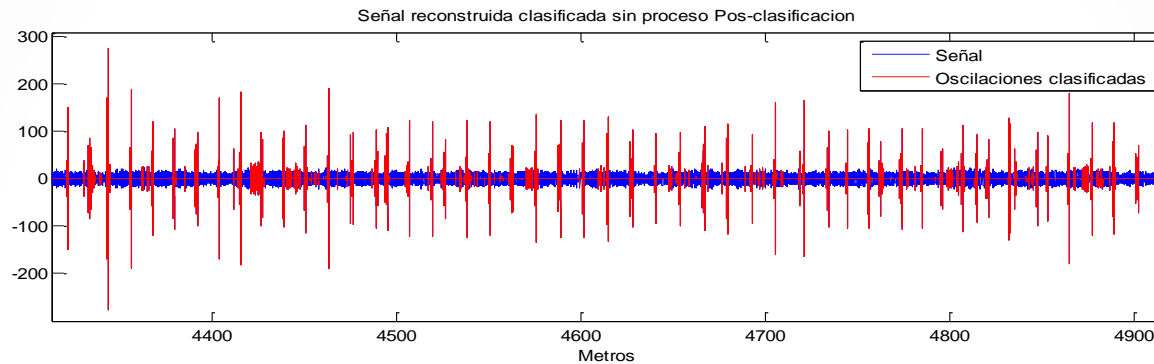


# Proceso Post-Clasificación



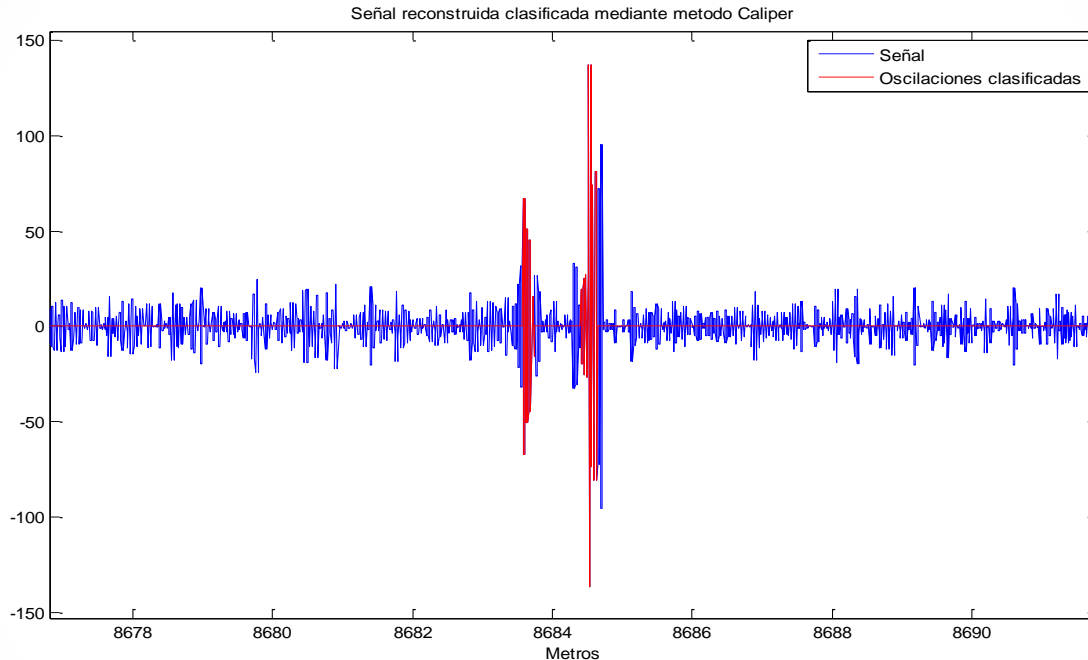
Luego de la clasificación utilizando la red neuronal se generaron algunos errores o falsos positivos en la señal clasificada, en esta imagen se observa algunos de ellos dentro del ruido de fondo.

# Proceso Post-Clasificación



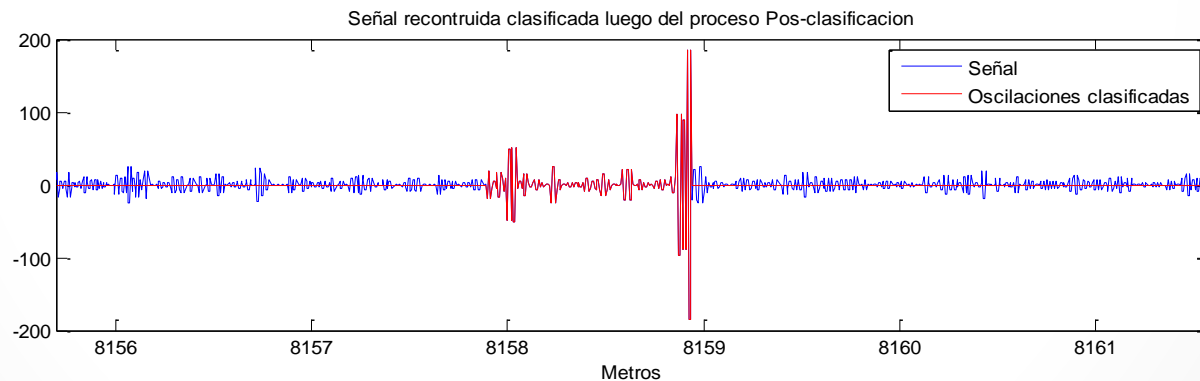
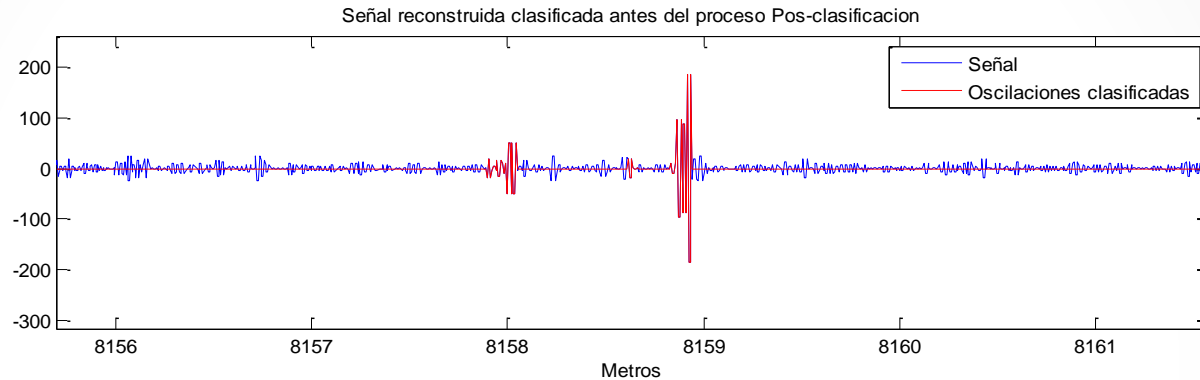
Luego del proceso de post-clasificación se eliminaron una gran cantidad de falsos positivos que se encuentran en la distancia de una oscilación a otra.

# Proceso Post-Clasificación



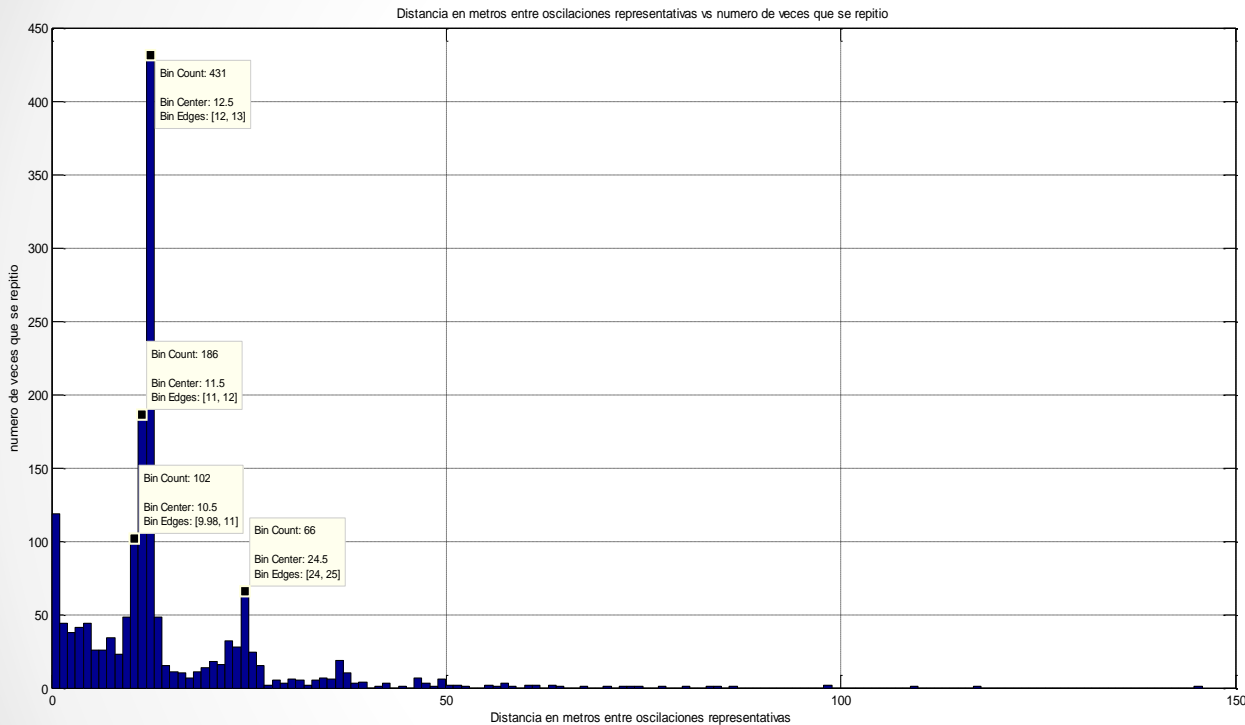
Luego de la clasificación también se generaron errores de clasificación o falsos negativos debido a la forma de onda de las oscilaciones y su similitud con el ruido de fondo.

# Proceso Post-Clasificación



Luego del proceso de post-clasificación se eliminaron una gran cantidad de falsos negativos que se encuentran en el centro de las oscilaciones ya que en esta parte se confunde con el ruido de fondo.

# Comparación de métodos

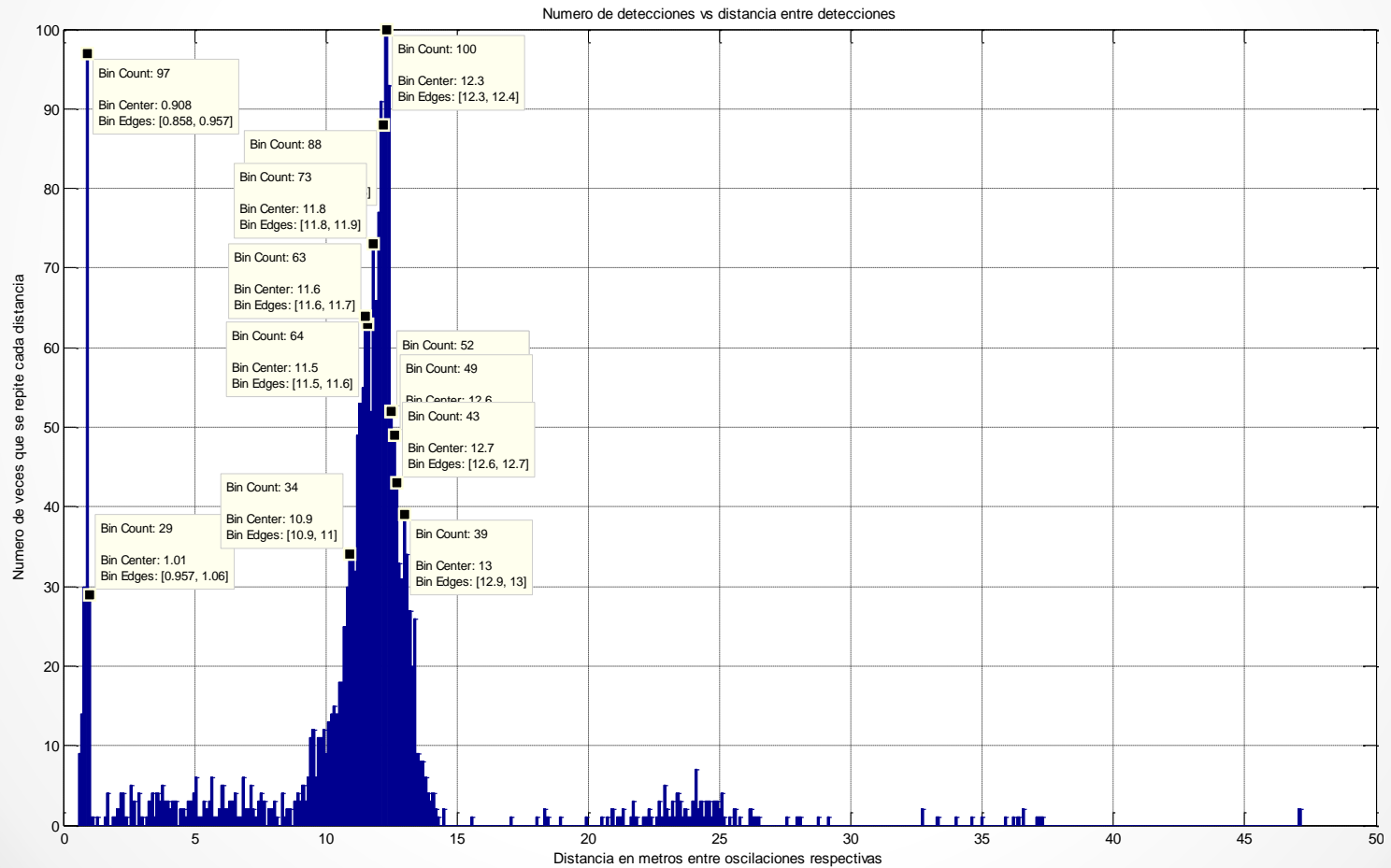


Utilizando los datos de correlación se realiza el mismo proceso explicado anteriormente para encontrar un umbral que detecte el mayor numero de oscilaciones

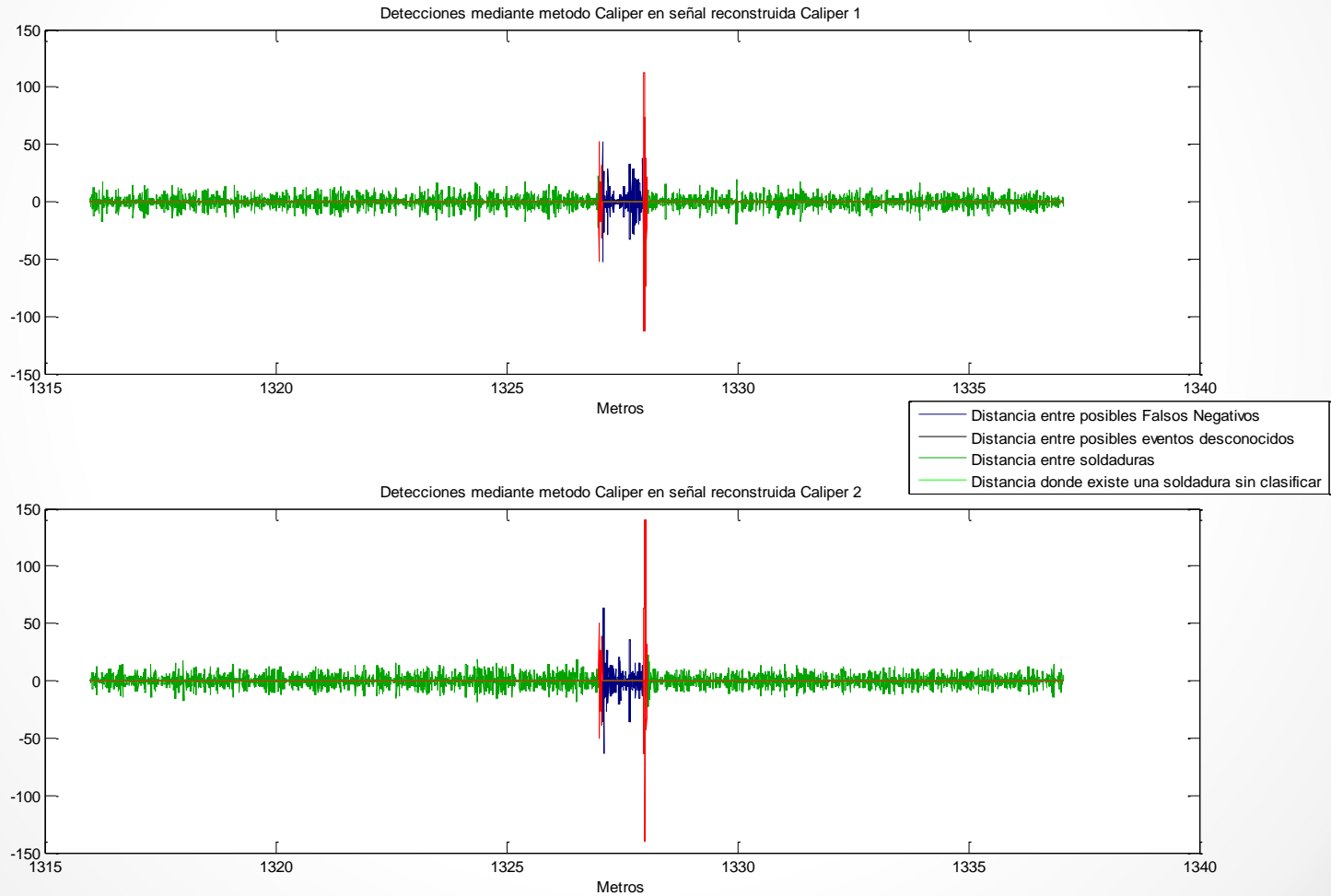
Este método consiste en una clasificación por umbralización y fue creado e implementado por Freddy Reyes utilizando señales MFL. Este método consiste en realizar una correlación entre una oscilación de un marcador y una ventana deslizante que pasa por toda la señal generando una datos de correlación por cada ventana.



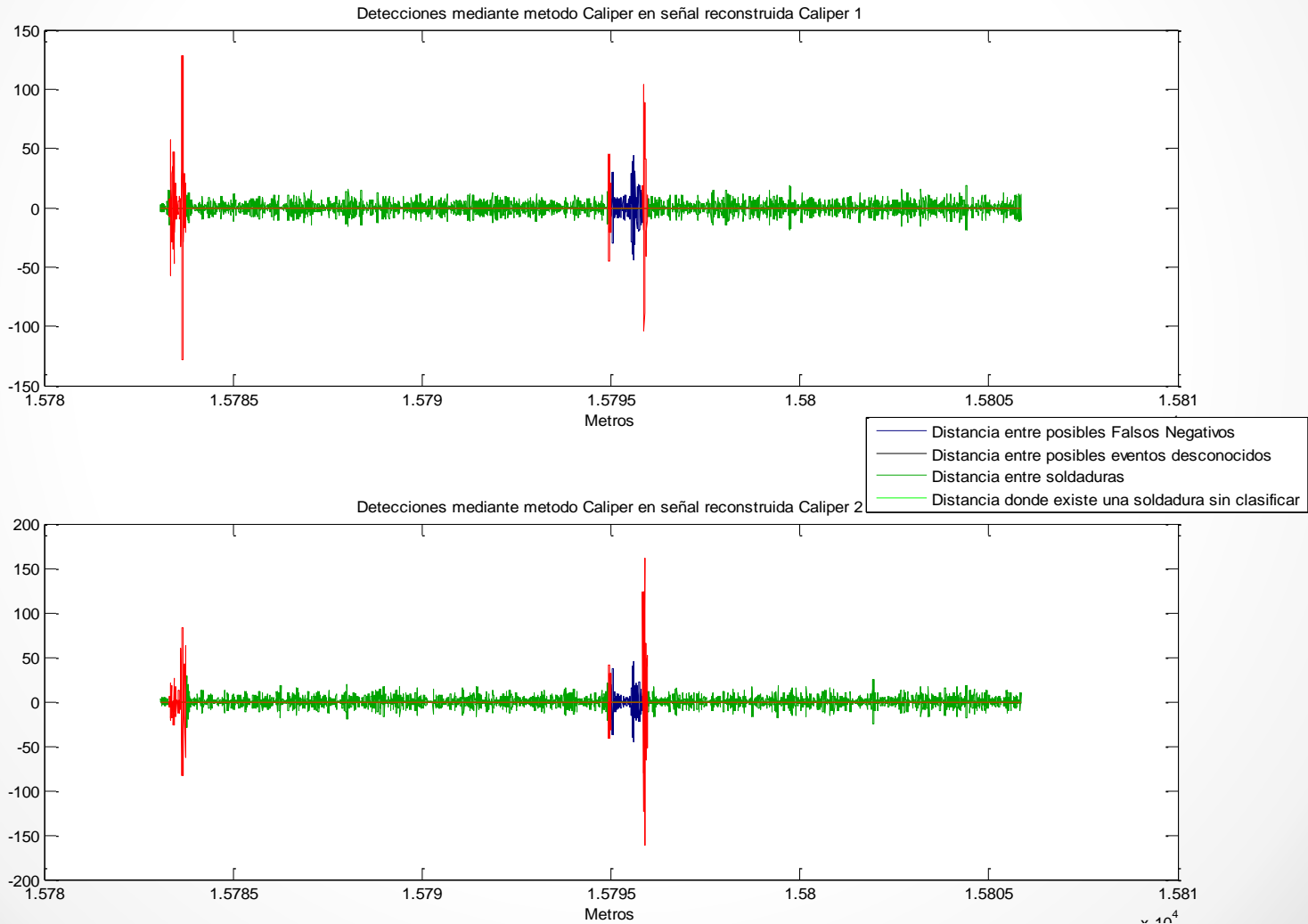
# Comparación de métodos



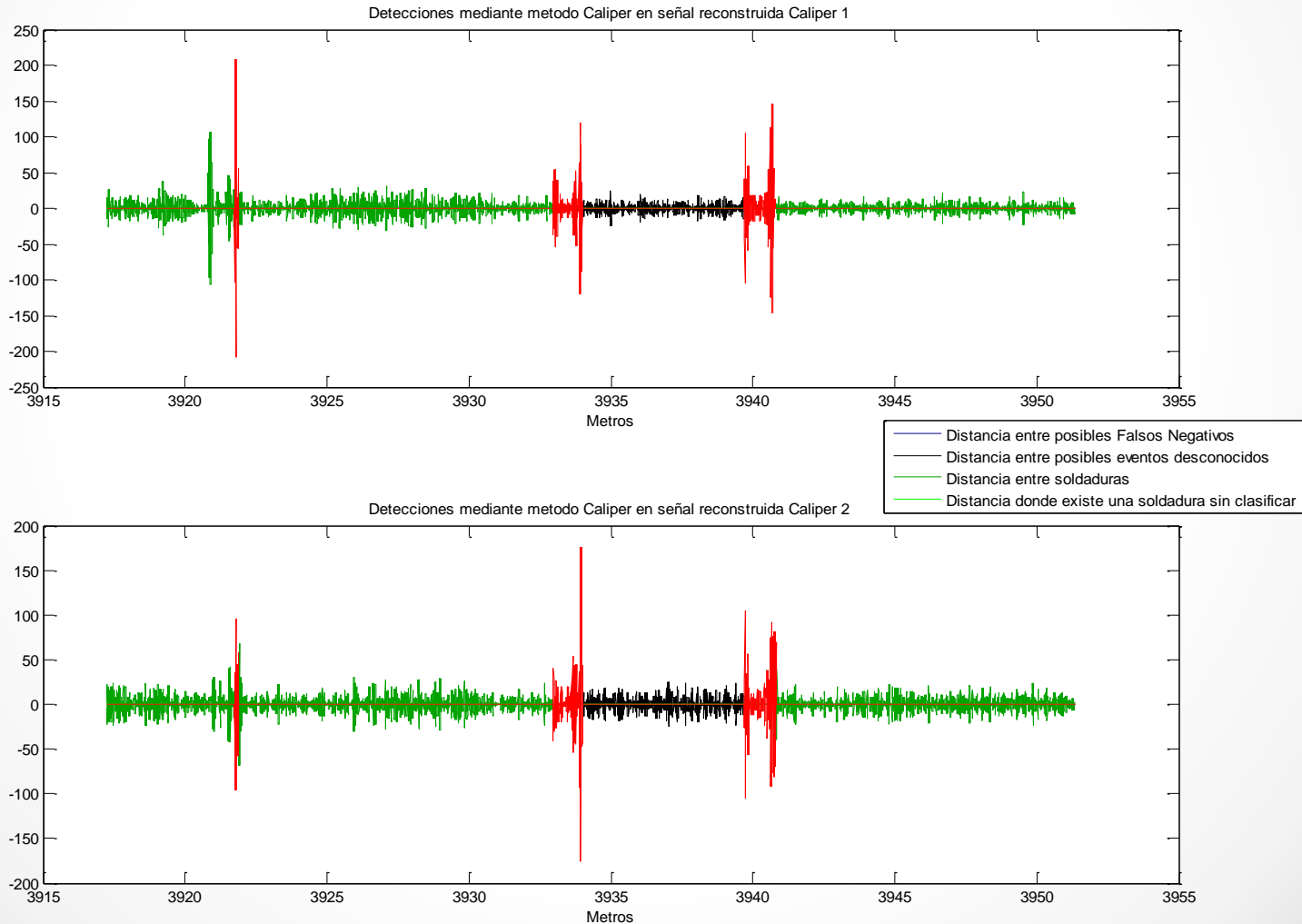
# Eventos en las señales



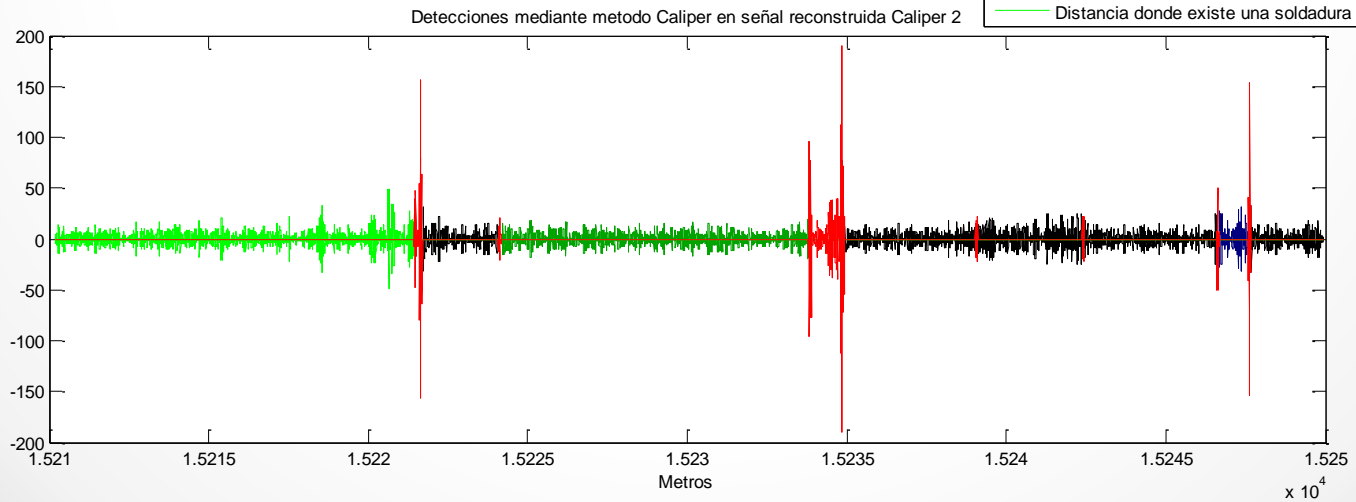
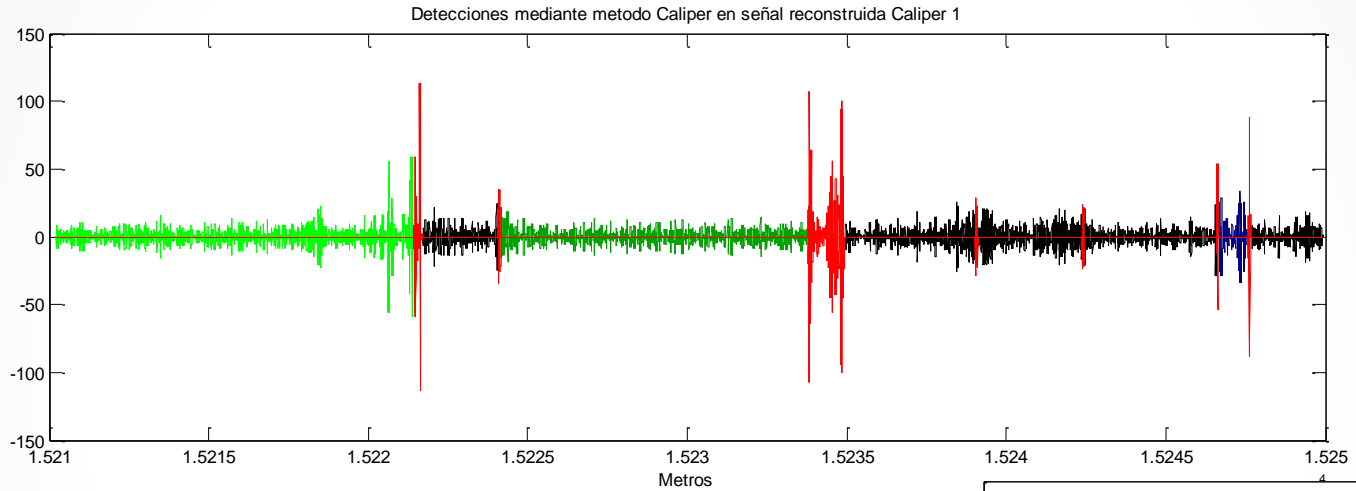
# Eventos en las señales



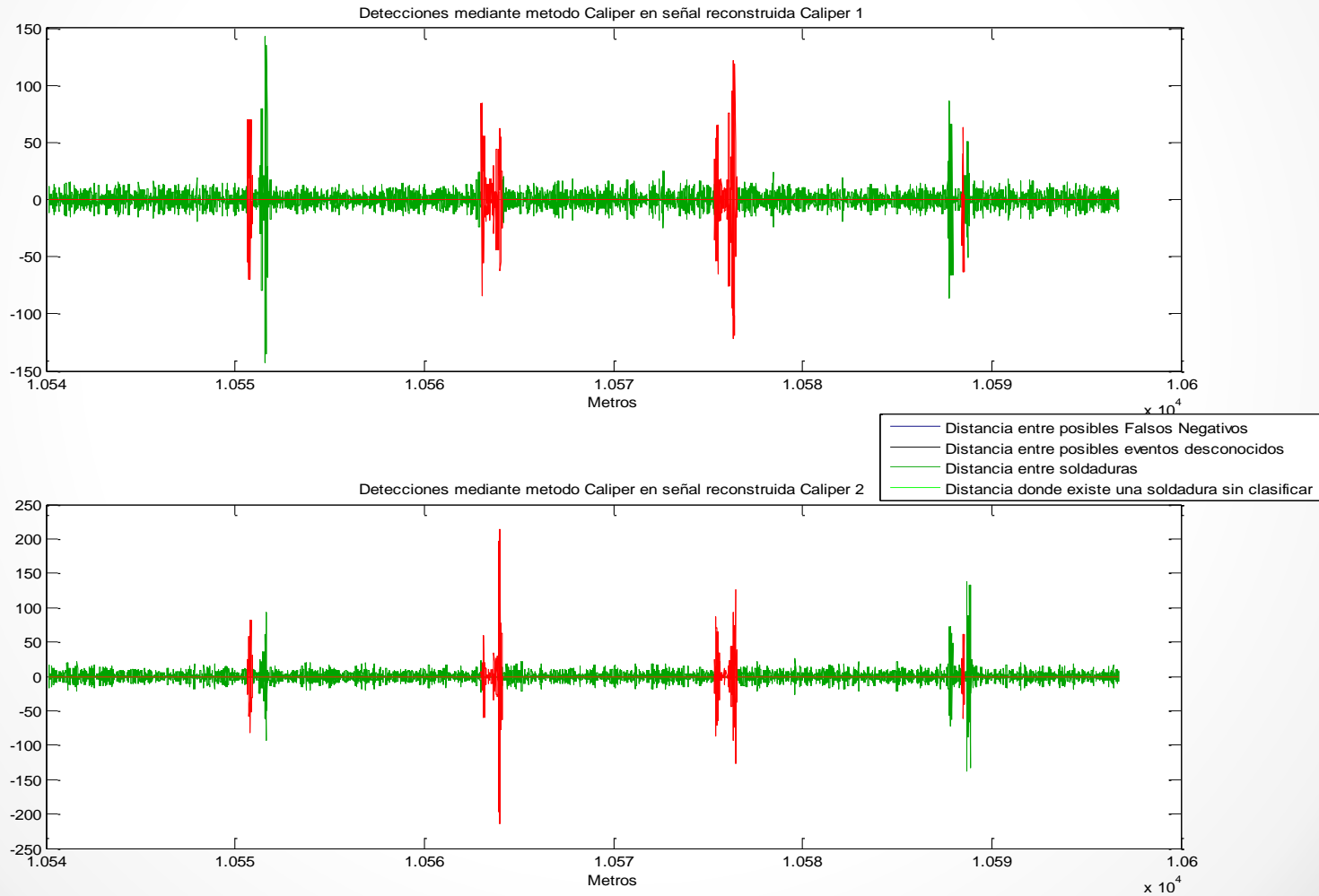
# Eventos en las señales



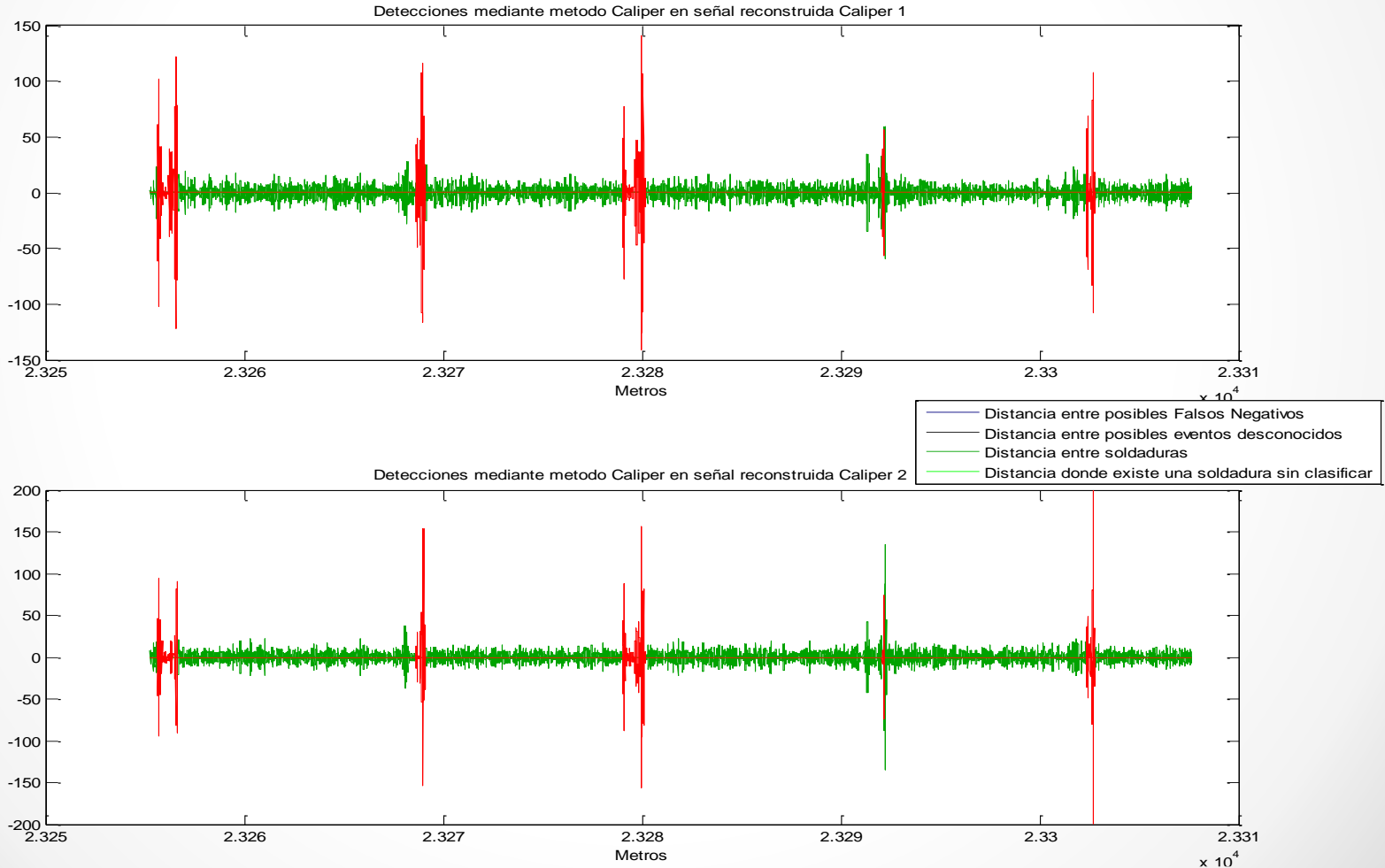
# Eventos en las señales



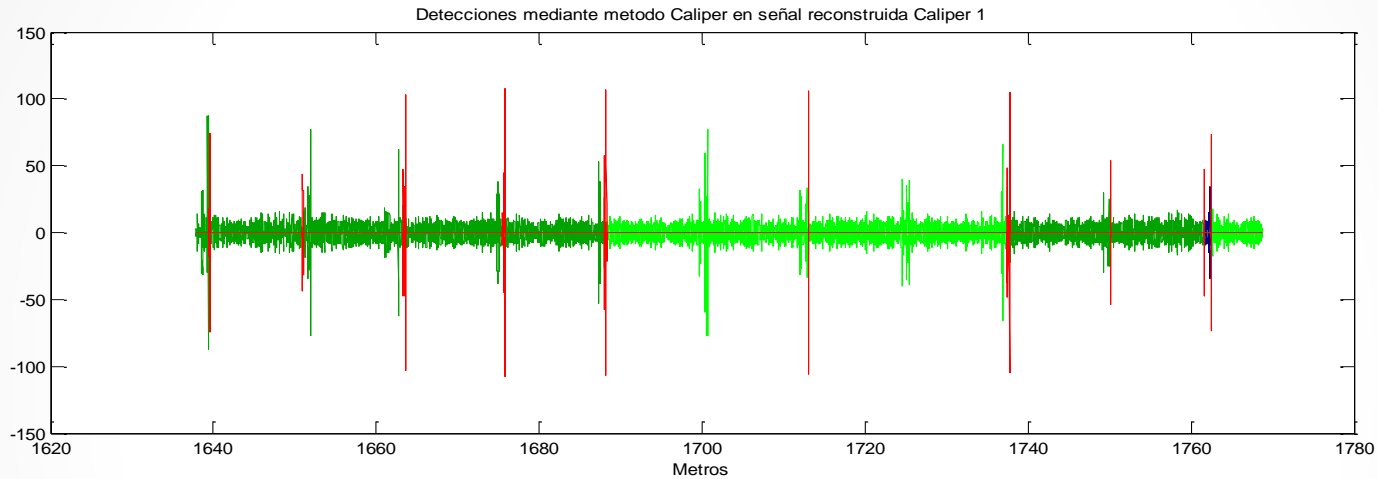
# Eventos en las señales



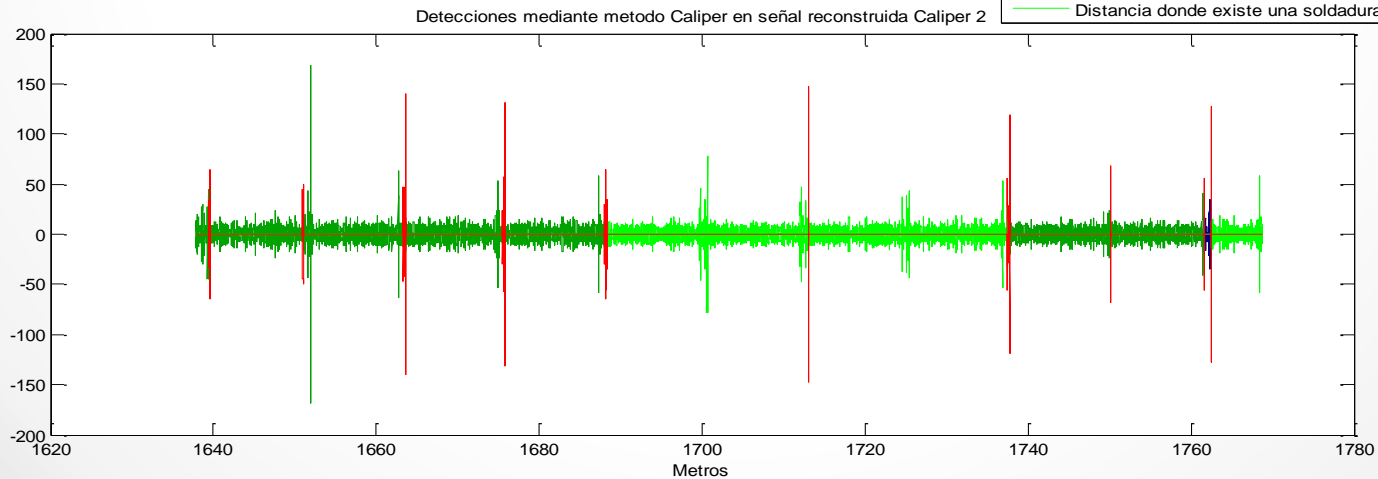
# Eventos en las señales



# Eventos en las señales

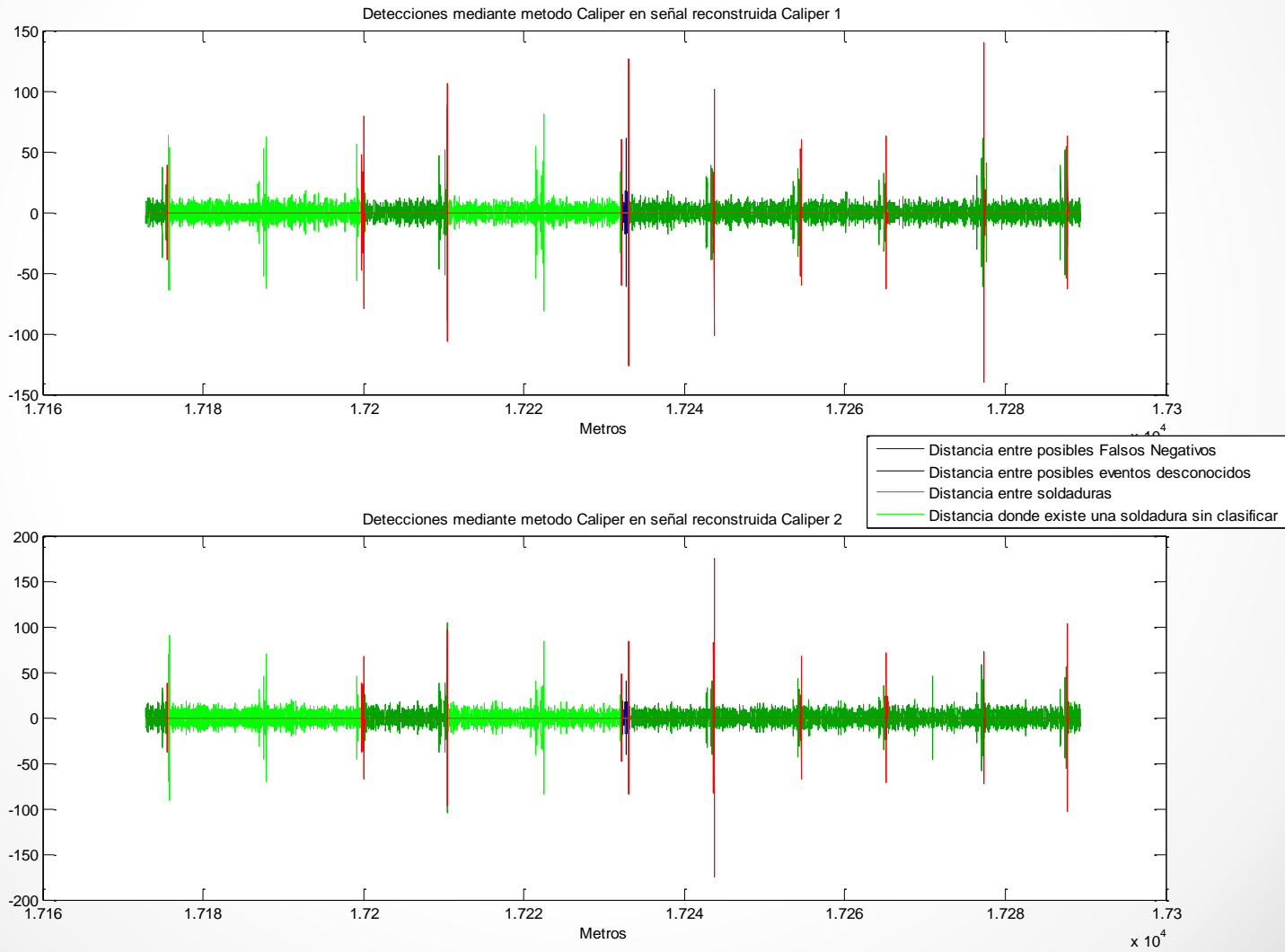


- Distancia entre posibles Falsos Negativos
- Distancia entre posibles eventos desconocidos
- Distancia entre soldaduras
- Distancia donde existe una soldadura sin clasificar

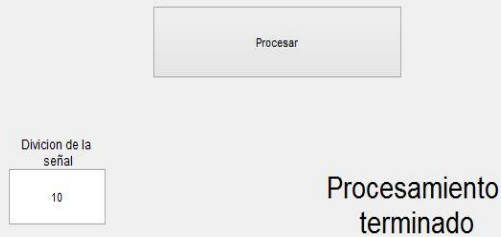




# Eventos en las señales



# Interfaz Grafica



Esta GUI esta diseñada para realizar el procesamiento y clasificacion de Oscilaciones periodicas utilizando señales obtenidas de sensores MFL y Caliper.

Para utilizarce debe tener los siguientes requerimientos:

- Debe tener las señales guardadas dentro de un archivo .m en la carpeta local en Matlab y debe nombrarse "DatosGUI".

-las señales deben estar guardadas de la siguiente manera:

Señales MFL

MFL1(:,1)

MFL2(:,1)

MFL3(:,1)

MFL4(:,1)

MFL5(:,1)

MFL6(:,1)

MFL7(:,1)

MFL8(:,1)

Señales Caliper

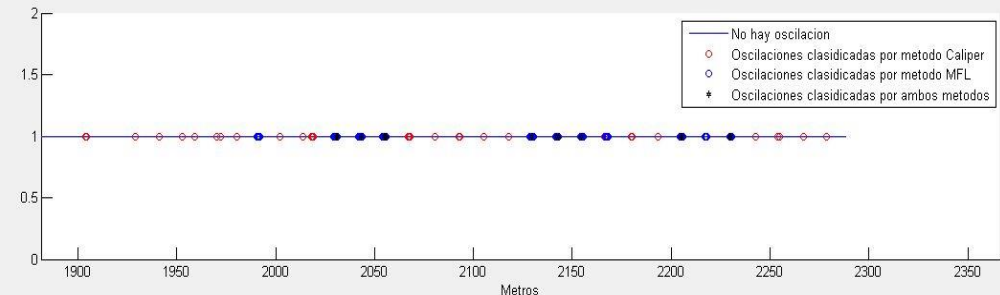
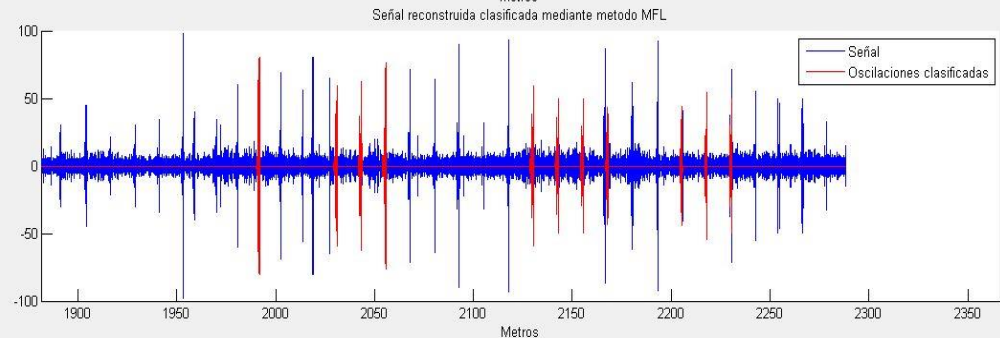
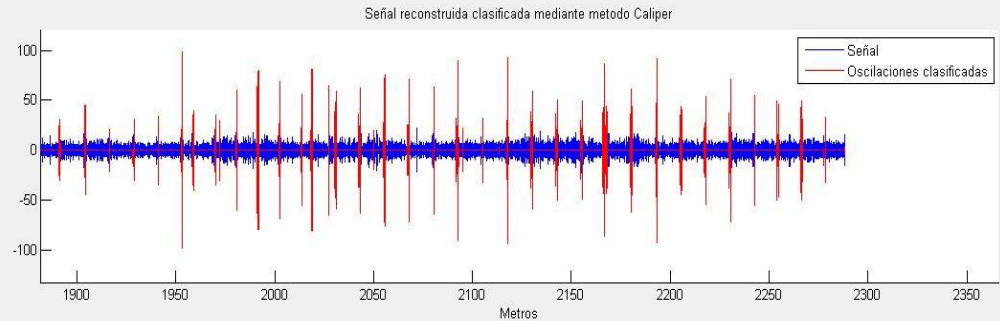
Caliper1(:,1)

Caliper2(:,1)

Odometro

odometro(:,1)

- La division de la señal es un valor por el cual se dividira el tamaño de la señal para facilitar su procesamiento. SE DEBE DIGITAR ANTES DE PROCESAR LAS SEÑALES.



# Interfaz Grafica

Procesar

División de la señal

1

Procesamiento terminado

Esta GUI esta diseñada para realizar el procesamiento y clasificacion de Oscilaciones periodicas utilizando señales obtenidas de sensores MFL y Caliper.

Para utilizarce debe tener los siguientes requerimientos:

- Debe tener las señales guardadas dentro de un archivo .m en la carpeta local en Matlab que posea nombre DatosGUI.

-las señales deben estar guardadas de la siguiente manera:

Señales MFL

MFL1(:,1)

MFL2(:,1)

MFL3(:,1)

MFL4(:,1)

MFL5(:,1)

MFL6(:,1)

MFL7(:,1)

MFL8(:,1)

Señales Caliper

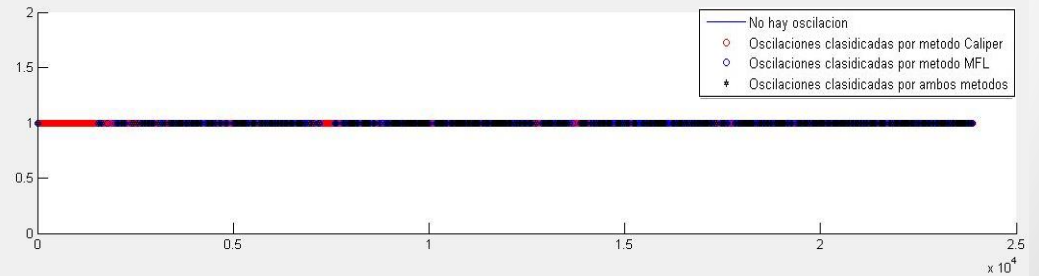
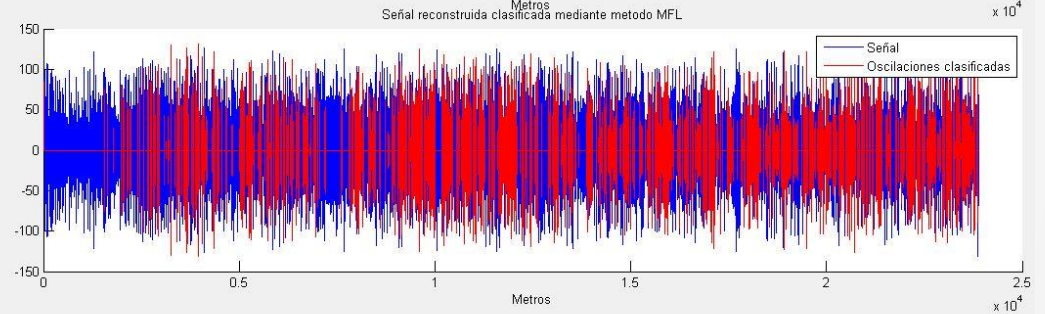
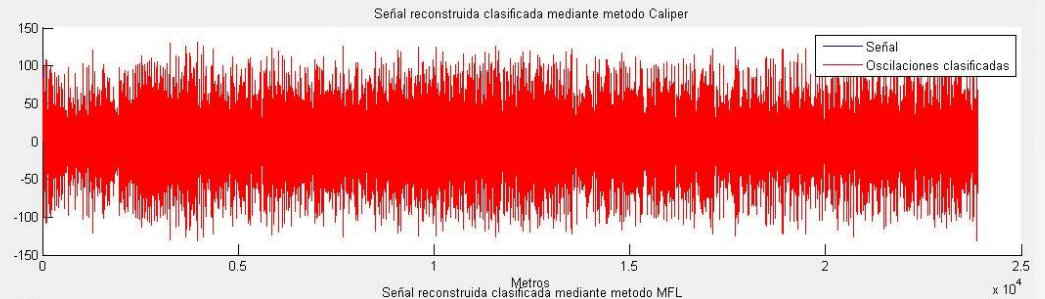
Caliper1(:,1)

Caliper2(:,1)

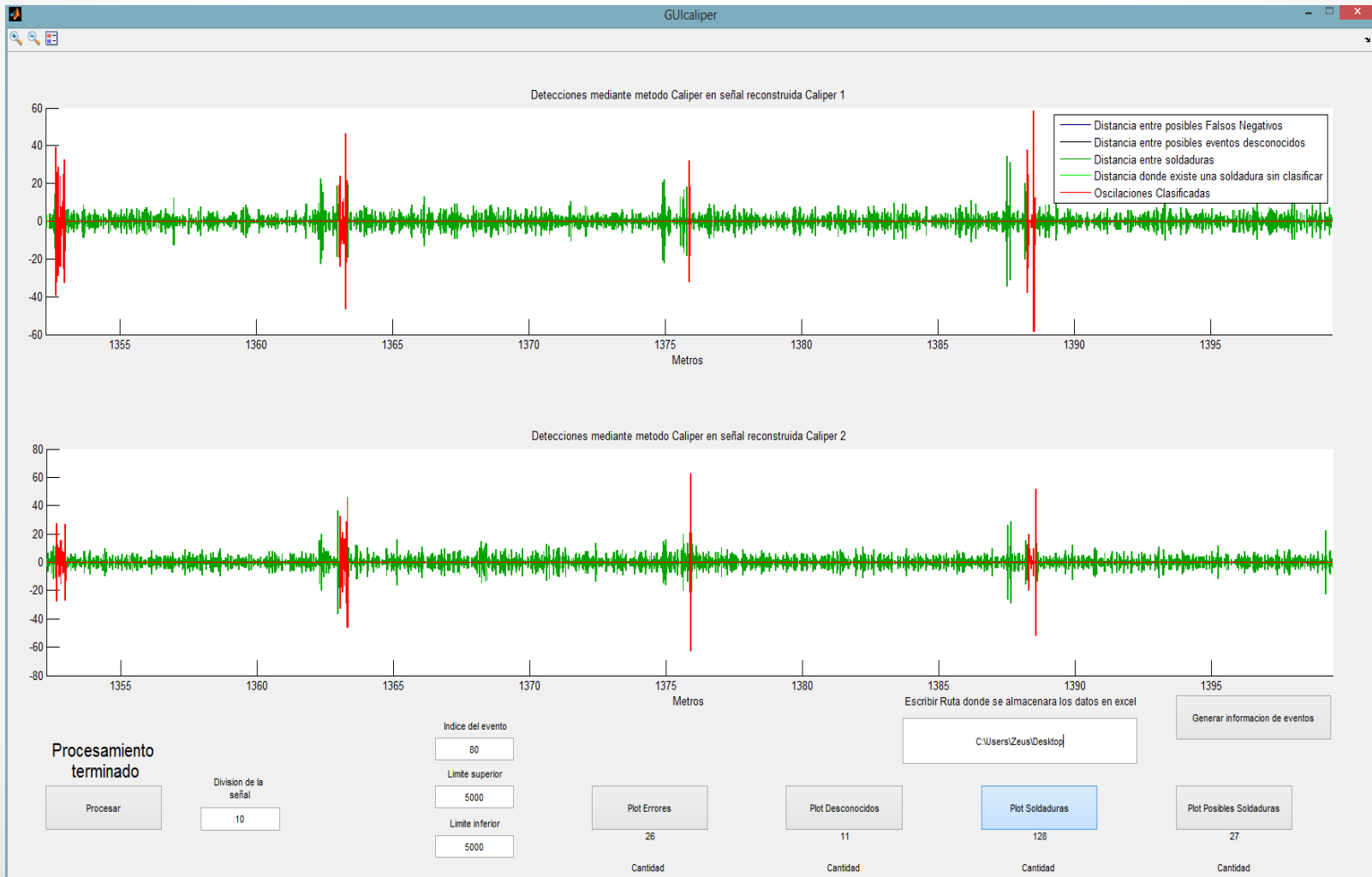
Odometro

odometro(:,1)

- La division de la señal es un valor por el cual se dividira el tamaño de la señal para facilitar su procesamiento. SE DEBE DIGITAR ANTES DE PROCESAR LAS SEÑALES.



# Interfaz Grafica



Gracias