

# DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

## CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**“Creación de bases de datos sintéticas de eventos sísmicos producidos en el volcán Llaima con Bootstrap”.**

**AUTOR:** Henry Fabricio Caisaluisa Hurtado

**DIRECTOR DEL PROYECTO:** Ing. Lara Cueva, Román Alcides, PhD.

07 de septiembre de 2023



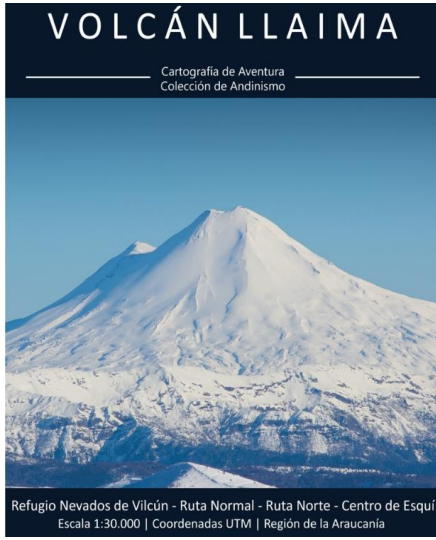
# Agenda

- 1.- **Introducción**
- 2.- **Desarrollo**
- 3.- **Pruebas y Resultados**
- 4.- **Conclusiones y Trabajos futuros**



# 1. Introducción

## Motivación e Importancia



Situado en una región altamente propensa a actividad sísmica

Resulta crucial establecer un Sistema de Monitorización efectiva



Monitor en Tiempo Real de Eventos Naturales

**Puntos Calientes MODIS**

33

**Sismos**

3

Ultima semana

Sismos recientes USGS

- Magnitud: 4.9
- Lugar: 10km WNW of Cometa, Nicaragua
- Fecha: 10/22/2019 19:19 p.m.

**Monitorio de volcanes**

Volcán Cerro Negro#1

Sismos RNN

Fecha y hora local: 20/08/2019 15:46 pm

Magnitud: 2.4 km

Ubicación: 4.4 km al Oeste de Belva-Balón

Profundidad: 32 km

Latitud: 12.0116

Longitud: -85.8421



Motivación primordial

- Preservación de vidas
- Anticipar riesgos



# 1. Introducción

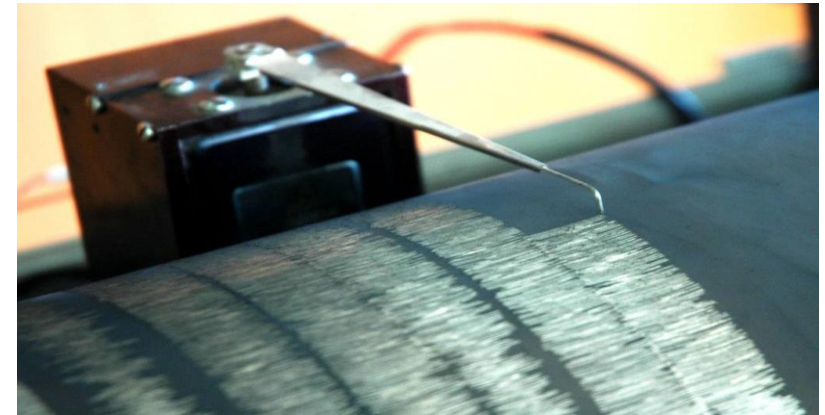
## Antecedentes

Generación de **señales sintéticas** de eventos microsísmicos usando el método de reconstrucción de señales a través de su fase.

Utilización de técnicas de **Bootstrap** para establecer intervalos de confianza en cada tipo de evento.



The screenshot shows the ESPE (Universidad de las Fuerzas Armadas) software interface. It features the university's logo and a 100th anniversary emblem. The text reads: "Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones". The main title is "Generación de señales sintéticas de eventos sísmo-volcánicos usando el método de Reconstrucción de señales a través de su Fase". Below this, it lists the author as Kevin Santiago Camacho Calle and the tutor as Ing. Julio Larco. There is a field for "Cantidad de Señales Sintéticas" set to 1, a dropdown menu for "Tipo de Señales Sintéticas" set to "Volcano-Tectónico (VT)", and a "Generar" button. At the bottom, there is a "Ruta Base de Datos" field and a navigation bar with "INICIO" and "GENERADOR" buttons.



Generación de **señales sintéticas** de eventos sísmo volcánicos del volcán Cotopaxi mediante el método de Bootstrap.



APLICACIÓN DE GENERACIÓN Y RECONOCIMIENTO DE SEÑALES MICRO-SÍSMICAS



Autor: Brenda Elizabeth Pérez Moreno

Director: Dr. Román Lara

Colaboradores: Ing. Julio Larco



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# 1. Introducción

## *Objetivo*

- Crear bases de datos sintéticas de eventos microsísmicos producidos en el volcán Llaima con Bootstrap.

## *Actividades*

- Identificación de las propiedades y variables del problema a tener en cuenta.
- Reunión de la base de datos representativa, con datos provistos por el observatorio “Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur”.
- Creación de una estructura de datos (temporales, espaciales, otros.) con un soporte común.
- Caracterización de microsismos.
- Generación de bases sintéticas con la técnica de remuestreo Bootstrapping.
- Pruebas y evaluación de desempeño.





## 2. Desarrollo Materiales



Versión: R2020a

---

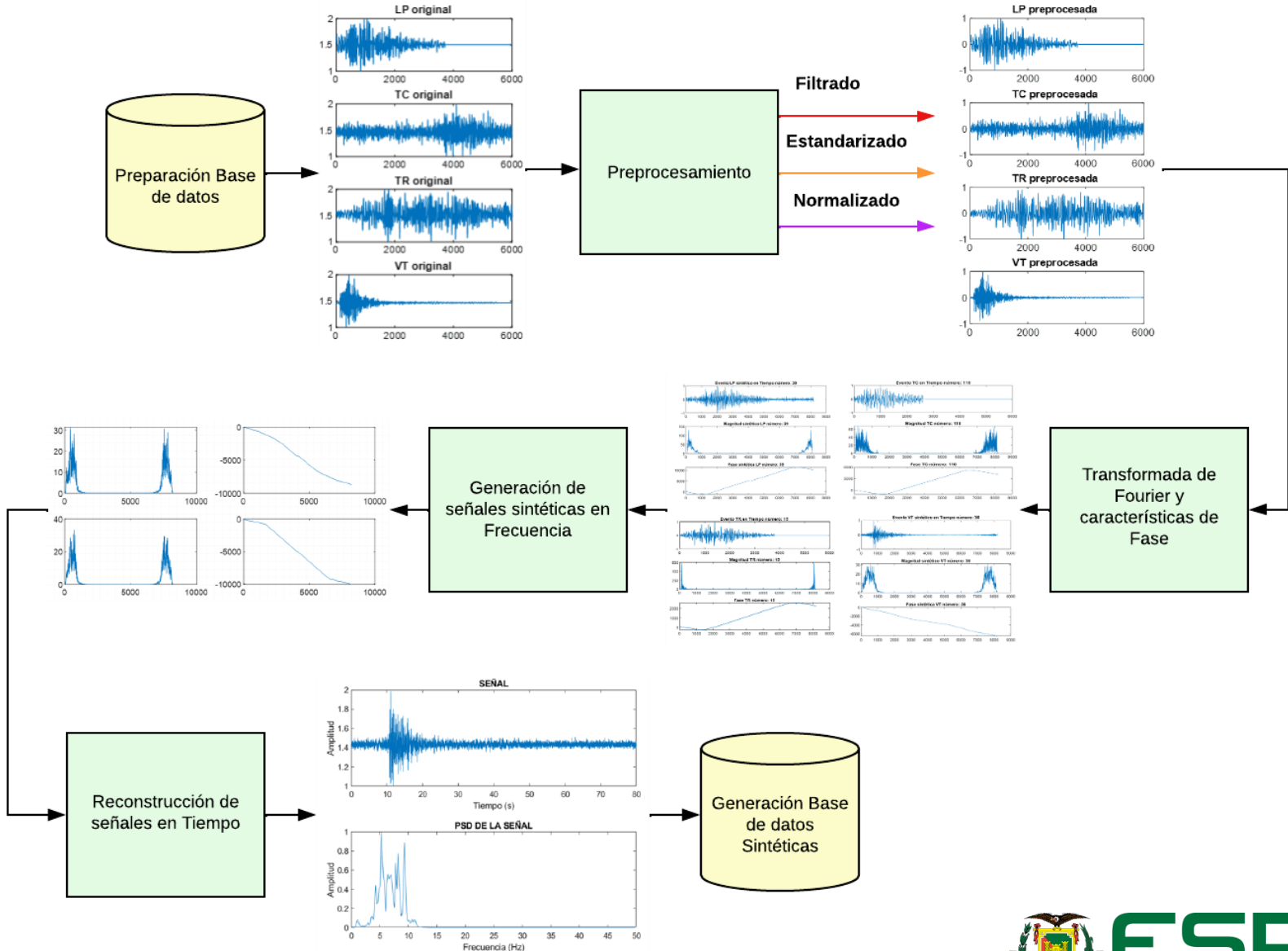
### Especificaciones

---

<b>Procesador</b>	Intel® Core™ i7 8th Generación 2.00 GHz
<b>Memoria RAM</b>	12 GB DDR4
<b>Gráficos</b>	Gráficos Integrados Intel UHD Graphics 620
<b>Almacenamiento</b>	Disco SSD M.2, 500 GB Disco HDD, 500 GB
<b>Sistema Operativo</b>	Windows 10 Home

---

# 2. Desarrollo - Metodología



# Preparación de datos

## Base de datos:

La base de datos provista por Observatorio Vulcanológico de los Andes Sur (OVDAS).

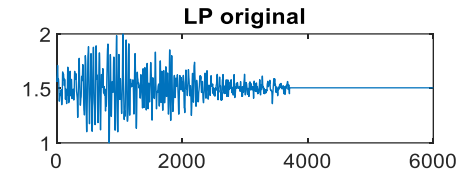
Presenta las siguientes características:

- Número de señales:  $M = 3592$
- Señales 60 [s], filtradas a 100 Hz
- Tipo de eventos: 4

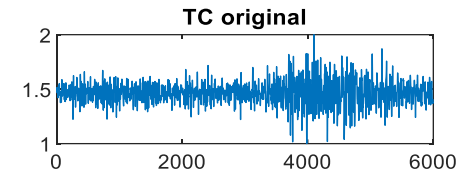
Dónde:

Tipo de Evento	Número de señales
Largo Periodo (LP)	1310
Tectónicos (TC)	1488
Tremor (TR)	490
Volcano Tectónicos (VT)	304

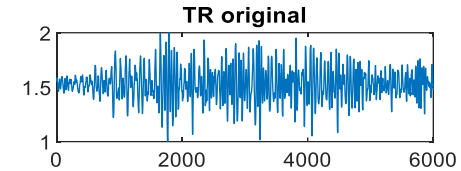
- **LP:** Asociados a la resonancia de flujos volcánicos que se desplazan a través de fracturas y grietas.



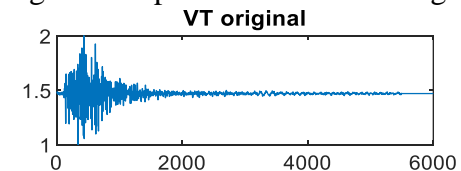
- **TC:** No se encuentra relacionado con la actividad volcánica, se produce por la dinámica de las fallas geológicas.



- **TR:** Origen a procesos como la liberación de gases, resonancia de cavidades y cambios en la presión y temperatura en sistemas hidrotermales.

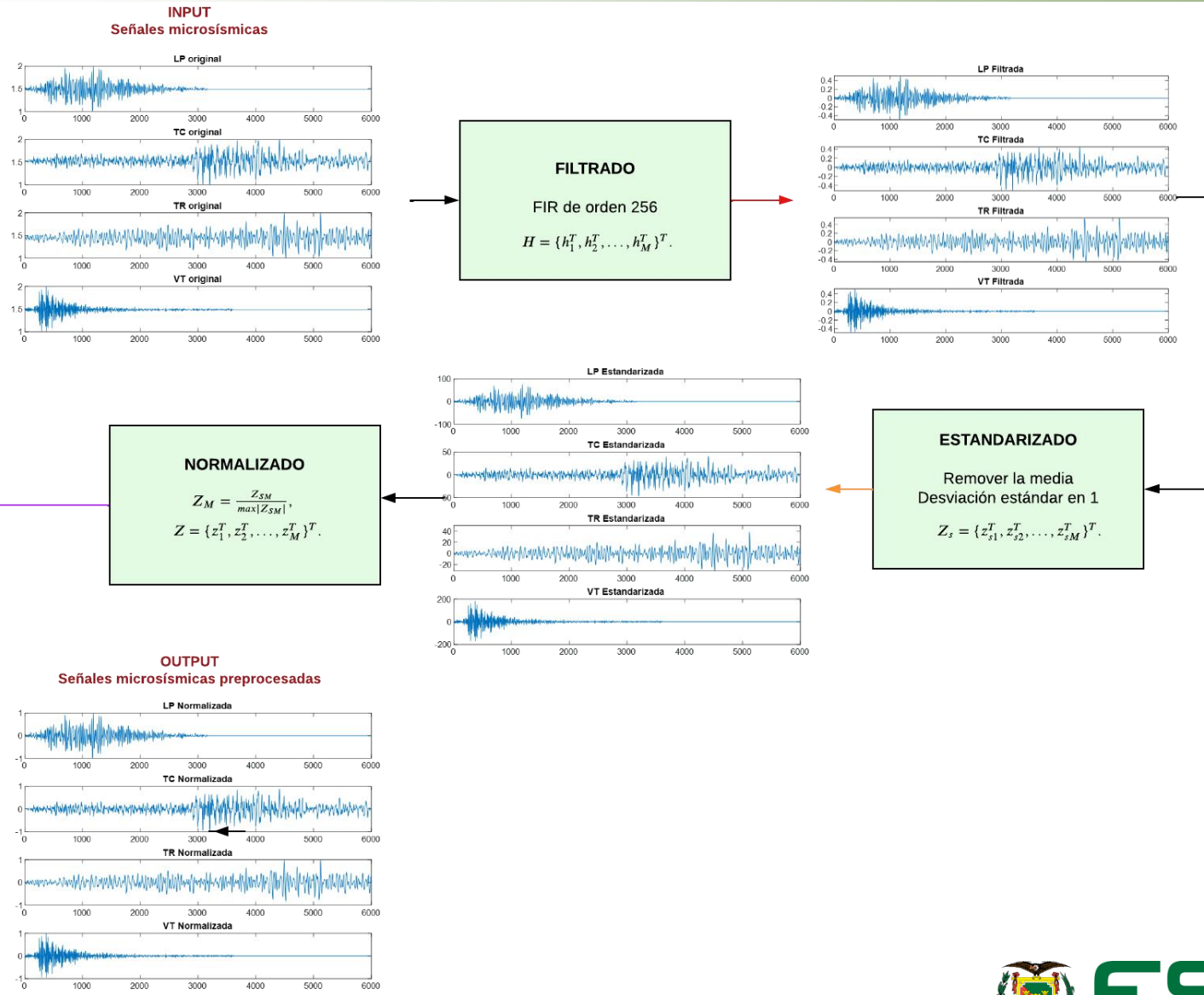


- **VT:** Resultado de las fracturas de las paredes volcánicas debido a la presión generada por el ascenso del magma.

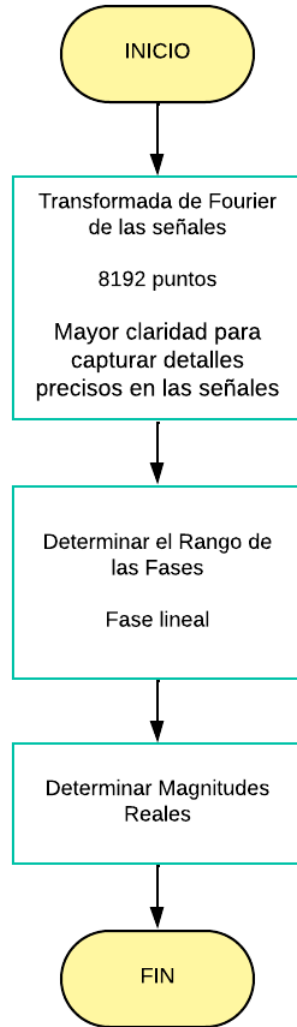




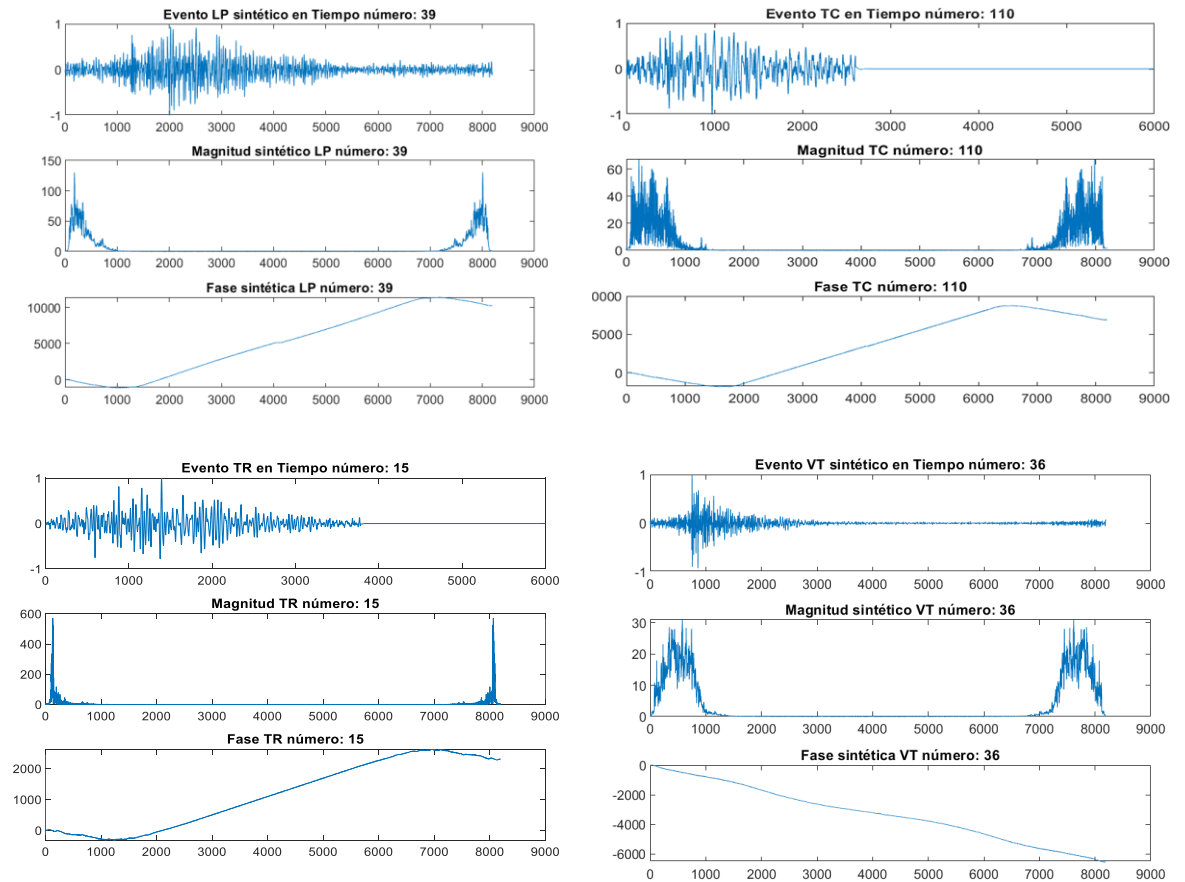
# Preprocesamiento



# Transformada de Fourier y su Inversa



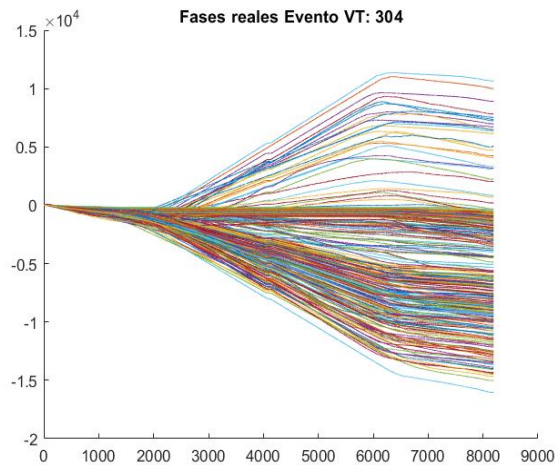
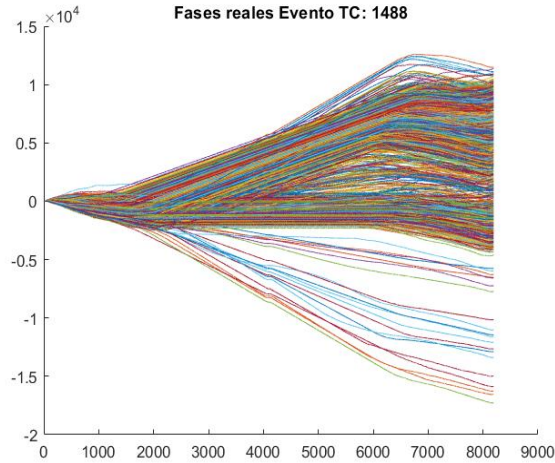
## Descomposición en Magnitud y Fase obtenida al realizar la Transformada de Fourier.



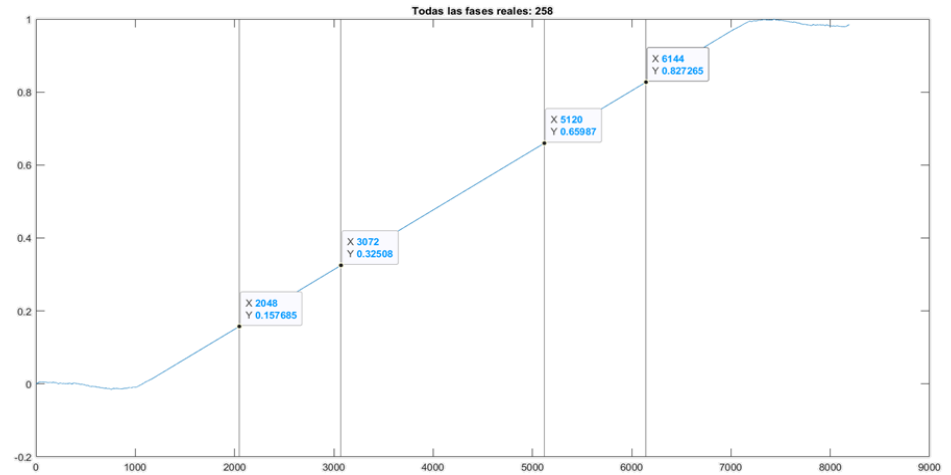
# Determinar el rango de las fases

- Fase contiene la forma de la envolvente.

## Concentración de todas las fases para cada tipo de evento



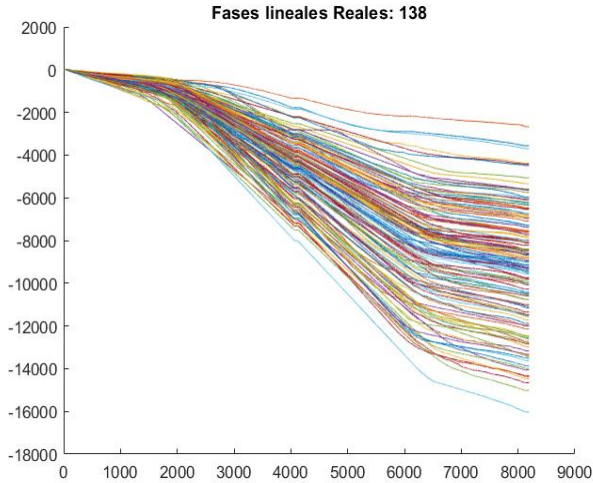
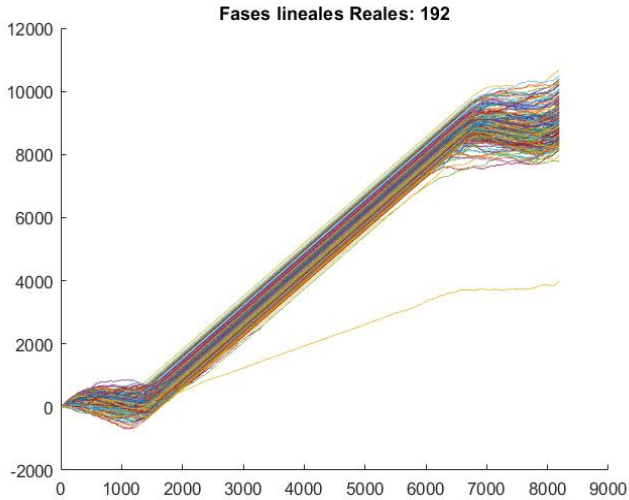
## Modelado de la "Fase Lineal"



Posición	Amplitud LP	Amplitud TC	Amplitud TR	Amplitud VT
2048	-0.13	0.13	0.16	-0.14
3072	-0.25	0.32	0.33	-0.32
5120	-0.75	0.68	0.66	-0.68
6144	-0.88	0.86	0.83	-0.86

# Determinar el rango de las fases

## Rango de fases alrededor del 20% de intervalo de confianza



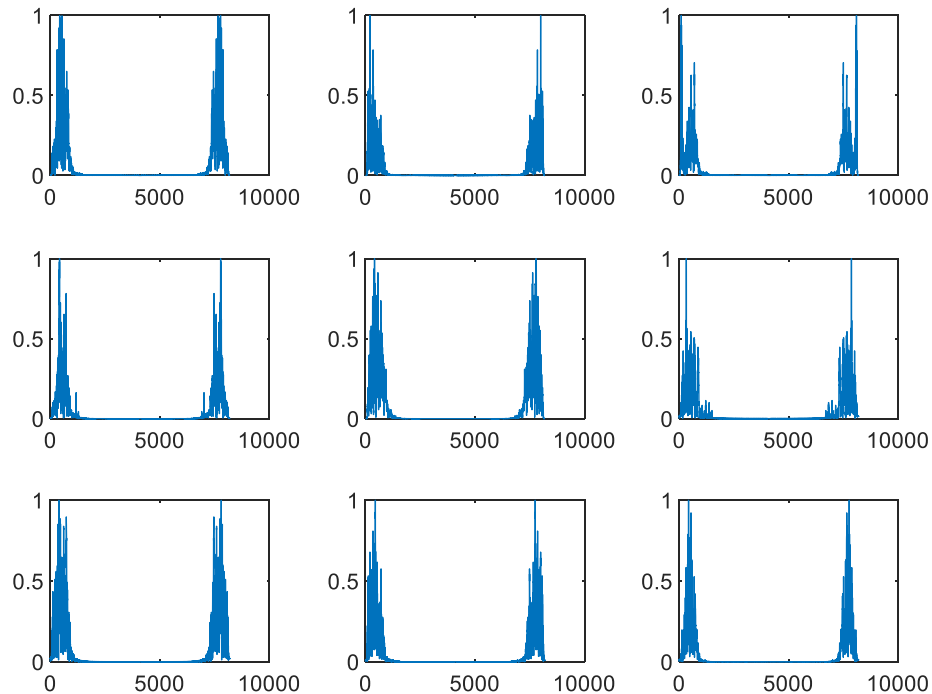
## Cantidad de “Fases ideales”

Tipo de evento	Cantidad de Fases ideales
LP	157
TC	192
TR	106
VT	138



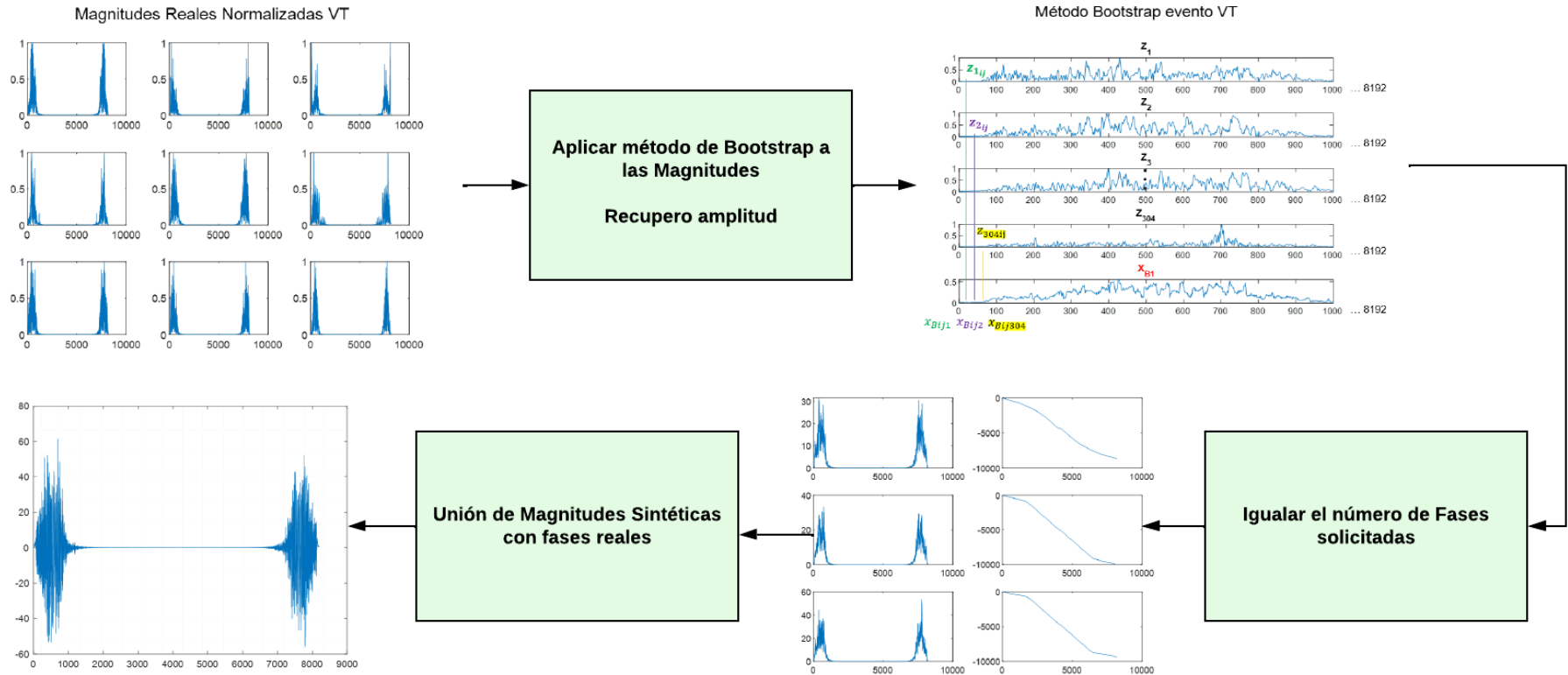
# Normalización

Magnitudes Reales Normalizadas VT



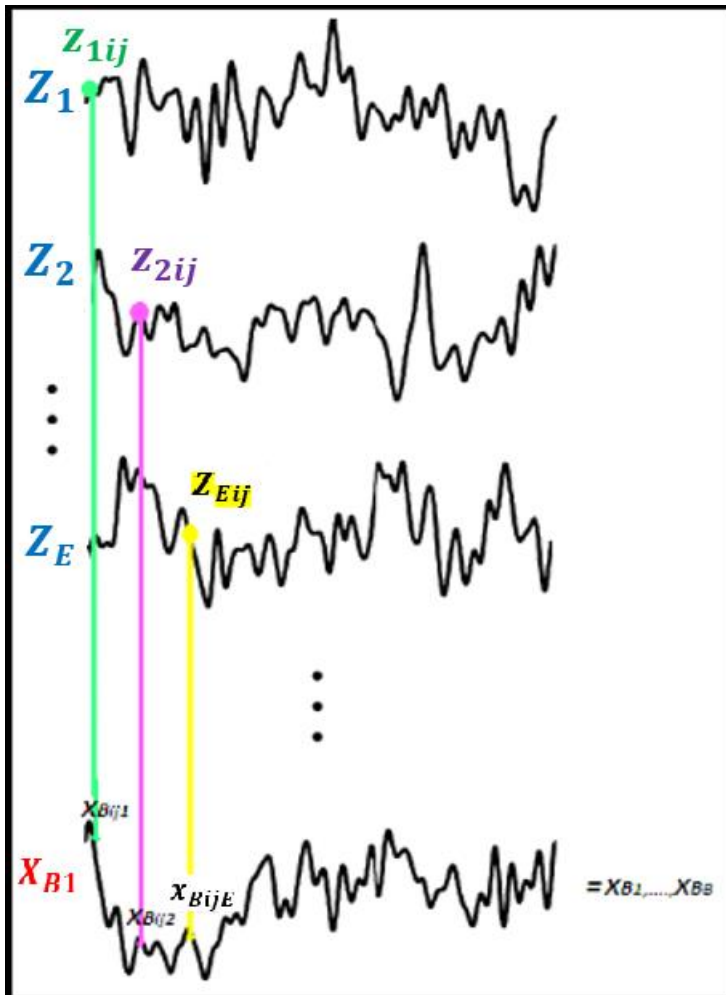
La normalización de las magnitudes garantiza una comparación equitativa entre los datos y facilita un proceso coherente y confiable en la generación de las señales sintéticas.

# Generación de señales sintéticas





# Bootstrap



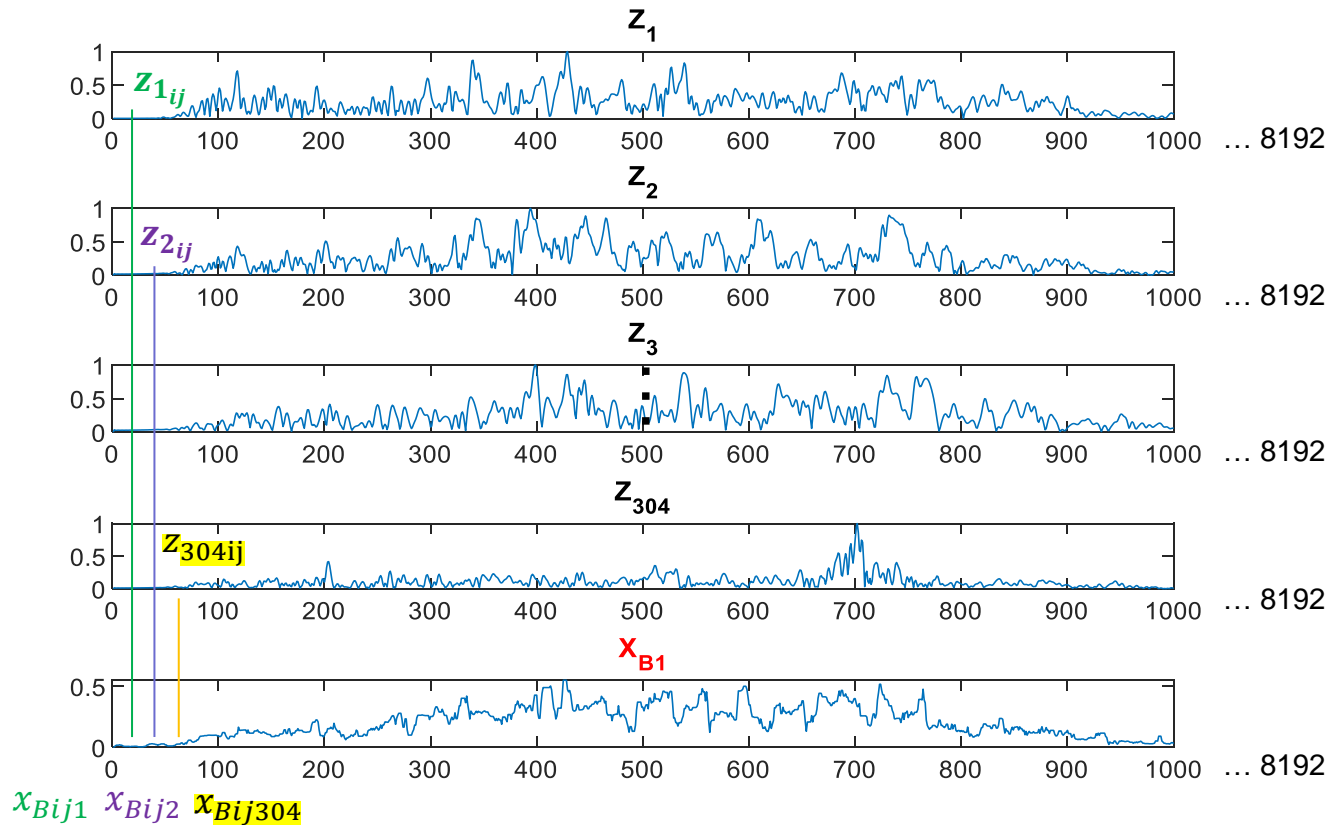
Se parte de una magnitud perteneciente a un evento  $Z_1$  y se toma un punto  $z_{1ij}$  para conformar el punto  $x_{Bij1}$  de la señal  $X_{B1}$  correspondiente a la magnitud sintética, se toma otro punto  $z_{Eij}$  que pertenece al evento  $Z_E$ , donde  $E$ , es la cantidad de señales originales de cada tipo de evento microsísmico.

El cual forma otro punto  $x_{BijE}$  de señal sintética  $X_{B1}$ , este proceso se repite de forma aleatoria desde las magnitudes  $Z_1$  hasta  $Z_E$ , el proceso toma puntos en orden hasta completar la primera réplica o magnitud sintética.

$$X_B = \{x_{B1}^T, x_{B2}^T, \dots, x_{BB}^T\}^T.$$

# Bootstrap

## Método Bootstrap evento VT



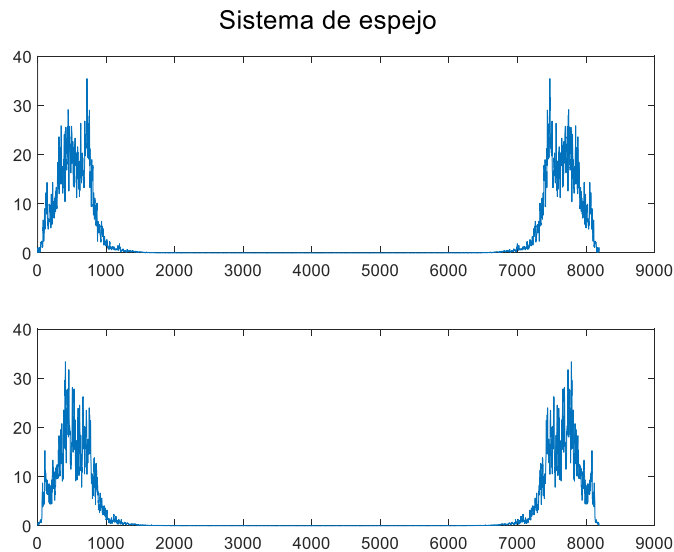
$$X_{B1} = \{x_{Bij1}, x_{Bij2}, \dots, x_{BijN}\}.$$

# Bootstrap

- Parámetros mínimos de Bootstrap

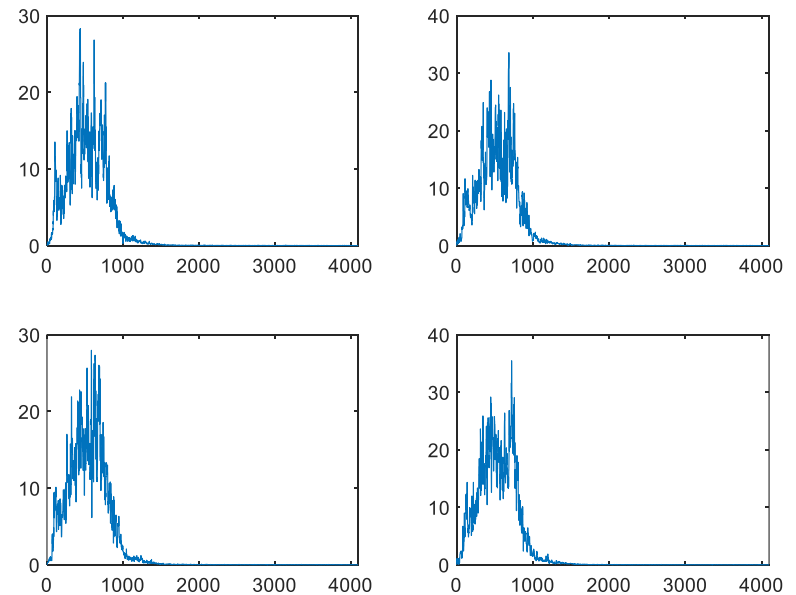
Variable	Valor
Cantidad de señales sintéticas (B)	10000
Tamaño de las muestras sintéticas (N)	8192

- Sistema de espejo a los 4096 puntos

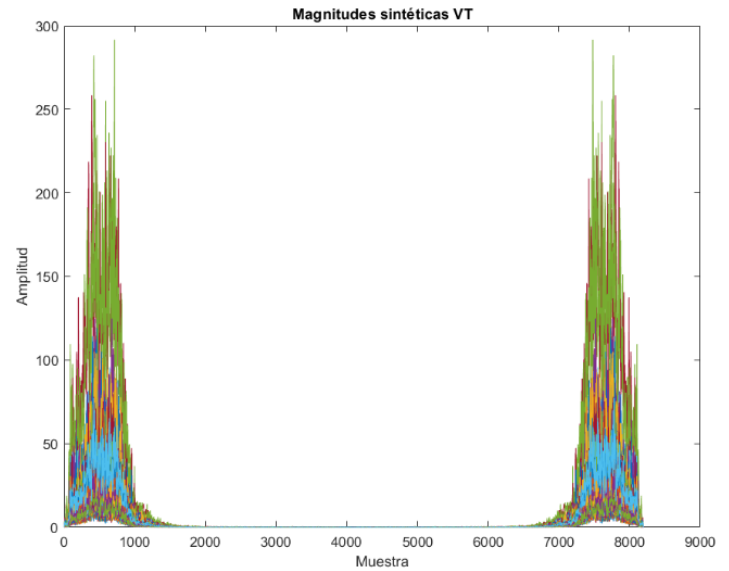
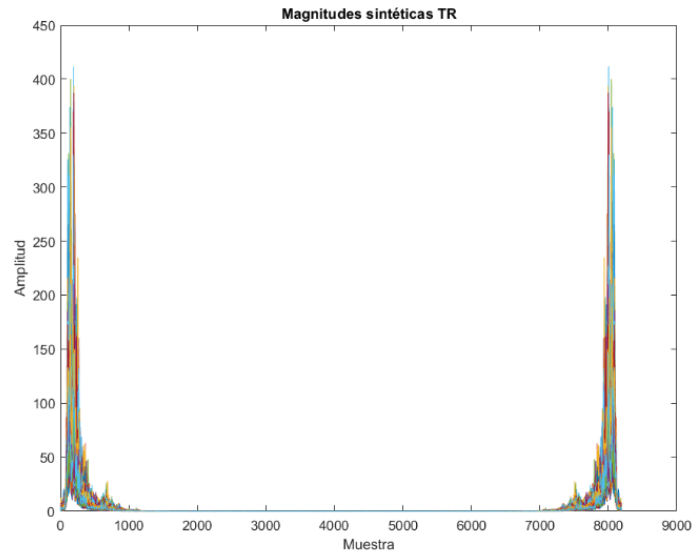
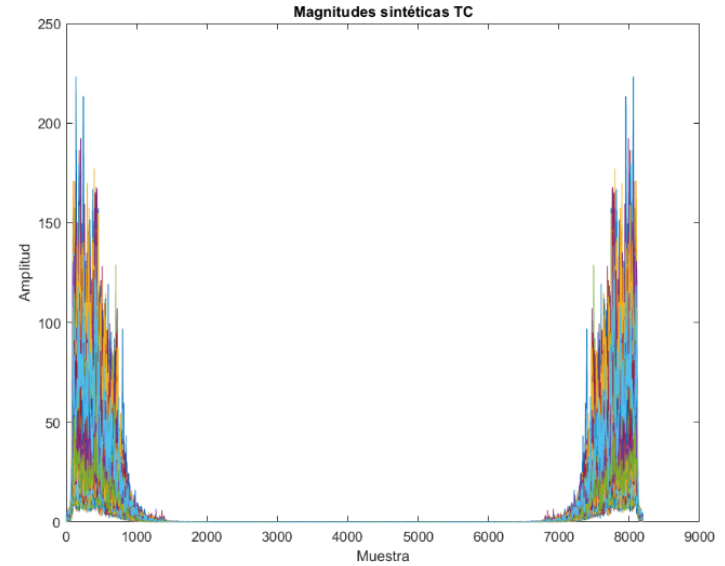
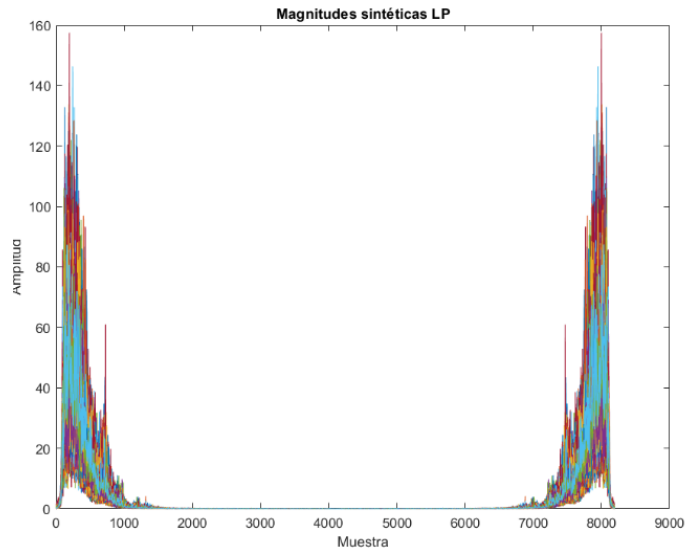


- Se toma los primeros 4096 puntos
- Amplifico la Magnitud sintética

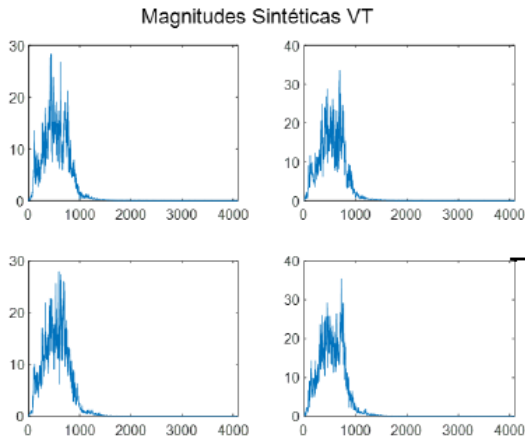
Magnitudes Sintéticas VT



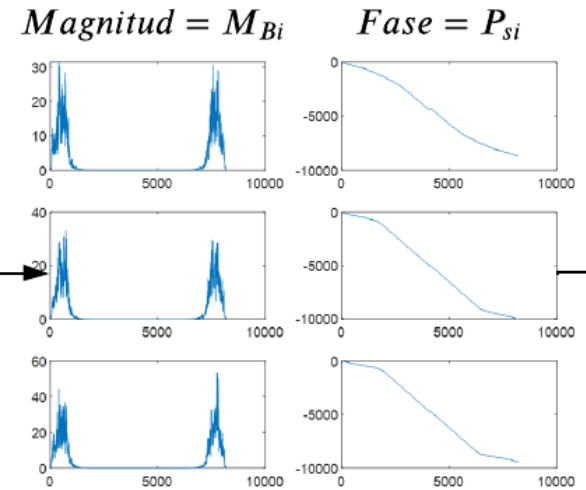
# Bootstrap – Magnitudes Sintéticas



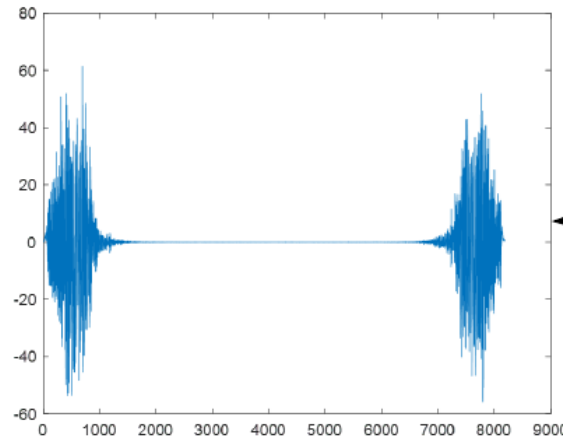
# Unión de magnitudes sintéticas con fases lineales



Igualamos las Fases al número  $B$  de señales sintéticas requeridas



$$X_{Bi} = M_{Bi} e^{jP_{si}}$$

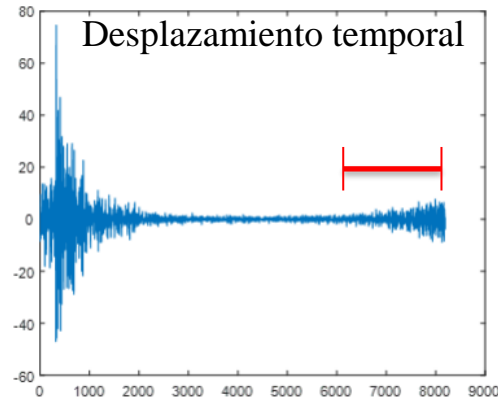


Unimos las Magnitudes sintéticas con las Fases lineales aleatorias

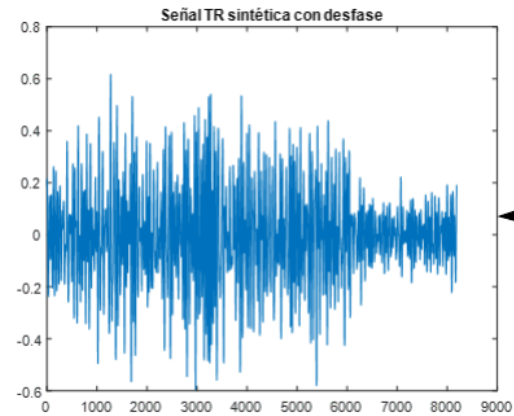
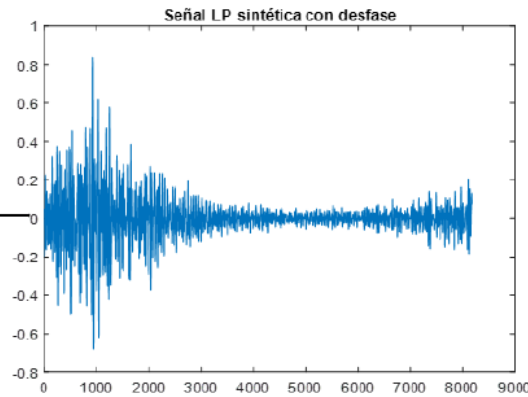
Representación de número complejo en términos de su Magnitud y Fase

# Reconstrucción de la señal sintética

Transformada Inversa de Fourier



Este fenómeno deriva de la variabilidad inherente a la selección aleatoria de fases ideales



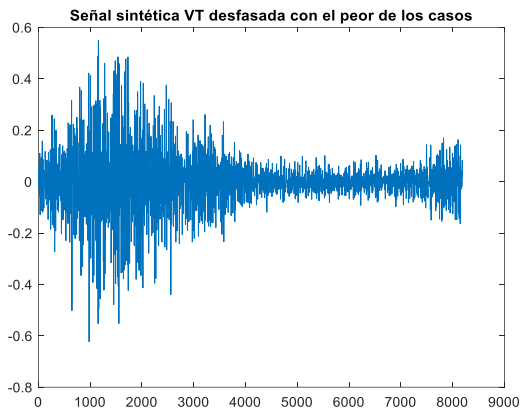
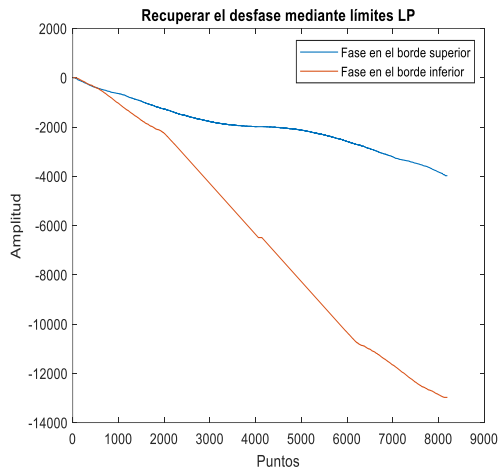
Recuperación del desfase

Límites del rango  
Media de las fases

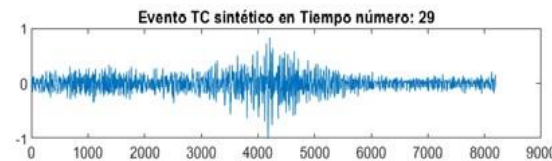
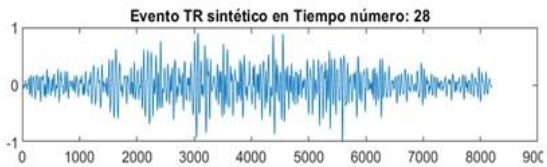
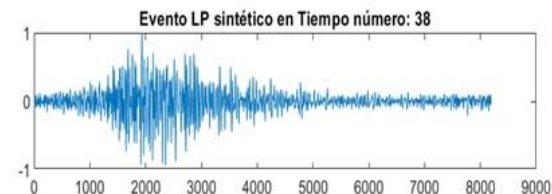
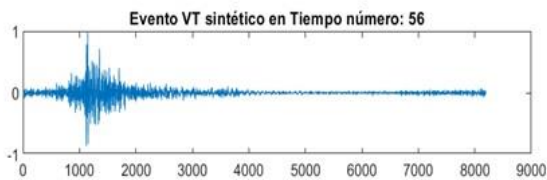
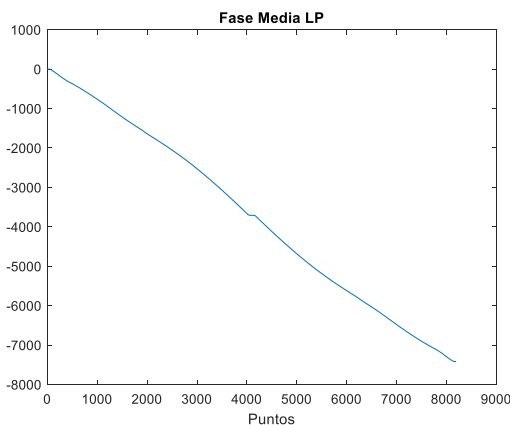


# 3. Pruebas y resultados – Recuperación desfase

- Límites del rango (Peor de los casos)

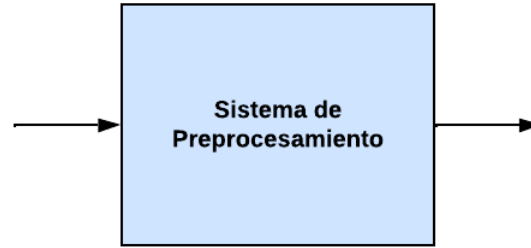
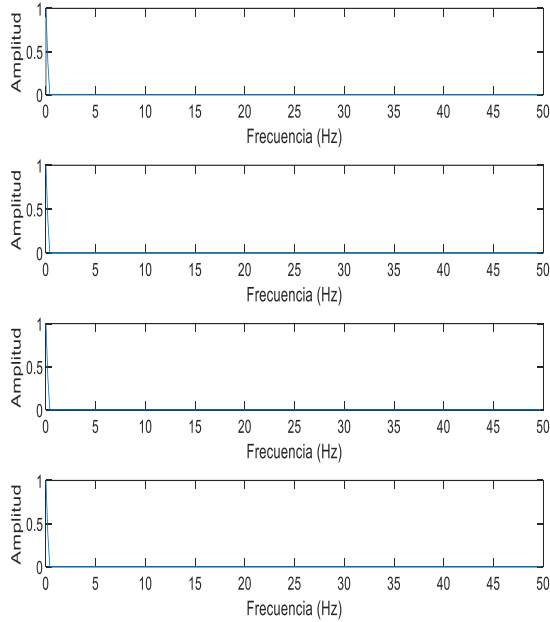


- Media de las fases

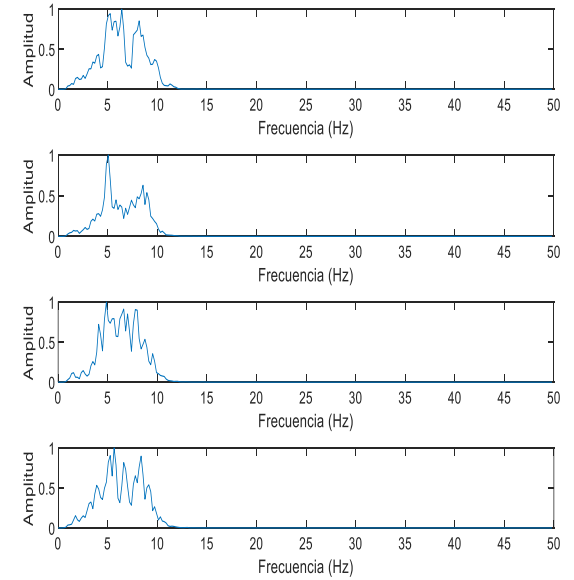


# Preprocesamiento

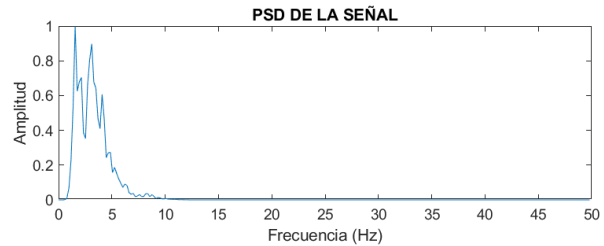
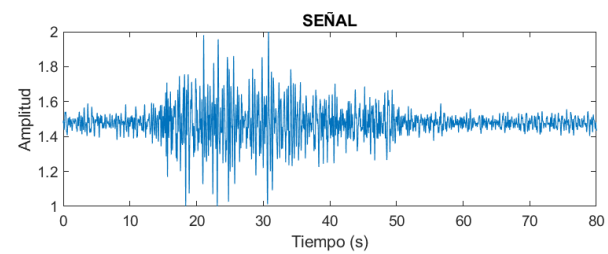
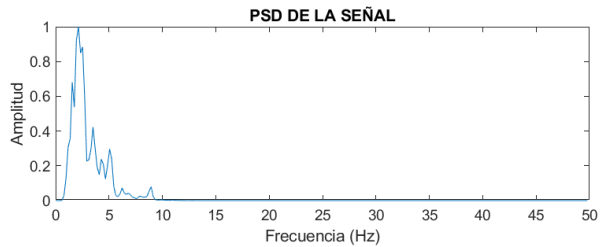
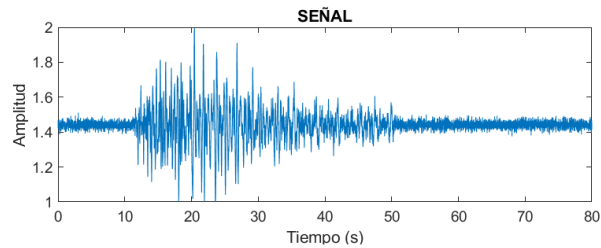
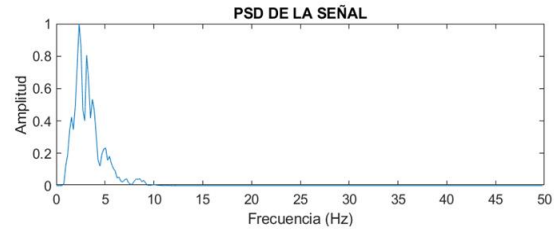
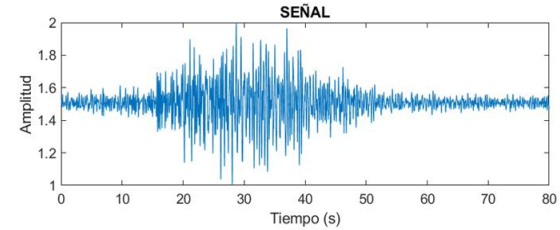
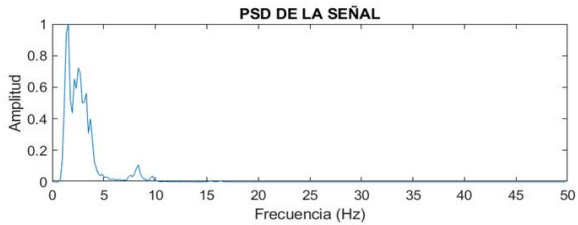
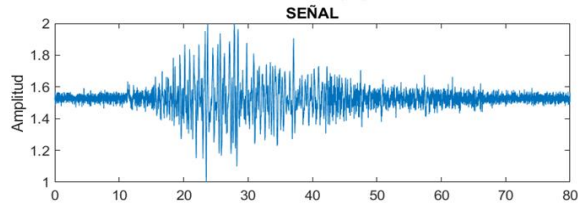
PDS de las señales sin preprocesamiento



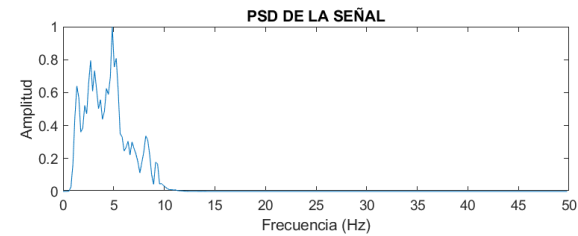
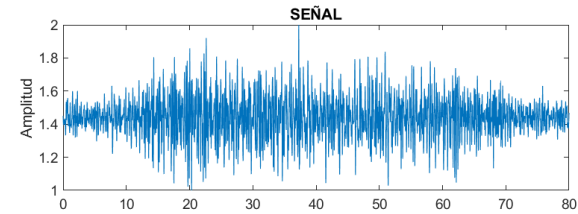
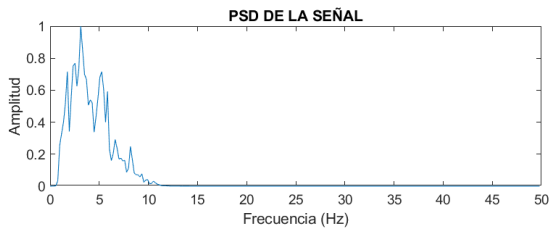
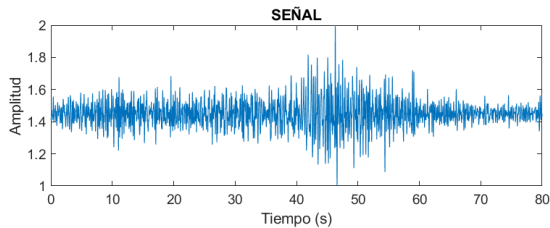
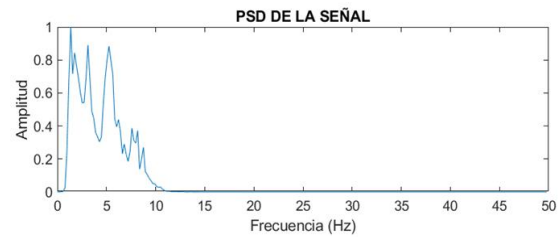
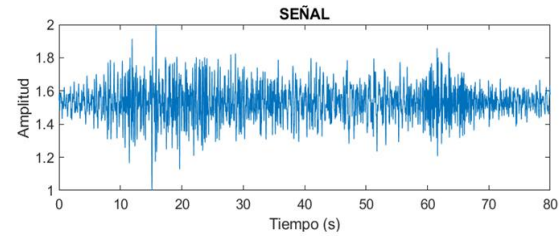
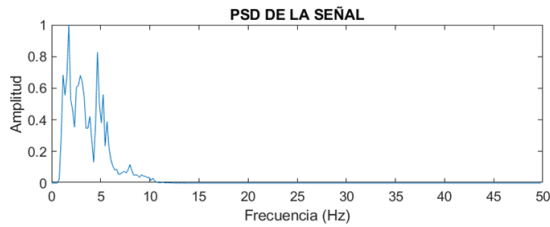
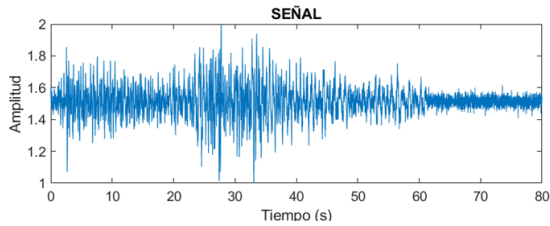
PDS de las señales preprocesadas



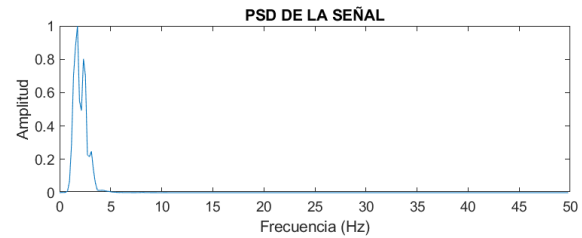
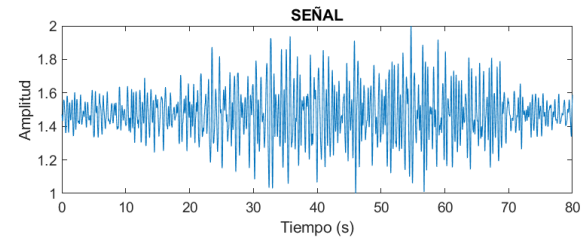
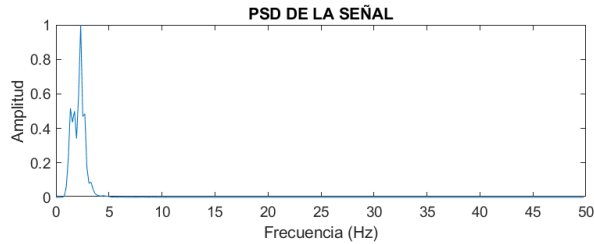
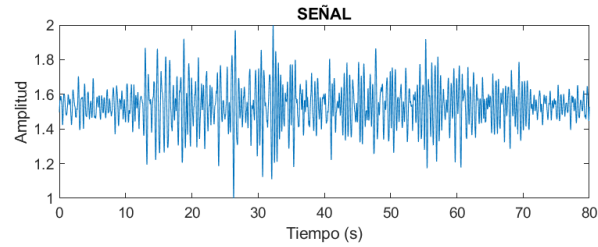
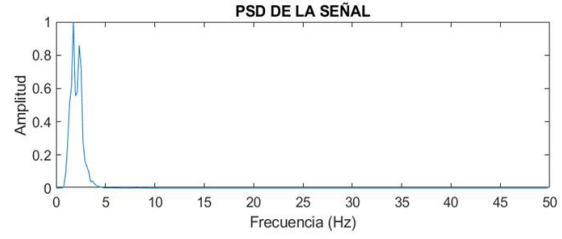
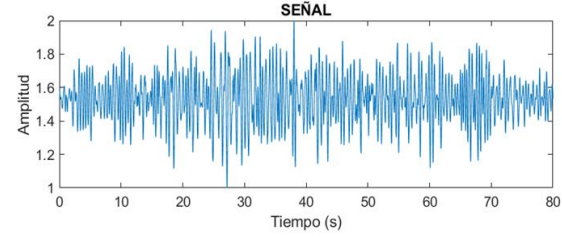
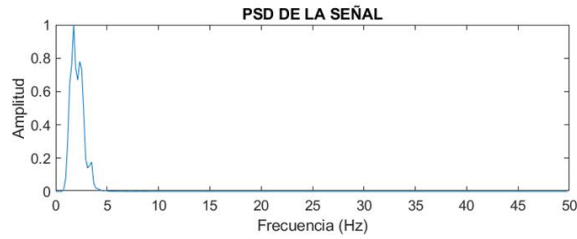
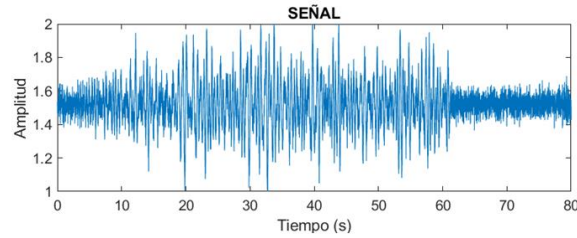
# Señales sintéticas LP



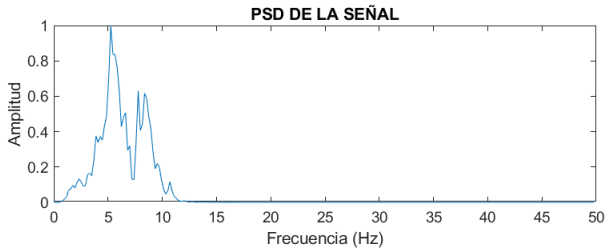
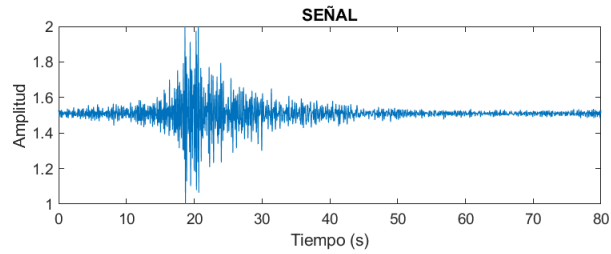
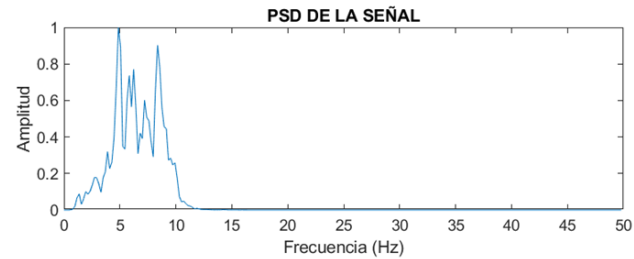
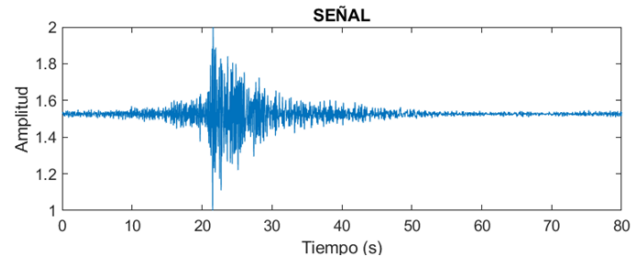
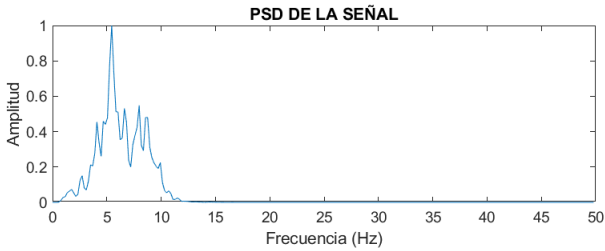
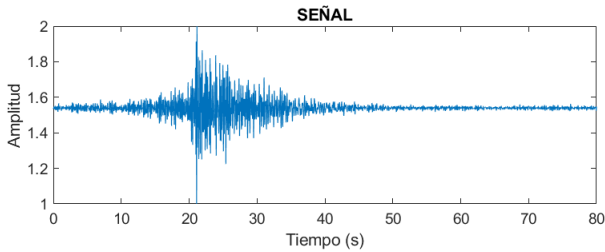
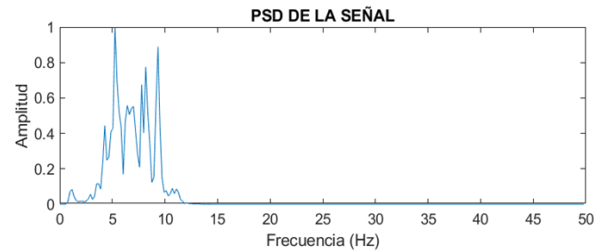
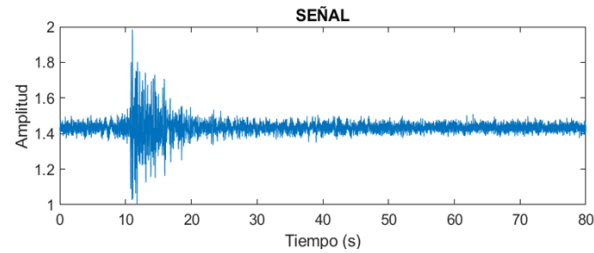
# Señales sintéticas TC



# Señales sintéticas TR



# Señales sintéticas VT





# Evaluación de desempeño por expertos del IGEPN

## Señales Naturales y Sintéticas Microsísmicas

hfcaisaluisa@espe.edu.ec [Cambiar de cuenta](#)



\* Indica que la pregunta es obligatoria

### Parte 1

A continuación se presentan señales de microsismos volcánicos registrados en el volcán Llaima ubicado en la región de La Araucanía, en Chile. Algunos de estos son naturales (reales) y otros son sintéticos (generados mediante el método de Bootstrap). Escoger bajo su criterio si la señal es natural o sintética.

Tiempo aproximado: 10 Minutos

A continuación se presentarán señales microsísmicas de eventos LP, TC, TR Y VT, tanto naturales como sintéticos.

LP: Long Period (Largo Período)

VT: Volcano-Tectonic (Volcánico-Tectónico)

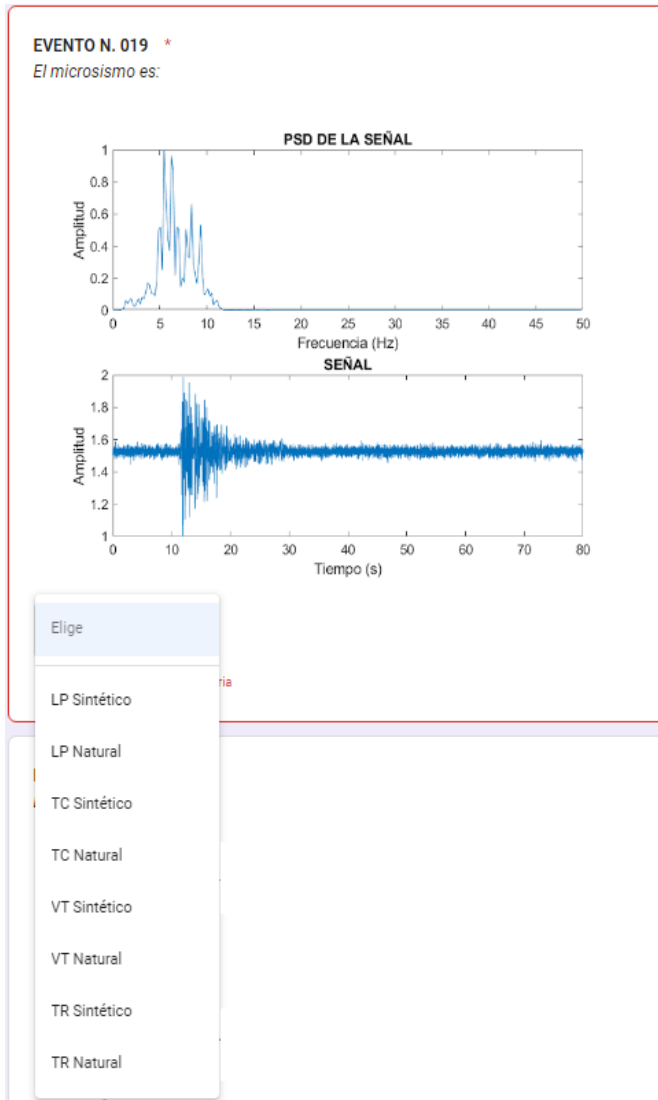
TR: Tremor (Tremor)

TC: Tectonic (Tectónico)

1. EXPERTOS IGEPN: El 19 de junio de 2023, se implementó un cuestionario, que contenía un conjunto de 40 señales. Estas señales incluían tanto señales sintéticas como señales reales.

El propósito de este proceso fue someter estas señales a la evaluación de tres expertos del IGEPN. El objetivo principal era determinar la **calidad** de las señales sintéticas y si eran **capaces de pasar como señales auténticas** ante la evaluación de estos expertos.

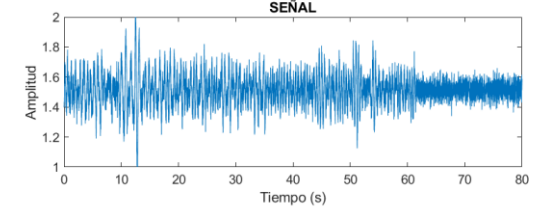
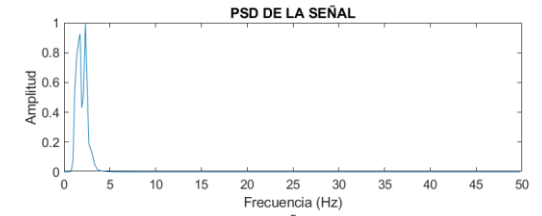
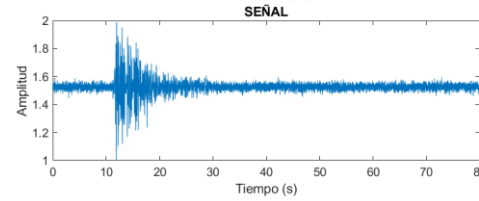
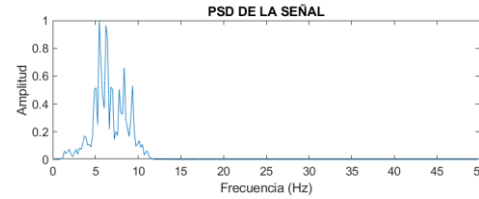
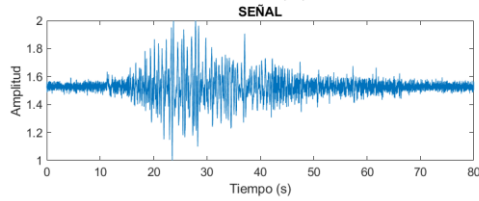
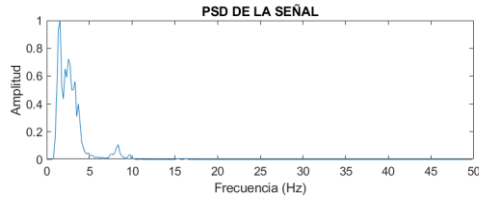
# Evaluación de desempeño por expertos del IGEPN



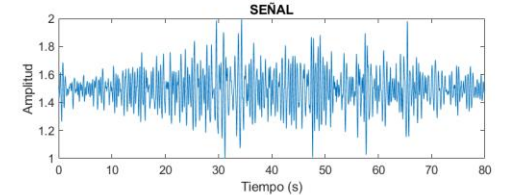
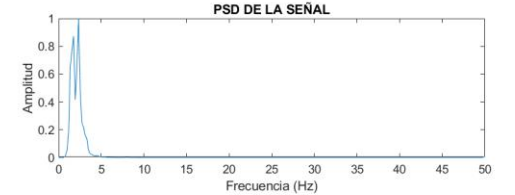
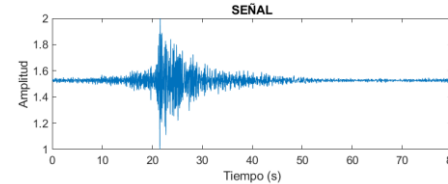
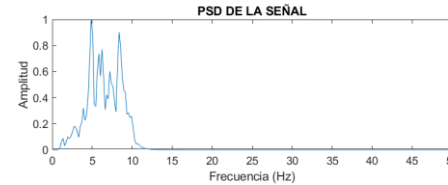
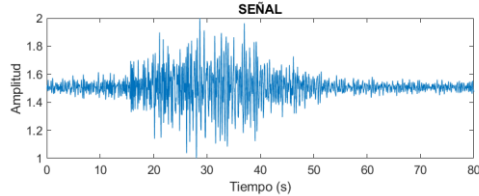
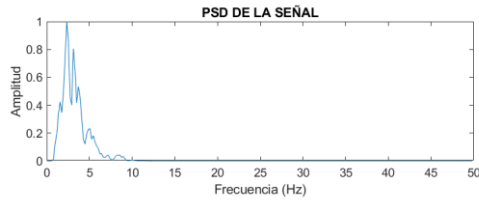
Tipo de evento	Cantidad sintéticos	Cantidad reales
LP	6	4
TC	4	6
TR	6	4
VT	7	3

# Evaluación de desempeño por expertos del IGEPN

Señales  
originales



Señales  
sintéticas



# Evaluación de desempeño por expertos del IGEPN

Número	Tipo de evento	Respuesta		
		Sintético (%)	Real (%)	Evento diferente (%)
1	VT Real	100.00	0.00	0.00
2	TC Real	0.00	33.33	66.70
3	LP Sintética	0.00	100.00	0.00
4	TR Real	100.00	0.00	0.00
5	LP Sintética	33.33	66.70	0.00
6	TC Real	0.00	0.00	100.00
7	TR Sintética	33.33	33.33	33.33
8	VT Sintética	0.00	100.00	0.00
9	TR Real	100.00	0.00	0.00
10	VT Sintética	66.70	33.33	0.00
11	LP Real	33.30	66.70	0.00
12	TC Sintética	0.00	0.00	100.00
13	TR Real	100.00	0.00	0.00
14	LP Sintética	0.00	100.00	0.00
15	VT Sintética	33.30	66.70	0.00
16	LP Real	66.70	33.30	0.00
17	TC Real	0.00	0.00	100.00
18	TR Sintética	0.00	100.00	0.00
19	VT Real	33.30	66.70	0.00
20	LP Sintética	0.00	100.00	0.00
21	TR Sintética	66.70	33.30	0.00
22	LP Real	33.30	66.70	0.00
23	VT Sintética	33.30	66.70	0.00
24	TC Sintética	0.00	0.00	100.00
25	TR Real	66.70	33.30	0.00
26	LP Sintética	0.00	100.00	0.00
27	TC Real	0.00	33.30	66.70
28	VT Real	66.70	33.30	0.00
29	TR Sintética	66.70	33.30	0.00
30	TC Real	0.00	33.30	66.70
31	LP Sintética	0.00	100.00	0.00
32	VT Sintética	33.30	66.70	0.00
33	TR Sintética	0.00	100.00	0.00
34	TC Sintética	0.00	0.00	100.00
35	VT Sintética	0.00	100.00	0.00
36	TC Real	0.00	0.00	100.00
37	VT Sintética	33.30	66.70	0.00
38	LP Real	100.00	0.00	0.00
39	TC Sintética	0.00	0.00	100.00
40	TR Sintética	66.70	33.30	0.00

Número de evento	Tipo Evento	Porcentaje de engaño (%)
3	LP	100.00
5	LP	66.70
7	TR	33.30
8	VT	100.00
10	VT	33.30
12	TC	0.00
14	LP	100.00
15	VT	66.70
18	TR	100.00
20	LP	100.00
21	TR	33.30
23	VT	66.70
24	TC	0.00
26	LP	100.00
29	TR	33.30
31	LP	100.00
32	VT	66.70
33	TR	100.00
34	TC	0.00
35	VT	100.00
37	VT	66.70
39	TC	0.00
40	TR	33.30
<b>Promedio ponderado</b>		<b>60.87%</b>

Tipo de evento	Porcentaje total de engaño (%)
LP	94.45
TC	0.00
TR	55.53
VT	71.44



# Evaluación de desempeño por expertos del IGEPN

Número de evento	Tipo Evento sintético	Evento con el que se confunde
3	LP	-
5	LP	LP sintético (33.30%)
7	TR	TR sintético (33.30%), LP real (33.30%)
8	VT	-
10	VT	VT sintético (66.70%)
12	TC	TR real (100%)
14	LP	-
15	VT	VT sintético (33.30%)
18	TR	-
20	LP	-
21	TR	TR sintético (66.70%)
23	VT	VT sintético (33.30%)
24	TC	TR real (100%)
26	LP	-
29	TR	TR sintético (66.70%)
31	LP	-
32	VT	VT sintético (33.30%)
33	TR	-
34	TC	TR real (33.30%), TR sintético (33.30%), LP sintético (33.30%)
35	VT	-
37	VT	VT sintético (33.30%)
39	TC	TR natural (33.30%), TR sintético (66.70%)
40	TR	TR sintético (66.70%)

Tipo de señal	Evento que causa confusión			
	TR real (%)	TR sintético (%)	LP sintético (%)	LP real (%)
TC	66.65	25.00	8.33	0.00
TR	0.00	0.00	0.00	5.55

En una tonalidad azul, se muestran principalmente las cuatro señales sintéticas de tipo TC, las cuales fueron confundidas en un 66.65% con señales reales de tipo TR, en un 25% con señales sintéticas de tipo TR y en un 8.33% con señales sintéticas de tipo LP. Existe un caso particular, destacado en color verde, se registra un suceso único; una señal TR fue confundida en un 5.55% con una señal real de tipo LP.

# Resultados Clasificador

## Métricas de evaluación

$$A (\%) = \frac{N_C}{N_T} \times 100,$$

$$P (\%) = \frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FP}} \times 100,$$

$$R (\%) = \frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FN}} \times 100,$$

$$S (\%) = \frac{N_{TN}}{N_{TN} + N_{FP}} \times 100,$$

$$BER = 1 - \frac{R + S}{200}$$

- Exactitud (A, del inglés *Accuracy*)
- Precisión (P, del inglés *Precision*)
- Sensibilidad (R, del inglés *Recall*)
- Especificidad (S, del inglés *Specificity*)
- Tasa de Error de Bit (BER, del inglés *Bit Error Rate*)

Dónde :

-  $N_C$  corresponde al número de eventos correctamente clasificados

-  $N_T$  representa al total de eventos utilizados para entrenar el clasificador

-  $N_{TP}$  corresponde a la cantidad de verdaderos positivos

-  $N_{FN}$  a la cantidad de falsos negativos

-  $N_{TN}$  corresponde a la cantidad de verdaderos negativos

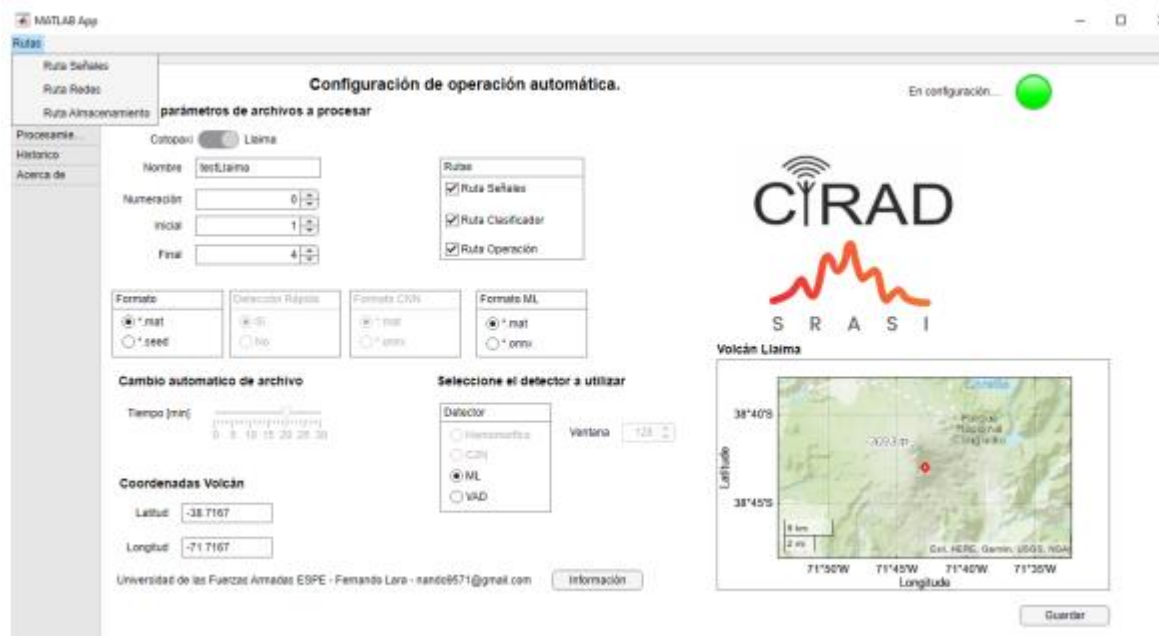
-  $N_{FP}$  corresponde a la cantidad de falsos positivos





# Clasificador

OE3: Creación de algoritmos inteligentes basados en la teoría de Machine Learning tradicional para la clasificación de los eventos sísmicos en el volcán Llaima (multiclase).



Clasificador basado en tres algoritmos de Machine Learning

- Árboles de Decisión (DT)
- k-Nearest Neighbors ( $k$ -NN)
- Máquinas de Vectores de Soporte (SVM)
- Algoritmo de votación

# Clasificador

## Proceso:

- Antes de ingresar al clasificador, las señales fueron filtradas.
- Se extrajeron 84 características entre:
  - ✓ 13 tiempo
  - ✓ 21 frecuencia
  - ✓ 50 escala
- El clasificador emplea 3 modelos de Machine Learning y algoritmo de votación.
- Se utilizó DT con tan solo 6 características de las 84, debido que DT tiene su propio selector de características.
- $k$ -NN y SVM emplea las 29 características, las cuales fueron adquiridas mediante el método de envoltura hacia adelante.
- Después estos modelos fueron ingresados al algoritmo de votación y se determina una  $A(\%) = 99,90$  y  $BER = 0,01$

# Clasificador

Utilizando una base de datos de **10000** señales sintéticas se obtuvo los siguientes resultados:

## DT

Confusion Matrix					
LP	1556 15.6%	51 0.5%	0 0.0%	0 0.0%	96.8% 3.2%
TC	924 9.2%	2449 24.5%	202 2.0%	0 0.0%	68.5% 31.5%
TR	17 0.2%	0 0.0%	2298 23.0%	0 0.0%	99.3% 0.7%
VT	3 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	2500 25.0%	99.9% 0.1%
	62.2% 37.8%	98.0% 2.0%	91.9% 8.1%	100% 0.0%	88.0% 12.0%
	LP	TC	TR	VT	

## k-NN

Confusion Matrix					
LP	2499 25.0%	4 0.0%	1 0.0%	3 0.0%	99.7% 0.3%
TC	0 0.0%	2494 24.9%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
TR	0 0.0%	2 0.0%	2499 25.0%	0 0.0%	99.9% 0.1%
VT	1 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	2497 25.0%	100.0% 0.0%
	100.0% 0.0%	99.8% 0.2%	100.0% 0.0%	99.9% 0.1%	99.9% 0.1%
	LP	TC	TR	VT	

## SVM

Confusion Matrix					
LP	2500 25.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
TC	0 0.0%	2487 24.9%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
TR	0 0.0%	0 0.0%	2500 25.0%	0 0.0%	100% 0.0%
VT	0 0.0%	13 0.1%	0 0.0%	2500 25.0%	99.5% 0.5%
	100% 0.0%	99.5% 0.5%	100% 0.0%	100% 0.0%	99.9% 0.1%
	LP	TC	TR	VT	

## Sistema de votación

Eventos	A (%)	P (%)	S (%)	R (%)	BER
LP	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
TC	100.00	100.00	100.00	99.00	0.00
TR	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
VT	100.00	99.00	100.00	100.00	0.00
General	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00

Sistema de votación:

$$A(\%) = 99.90$$



# Aplicativo Computacional

MATLAB App

INICIO GENERADOR



ESPE  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CIRAD

S R A S I

WCOM  
Energy

APLICACIÓN DE GENERACIÓN DE SEÑALES MICRO SíSMICAS



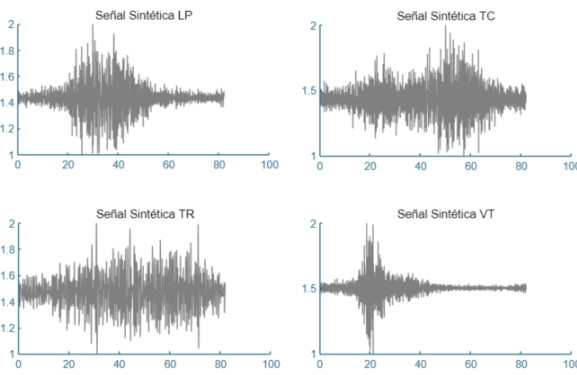
Autor: Henry Fabricio Caisaluisa Hurtado

Director: Dr. Román Lara

MATLAB App

INICIO GENERADOR

## SISTEMA GENERADOR DE SEÑALES SINTÉTICAS



Señal Sintética LP

Señal Sintética TC


Señal Sintética TR

Señal Sintética VT

Ingresar los parámetros

Técnica generadora **Bootstrap**

Número de réplicas totales LP, TC, TR y VT

Ingresar cantidad  

Proceso completado exitosamente

**DESCARGAR**

Variables - Data\_Ulaima

Data\_Ulaima

10000x11 table

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Network	Station	SampleRate	Component	Year	Month	Type	Duration	StartPoint	EndPoint	Data
1	"Chile"	"LAV"	100	"SHZ"	"2010-2016"		"LP"	81.9200	1	8192	1x8192 dou...
2	"Chile"	"LAV"	100	"SHZ"	"2010-2016"		"LP"	81.9200	1	8192	1x8192 dou...
3	"Chile"	"LAV"	100	"SHZ"	"2010-2016"		"LP"	81.9200	1	8192	1x8192 dou...
4	"Chile"	"LAV"	100	"SHZ"	"2010-2016"		"LP"	81.9200	1	8192	1x8192 dou...
5	"Chile"	"LAV"	100	"SHZ"	"2010-2016"		"LP"	81.9200	1	8192	1x8192 dou...
6	"Chile"	"LAV"	100	"SHZ"	"2010-2016"		"LP"	81.9200	1	8192	1x8192 dou...
7	"Chile"	"LAV"	100	"SHZ"	"2010-2016"		"LP"	81.9200	1	8192	1x8192 dou...
8	"Chile"	"LAV"	100	"SHZ"	"2010-2016"		"LP"	81.9200	1	8192	1x8192 dou...
9	"Chile"	"LAV"	100	"SHZ"	"2010-2016"		"LP"	81.9200	1	8192	1x8192 dou...
10	"Chile"	"LAV"	100	"SHZ"	"2010-2016"		"LP"	81.9200	1	8192	1x8192 dou...
11	"Chile"	"LAV"	100	"SHZ"	"2010-2016"		"LP"	81.9200	1	8192	1x8192 dou...



## 4. Conclusiones

- Mediante la utilización del método de remuestreo **Bootstrap** en conjunto con la **Transformada de Fourier**, se ha logrado la generación de señales sintéticas que representan eventos microsísmicos del volcán Llaima, estas señales sintéticas **mantienen sus características distintivas** tanto en el dominio temporal como en el de frecuencia, en concordancia con las señales originales.
- Se optó por seleccionar **fases reales** que se encontraban dentro de un margen **cercano a una fase ideal**. Esta fase ideal, al mantener una naturaleza lineal, exhibe una **menor presencia de ruido**, lo que resulta en una preservación más efectiva de la información de la envolvente. Como consecuencia, se logra **capturar de manera más precisa la forma distintiva de la señal** en función del tiempo al momento de generar las señales sintéticas



## 4. Conclusiones

- El **desfase** que emerge en la señal sintética en el plano temporal **es resultado** del proceso de transformación de la **IFFT**. Este fenómeno deriva de la **variabilidad inherente** a la selección aleatoria de fases ideales. Para rectificar esta situación, se lleva a cabo un **proceso de corrección** mediante el cálculo de la **media de las fases** ubicadas en un rango específico y se **revierte el desplazamiento originado**. La señal recupera su forma de manera satisfactoria debido a que el cálculo de la media toma en consideración los desfases individuales de cada señal.

## 4. Conclusiones

- El análisis de los resultados obtenidos de la encuesta aplicada a los **expertos del IGEPN** revela hallazgos **satisfactorios**. En concreto, los resultados indican que fue posible **engañar a los expertos** en un **94.45%** de los casos con las señales sintéticas LP, en un **55.53%** de los casos con las señales TR y en un **71.44%** de los casos con las señales sintéticas VT. Cabe destacar que las señales **TC no presentaron ningún porcentaje de engaño (0.00%)**. Esta ausencia de engaño se debe a que **los expertos catalogaron estas señales como "otras señales"**. Esta confusión podría atribuirse posiblemente a que este tipo de evento no está relacionado con la actividad volcánica y **exhibe diversas frecuencias predominantes en todo el espectro**, lo que facilita su confusión con otros tipos de eventos. Los eventos TC tienden a confundirse principalmente con eventos TR, registrando un **66.65%** de confusión con eventos TR reales y un **25%** con eventos TR sintéticos. Además, se observa una minoritaria confusión del **8.23%** con eventos LP sintéticos.



## 4. Conclusiones

- Las evaluaciones sistemáticas realizadas revelaron que el clasificador **SVM** no solo mantenía su alta tasa de exactitud del **99.90%**, sino que también presentaba un **BER cercano a 0**, esto destaca su **habilidad para minimizar los errores de clasificación de manera excepcional**. En el proceso de votación, este enfoque se destacó significativamente por encima de los otros dos clasificadores, lo que afirma su superioridad en la tarea de clasificación de eventos microsísmicos de las señales sintéticas.

## 4. Trabajos Futuros

- Nuestro grupo de investigación está interesado en realizar una **evaluación de la precisión de la técnica Bootstrap** en la generación de las señales TC con el objetivo de mejorar su respuesta en el dominio temporal y así procurar engañar a los expertos del IGEPN haciéndolas parecer **señales genuinas**.
- Existe gran interés en **explorar alternativas de remuestreo** como la **especificación de histograma, el método de Monte Carlo y el método de remuestreo de jackknife** para la creación de señales sintéticas. Estas técnicas generan nuevas muestras a partir de datos iniciales, y estima sus propiedades estadísticas al brindar un enfoque distinto en la generación de señales.



## 4. Trabajos Futuros

- El grupo de investigación está interesado en **utilizar enfoques innovadores de estimación espectral** al crear señales sintéticas, centrándose en la correlación.
- Se propone en nuestro grupo de investigación **utilizar la PSD y su transformada inversa** para generar señales sintéticas que capturen las propiedades de las señales reales en **términos de su distribución de energía**.





# GRACIAS

© Jorge Leon Cabella  
Fotografía





**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

## CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**“Creación de bases de datos sintéticas de eventos sísmicos producidos en el volcán Llaima con Bootstrap”.**

**AUTOR:** Henry Fabricio Caisaluisa Hurtado

**DIRECTOR DEL PROYECTO:** Ing. Román Alcides Lara Cueva, PhD.

07 de septiembre de 2023

VERSIÓN: 1.1

