



Universidad
Carlos III de Madrid

PROYECTO FIN DE CARRERA

Titulación: Ingeniería Industrial

Departamento: Ingeniería Mecánica

Aplicación de la Lógica Difusa para la Detección de Defectos en Rodamientos

Autor: Jesús Hernández Solano.

Tutores: Cristina Castejón Sisamón.

Índice

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS
2. SISTEMA EXPERIMENTAL EMPLEADO
3. PROCESAMIENTO DE LAS SEÑALES
4. CLASIFICACIÓN CON LÓGICA DIFUSA
5. CREACIÓN DE UNA GUI
6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES



1.1 INTRODUCCIÓN

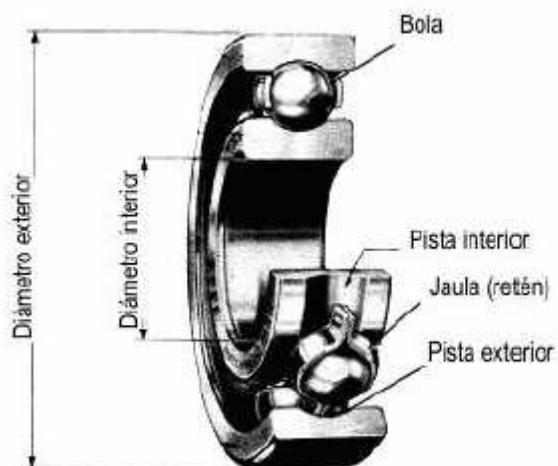
Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Tipos de mantenimiento en la industria:

- Correctivo
- Preventivo
- **Predictivo**

- Conocer el estado del elemento en tiempo real y detectar el fallo cuando éste es todavía incipiente



- Rodamientos: bajo coste y fácil sustitución → Punto clave en el Mantenimiento de máquinas





1.1 INTRODUCCIÓN

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Lógica difusa:
 - Disciplina matemática.
 - NO posible precisar el valor concreto de una variable.
 - Sólo conocer su grado de pertenencia a un conjunto.

Productos al consumidor	Sistemas	Software
Lavadoras	Ascensores y elevadores	Diagnóstico Médico
Hornos microondas	Trenes	Seguridad
Cámaras de video	transmisiones	Compresión de datos
Televisores	frenos	
Sistemas térmicos	controles de tráfico	
Traductores	Máquinas mecánicas	





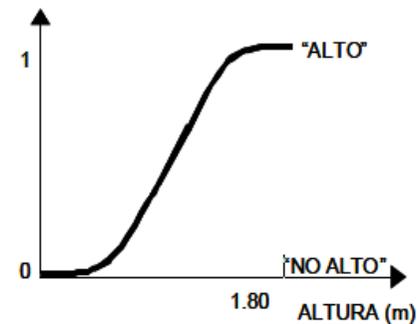
1.1 INTRODUCCIÓN

Índice

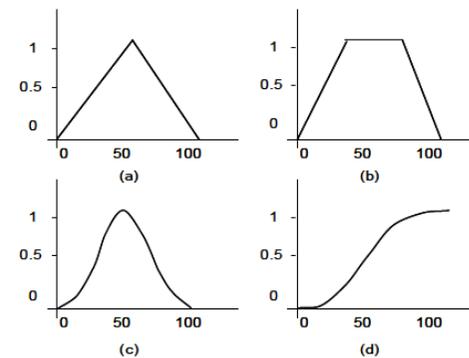
1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Lógica difusa:
 - Conjunto de los "hombres Altos" (Lofti A. Zadeh, California)

VISIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA



VISIÓN DE LA LÓGICA CLÁSICA





1.1 INTRODUCCIÓN

Índice

1.
Introducción
y objetivos

2.

Sistema
experimental

3.

Procesamiento
de las señales

4.

Clasificación
con lógica
difusa

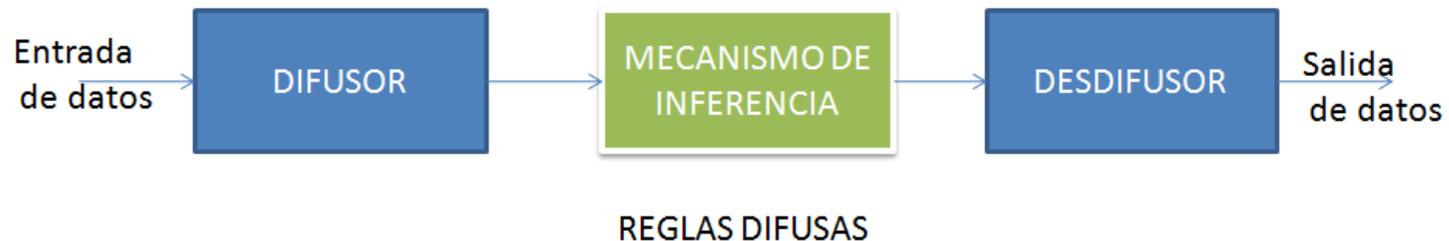
5.

Creación de
una GUI

6.

Resultados y
conclusiones

- Diagrama de bloques de un clasificador basado en lógica difusa:



- Difusor: a cada variable de entrada se le asigna un grado de pertenencia a cada uno de los conjuntos difusos considerados.
- Inferencia: relacionan los conjuntos difusos de entrada y de salida (Reglas difusas).
- Desdifusor: A partir de los conjuntos difusos de salida se obtienen valores concretos para las variables de salida.



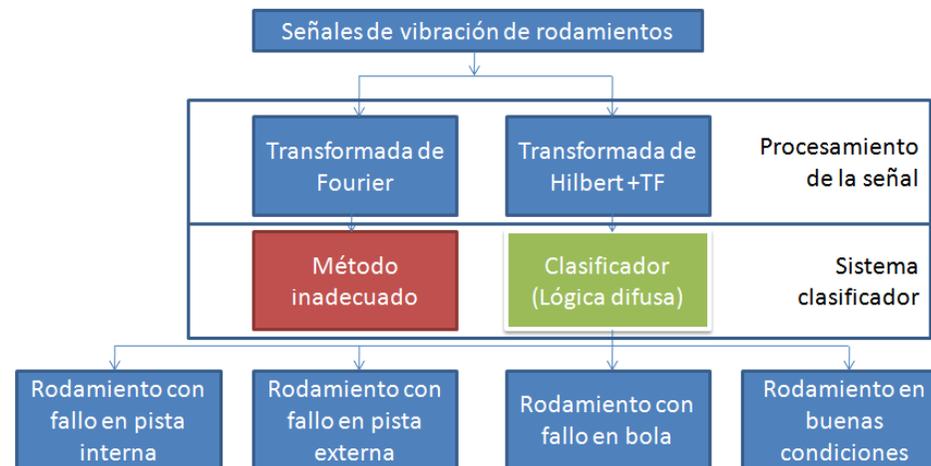


1.2 OBJETIVOS

Índice

1.	Introducción y objetivos
2.	Sistema experimental
3.	Procesamiento de las señales
4.	Clasificación con lógica difusa
5.	Creación de una GUI
6.	Resultados y conclusiones

- Diseño de sistema de detección de defectos en rodamientos:



- Optimización del clasificador → Independiente de la v de giro del eje.
- Creación de un interfaz gráfico de usuario
- Matlab®.



2.1 EQUIPO DE ENSAYO

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- **Señales reales!**
- Banco de ensayo (Rotor Kit MFS 2004)
- Rodamientos: ER10K (MB Manufacturing)
 - Defecto en bola
 - Defecto en pista externa
 - Defecto en pista interna
 - Sin defecto





2.2 EQUIPO DE ADQUISICIÓN

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Frecuencia de muestreo: 5000 muestras /s
- Velocidades de giro del eje:

ω (rpm)	ω (Hz)	T (s)	MUESTRAS NECESARIAS
600	10	0.1	500
1200	20	0.05	250
1800	30	0.033	167

$$\text{Tamaño_muestral} = \frac{\Delta f}{\omega}$$

- Δf : Frecuencia de muestreo
- Longitudes de señal registradas:
 - 5000 datos, 10000, 15000, 20000, 25000 y 50000





2.3 NOMENCLATURA DE LAS SEÑALES EMPLEADAS

360
señales

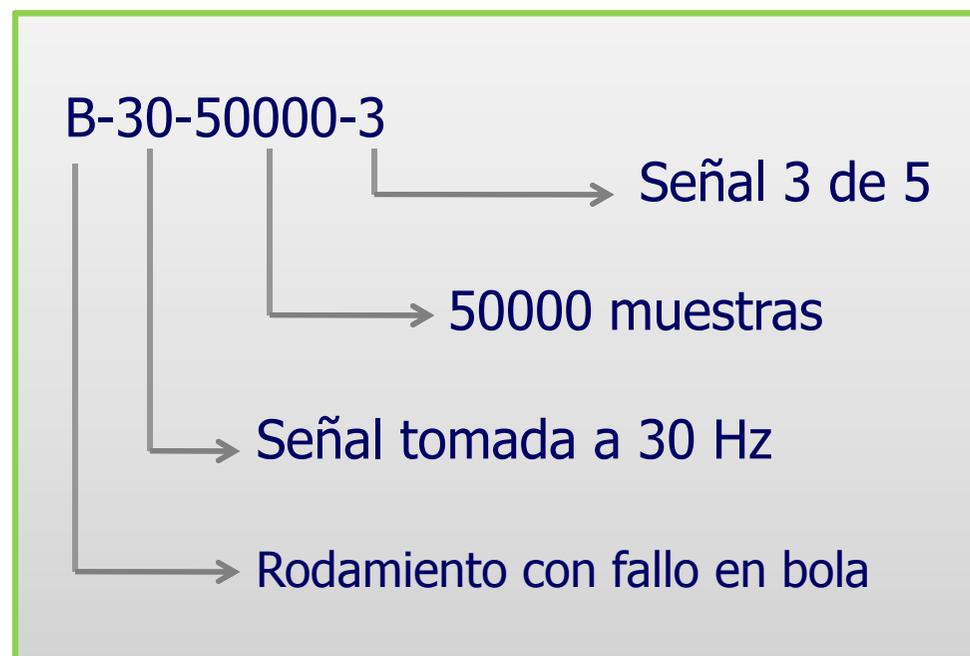
Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

A → Rodamiento sin defecto
B → Rodamiento con defecto en bola
I → Rodamiento con defecto en pista interna
O → Rodamiento con defecto en pista externa

10 → $f=10\text{Hz}$
20 → $f=20\text{Hz}$
30 → $f=30\text{Hz}$

5000 muestras
10000 muestras
15000 muestras
20000 muestras
25000 muestras
50000 muestras



Se tomaron 5 señales para cada caso.





3.1 CÁLCULO FRECUENCIAS NATURALES DE FALLO

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

Thomas Millar y Harvey Bladerstron

$$FTF = \frac{RPM}{60} \left(\frac{1}{2} \right) \left(1 - \frac{Bd \cos \phi}{Pd} \right) \quad [\text{Hz}]$$

$$BPFO = \frac{RPM}{60} \left(\frac{Nb}{2} \right) \left(1 - \frac{Bd \cos \phi}{Pd} \right) \quad [\text{Hz}]$$

$$BPFI = \frac{RPM}{60} \left(\frac{Nb}{2} \right) \left(1 + \frac{Bd \cos \phi}{Pd} \right) \quad [\text{Hz}]$$

$$BSF = \frac{RPM}{60} \left(\frac{Pd}{2Bd} \right) \left(1 - \frac{(Bd^2 \cos^2 \phi)}{Pd^2} \right) \quad [\text{Hz}]$$

Diámetro interior [mm]	15,875
Diámetro exterior [mm]	46,990
Diámetro medio [mm]	33,490
Número de bolas	8
Diámetro de las bolas [mm]	7,940
Ángulo de contacto [°]	0

Frecuencia giro [Hz]	FTF	BPFI	BPFO	BSF
10	3,815	49,483	30,517	19,904
20	7,629	98,967	61,033	39,808
30	11,444	148,450	91,550	59,712



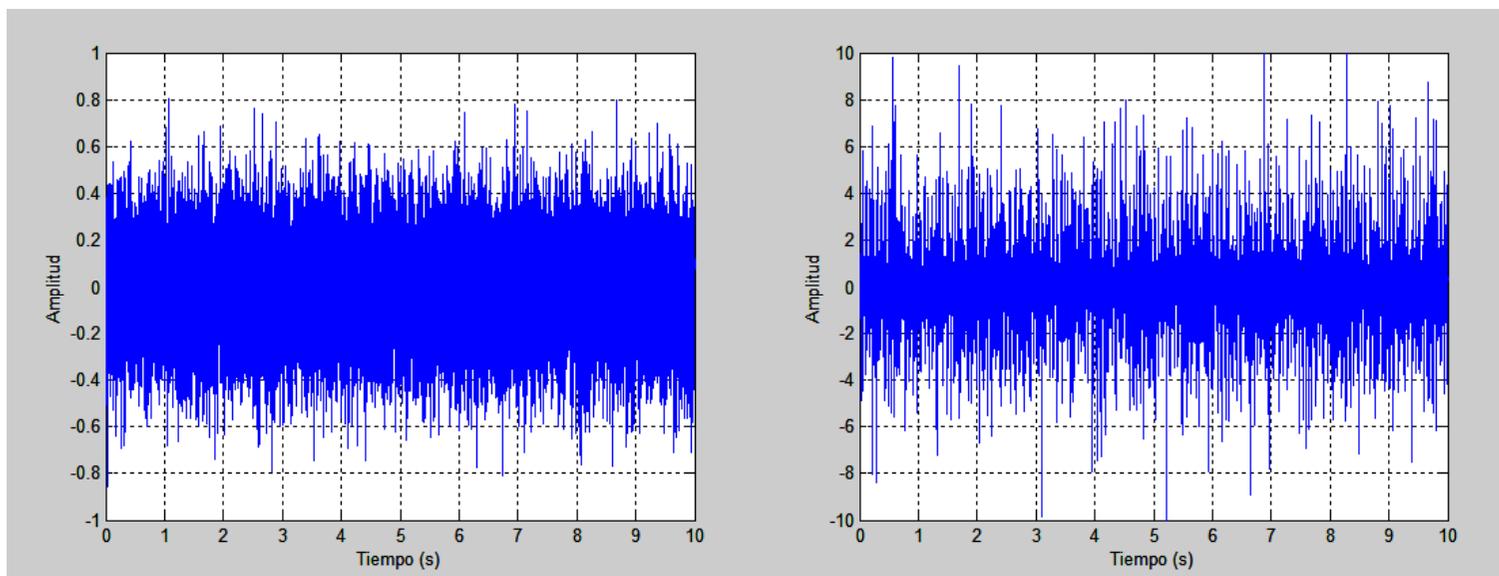


3.2 REPRESENTACIÓN TEMPORAL

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. **Procesamiento de las señales**
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Nos indica defecto pero no dónde



Rodamiento sin defecto

Rodamiento con defecto en pista interna



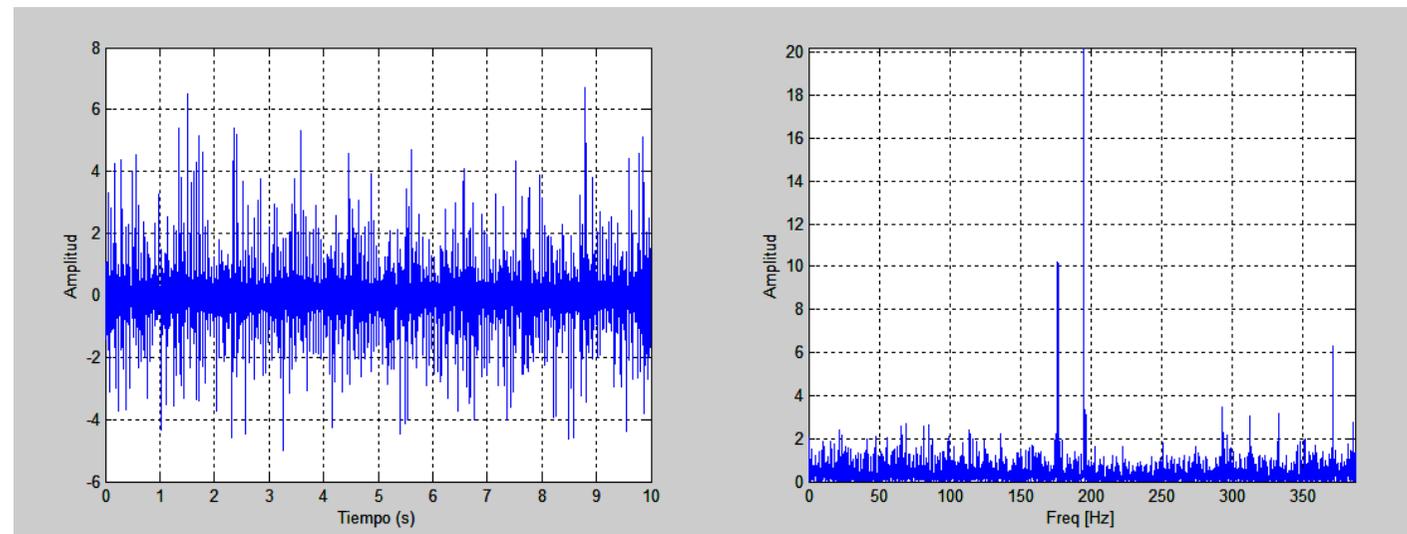


3.3 TRANSFORMADA FOURIER

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. **Procesamiento de las señales**
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Técnica matemática para el análisis de señales estacionarias
→ Malos resultados para identificar frecuencias de fallo



I-20-50000-3

Frecuencia giro [Hz]	FTF	BPFI	BPFO	BSF
10	3,815	49,483	30,517	19,904
20	7,629	98,967	61,033	39,808
30	11,444	148,450	91,550	59,712



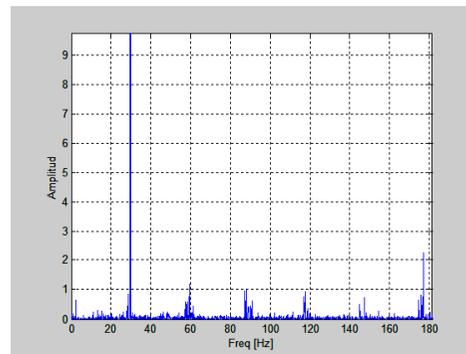


3.4 HILBERT COMO FILTRO PREVIO A FOURIER

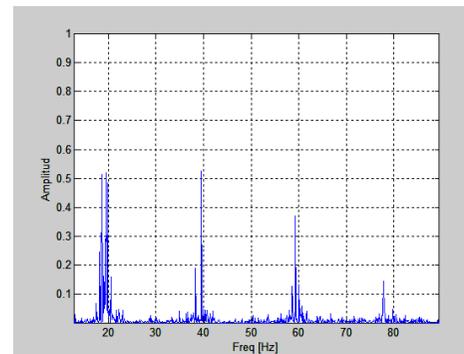
Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. **Procesamiento de las señales**
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

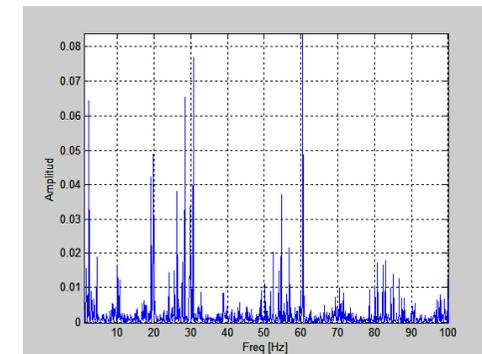
- Rodamiento sin defecto



30 Hz



20 Hz



10 Hz

- A medida que disminuye la velocidad del eje, los múltiplos de la frecuencia de giro se van igualando al nivel de ruido.

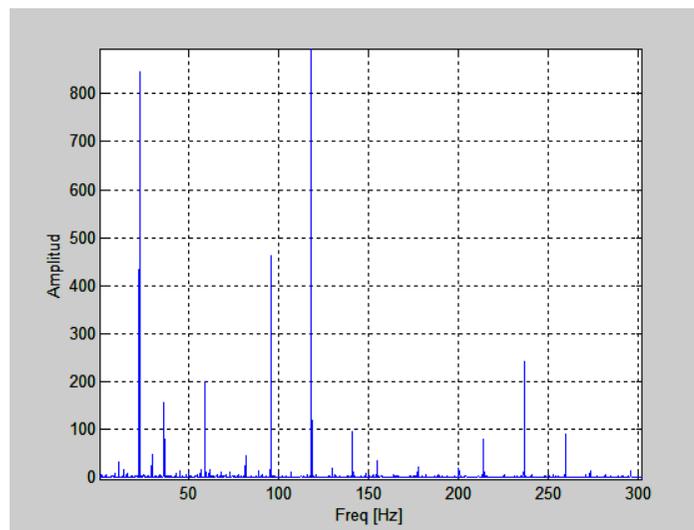




3.4 HILBERT COMO FILTRO PREVIO A FOURIER

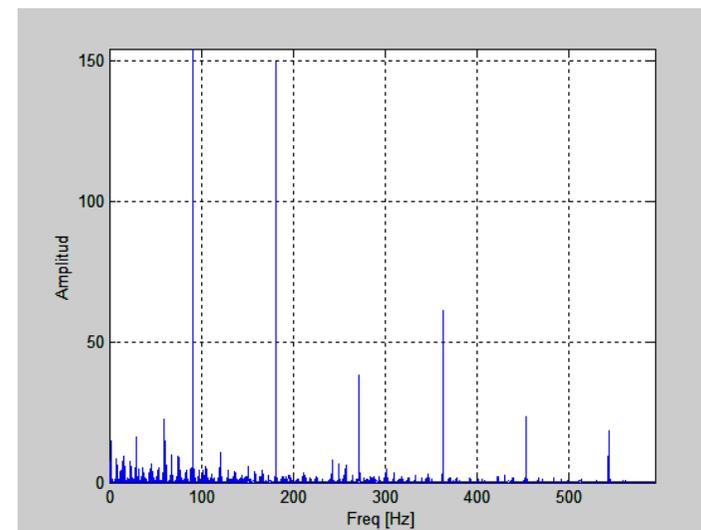
Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. **Procesamiento de las señales**
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones



BOLA 30 Hz

Frecuencia [Hz]	Significado
118,4	2BSF
22,7	2FTF
95,7	2BSF-2FTF
236,9	4BSF
59,2	BSF



PISTA EXTERNA 30 Hz

Frecuencia [Hz]	Significado
90,7	BPFO
181,3	2BPFO
90,6	3FREQ MOTOR
362,6	4BPFO
272	3BPFO

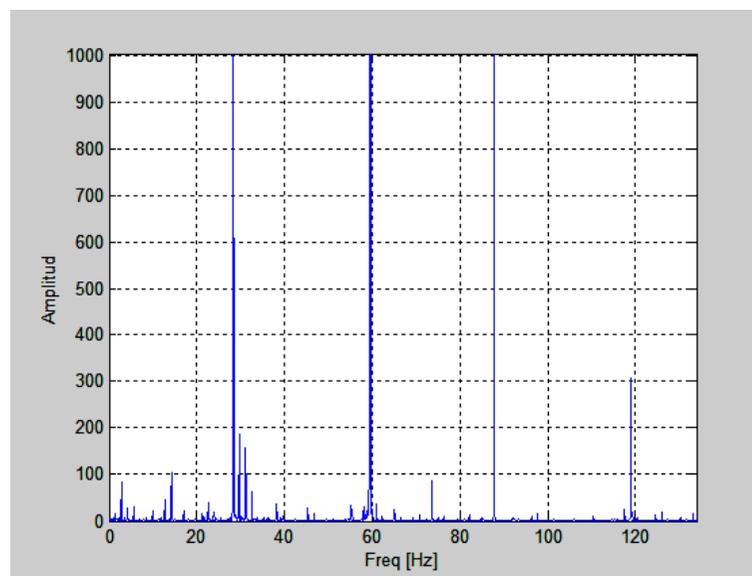




3.4 HILBERT COMO FILTRO PREVIO A FOURIER

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. **Procesamiento de las señales**
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones



PISTA INTERNA 30 Hz

Frecuencia [Hz]	Significado
59,5	<i>BSF</i>
87,8	<i>3FREQ MOTOR</i>
28,3	<i>FREQ MOTOR</i>
59,4	<i>BSF</i>
206,7	<i>BPFI+BSF</i>
294,5	<i>2BPFI</i>
147,3	<i>BPFI</i>





3.4 HILBERT COMO FILTRO PREVIO A FOURIER

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. **Procesamiento de las señales**
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

Defecto	Frecuencia de giro [Hz]	Frecuencia de defecto encontrada	Valor teórico	Error %	Amplitud	Posición
Bola	10	19,7	19,90399217	1,024881	0,056439	20
	20	39	39,80798434	2,029704	29,759	7
	30	59,2	59,71197651	0,85741	199,62	5
Pista interna	10	48,8	49,48342789	1,381125	4,2779	4
	20	97,7	98,96685578	1,280081	94,704	6
	30	147,3	148,4502837	0,774861	435,78	7
Pista externa	10	30,3	30,51657211	0,709687	0,14394	4
	20	60,5	61,03314422	0,873532	49,957	1
	30	90,7	91,54971633	0,928147	154,4	1

- Error promedio= 1.09%
- Error máximo= 2.03%





4 CLASIFICACIÓN CON LÓGICA DIFUSA

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Se pretende construir un clasificador difuso que detecte la siguientes condiciones:
 - Rodamiento en buenas condiciones
 - Rodamiento con fallo en pista interna
 - Rodamiento con fallo en pista externa
 - Rodamiento con fallo en bola



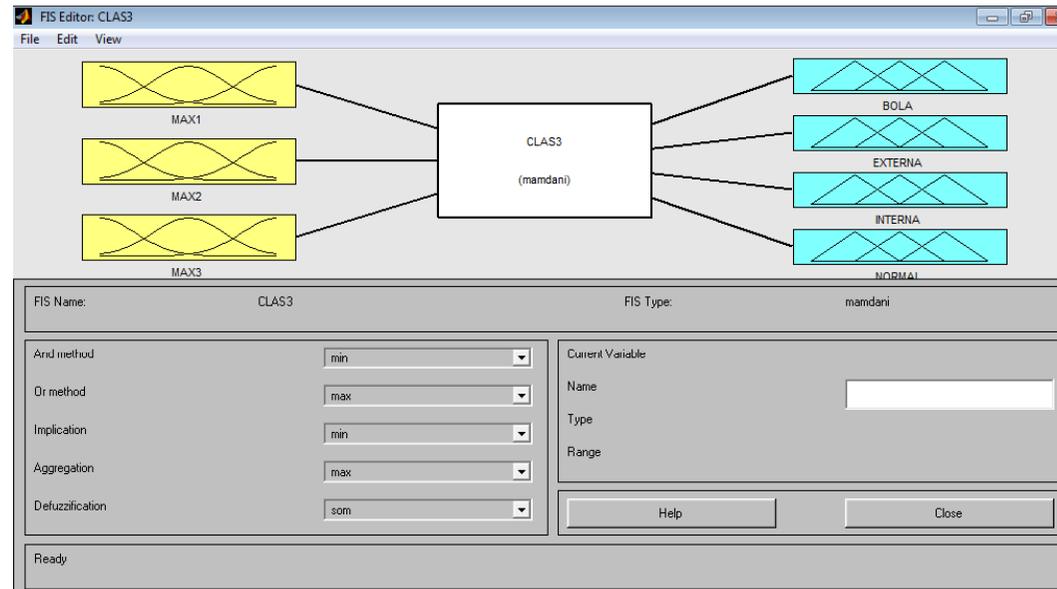


4.1 EDITOR SISTEMA DIFUSO

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. **Clasificación con lógica difusa**
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Definición de las variables



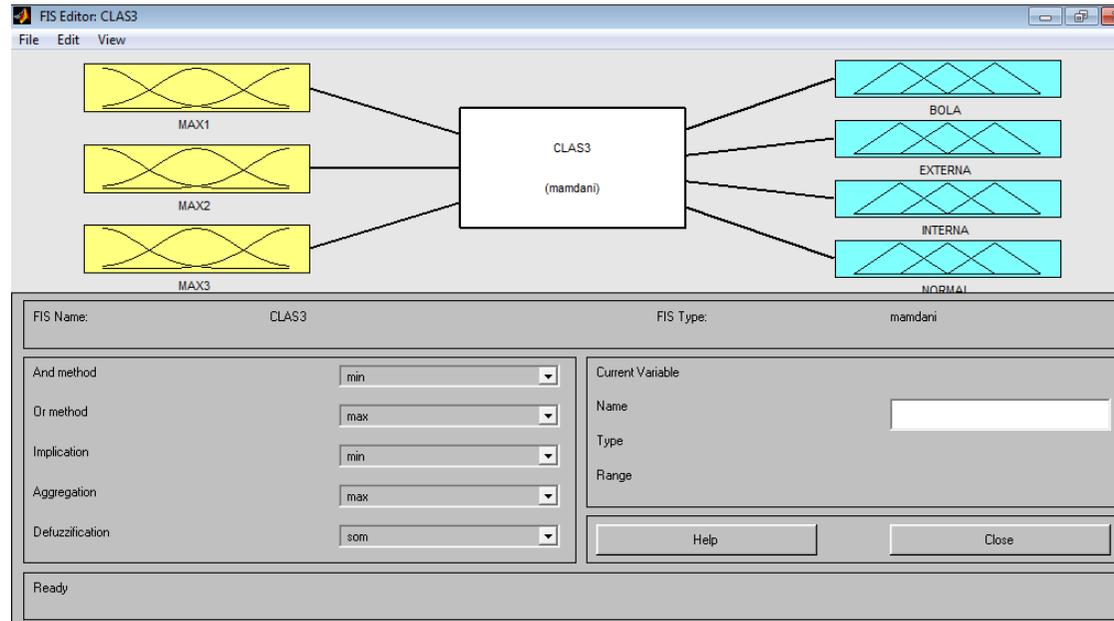
- Entrada: 3 Frecuencias correspondientes a los 3 picos más significativos del espectro de frecuencias de la envolvente entre 90 y 300 Hz
- Salida: Probabilidad de pertenencia a un tipo de defecto (en %)





4.1 EDITOR SISTEMA DIFUSO

- Definición de los métodos de funcionamiento del programa.



- Agregación:** unión del resultado de todas las reglas → Resultado único → "Max": máximo de los conjuntos de salida.

- Desdifusión:** "Som": valor para la variable de salida aquel que hace la función de pertenencia del conjunto difuso de salida es máxima.

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones



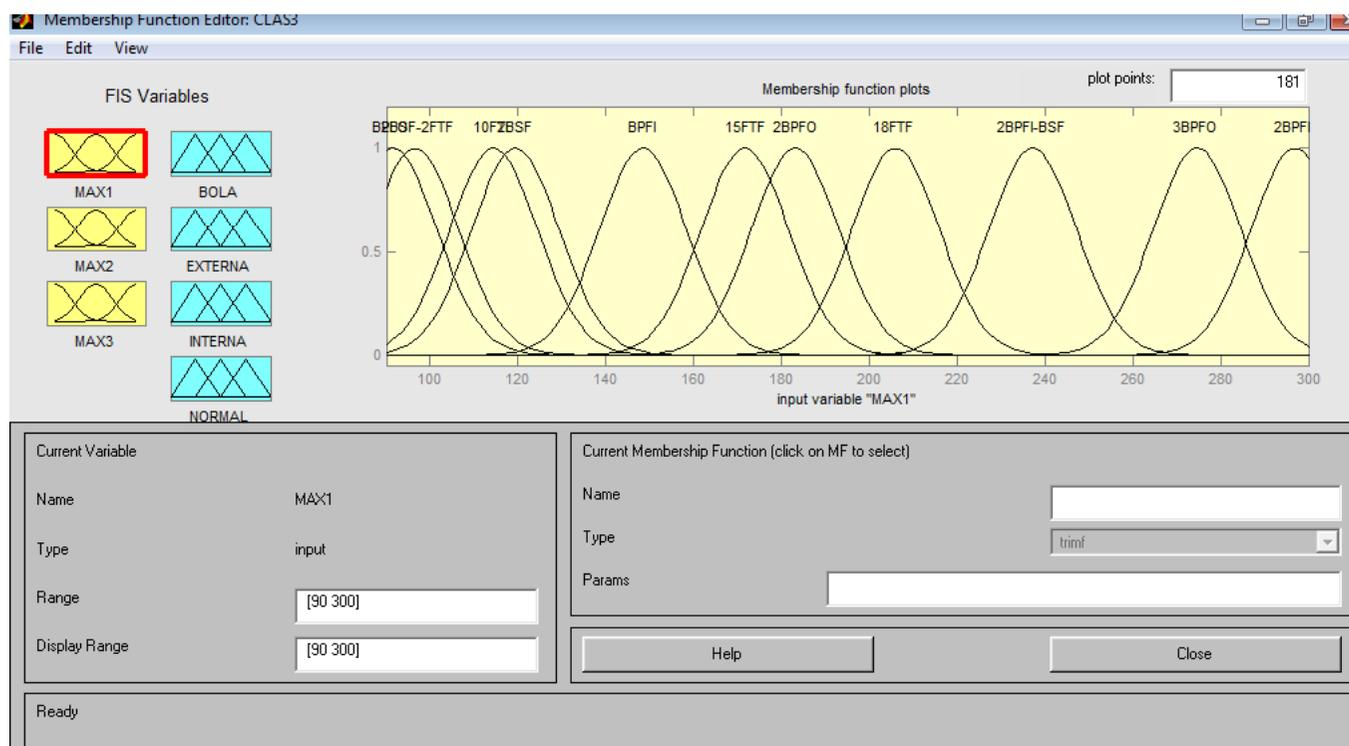


4.2 EDITOR DE FUNCIONES

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Definición de los conjuntos difusos de cada variable y de las funciones características.





4.2 EDITOR DE FUNCIONES

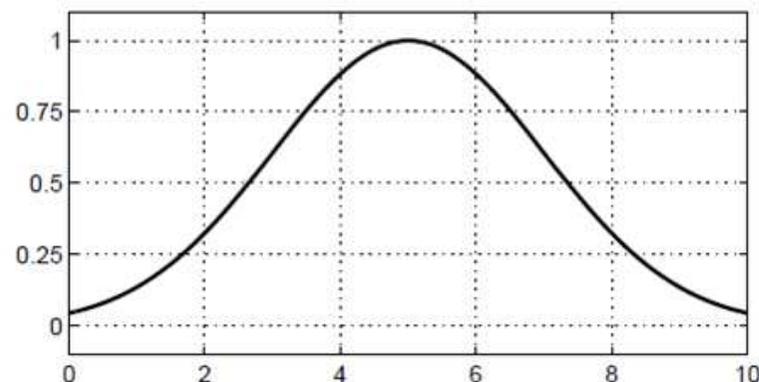
Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. **Clasificación con lógica difusa**
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Construcción de las funciones de entrada.

Frecuencia giro [Hz]	Significado
91,550	BPFO
96,537	2BSF-2FTF
114,437	10FTF
119,424	2BSF
148,450	BPFI
171,656	15FTF
183,099	2BPFO
205,987	18FTF
237,189	2BPFI-BSF
274,649	3BPFO
296,901	2BPFI o 4BSF

```
x=0:0.1:10;  
y=gaussmf(x,[2 5]);  
plot(x,y)
```



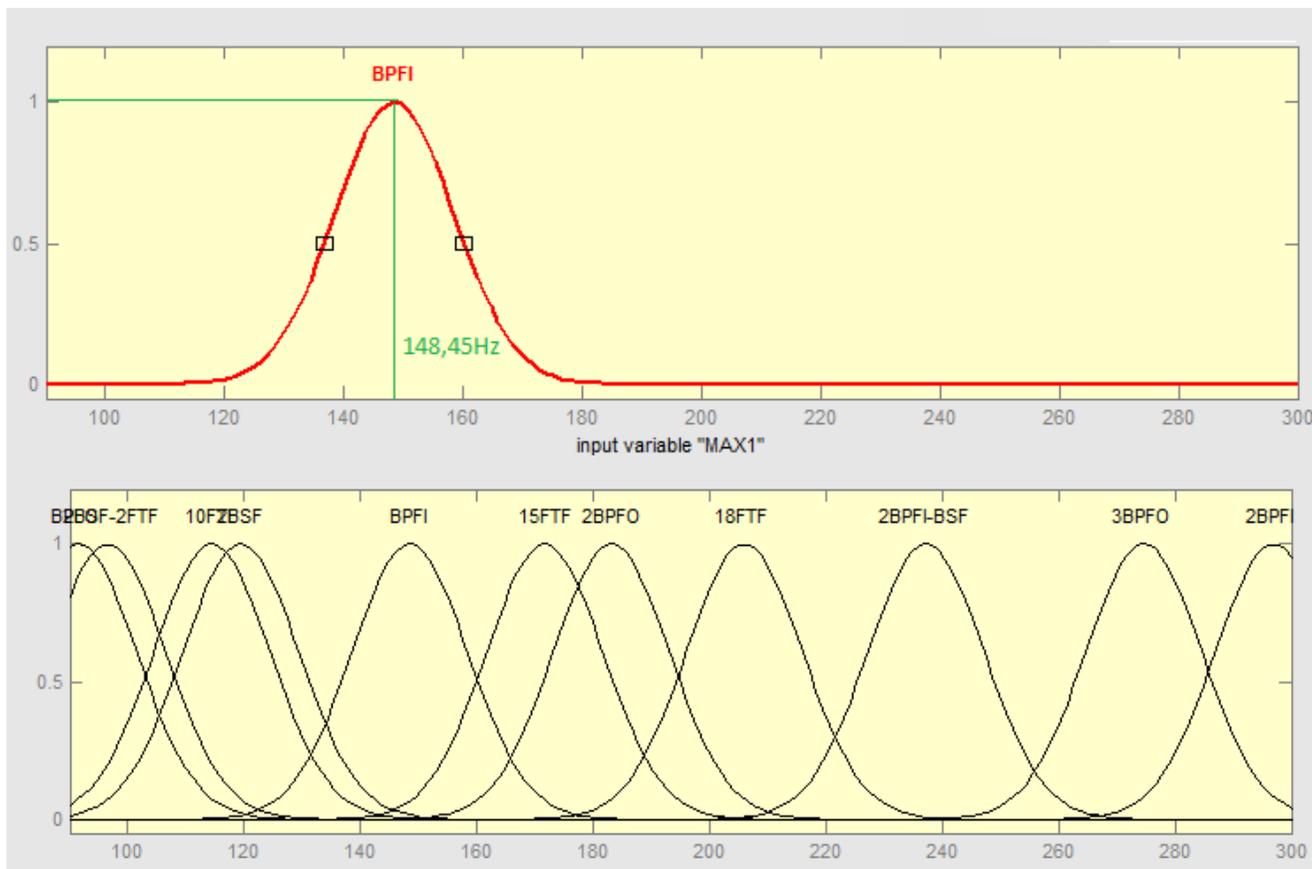


4.2 EDITOR DE FUNCIONES

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Construcción de las funciones de entrada.





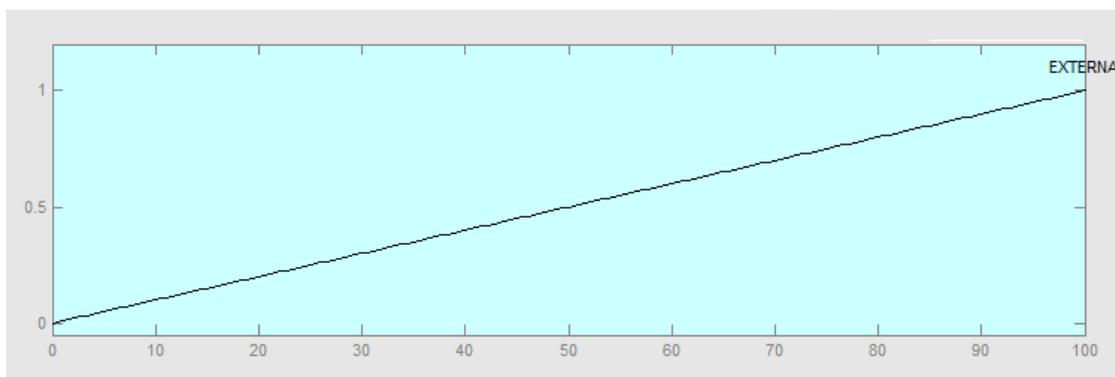
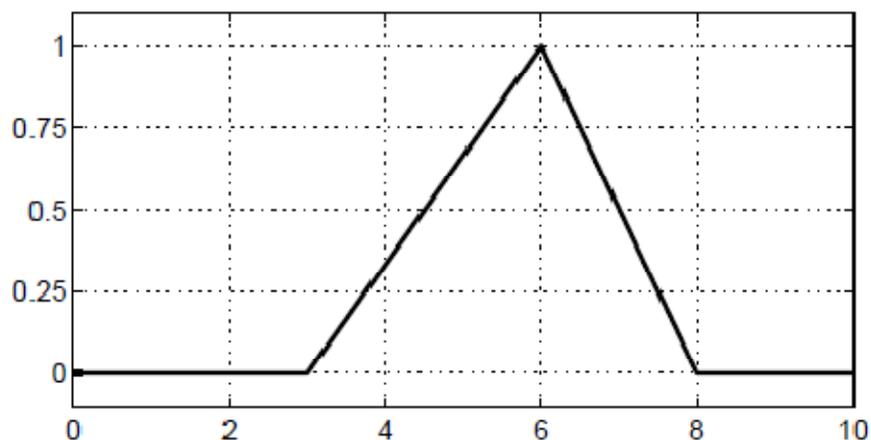
4.2 EDITOR DE FUNCIONES

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Construcción de las funciones de salida.

```
y=trimf(x,[3 6 8]);  
plot(x,y)
```



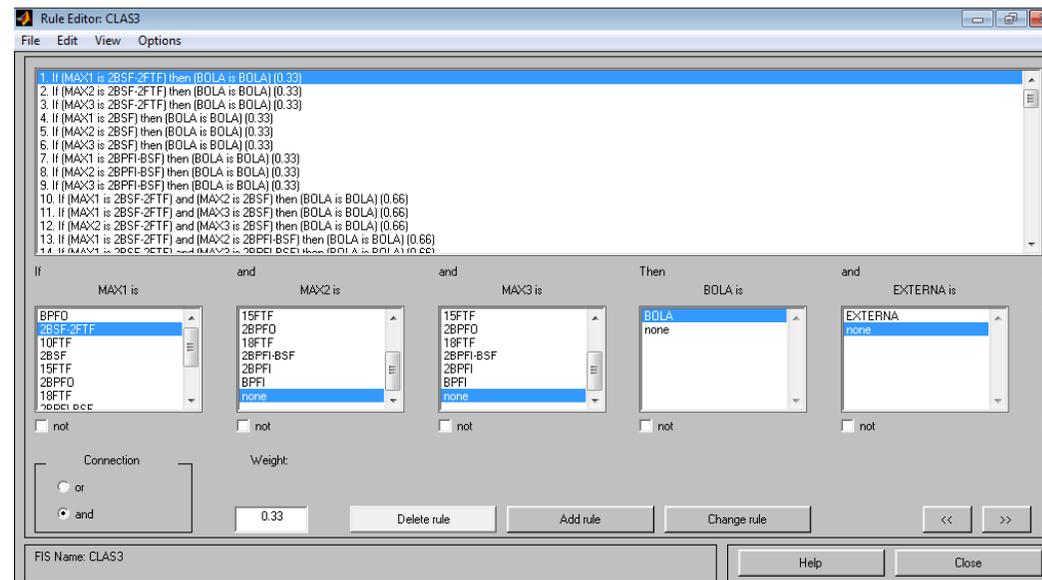


4.3 EDITOR DE REGLAS DIFUSAS

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. **Clasificación con lógica difusa**
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Construcción de reglas difusas



- SI (MAX1 es BPFO) ENTONCES (EXTERNA es EXTERNA) 0.33
- SI (MAX1 es BPFO y MAX2 es 2BPFO) ENTONCES (EXTERNA es EXTERNA) 0.66
- SI (MAX1 es BPFO y MAX2 es 2BPFO y MAX es 3BPFO) ENTONCES (EXTERNA es EXTERNA) 1





4.5 OPTIMIZACIÓN DEL CLASIFICADOR

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. **Clasificación con lógica difusa**
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Mismas reglas difusas

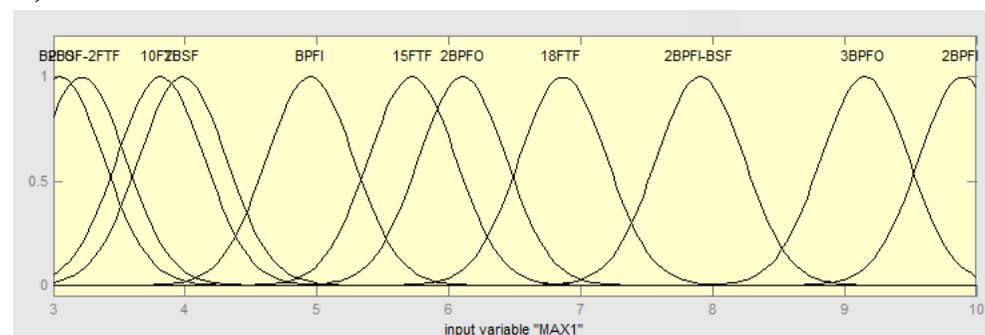
$$\frac{FTF}{RPM} = \frac{1}{60} \left(\frac{1}{2} \right) \left(1 - \frac{Bd \cos \phi}{Pd} \right)$$

$$\frac{BPFI}{RPM} = \frac{1}{60} \left(\frac{Nb}{2} \right) \left(1 + \frac{Bd \cos \phi}{Pd} \right)$$

$$\frac{BPFO}{RPM} = \frac{1}{60} \left(\frac{Nb}{2} \right) \left(1 - \frac{Bd \cos \phi}{Pd} \right)$$

$$\frac{BSF}{RPM} = \frac{1}{60} \left(\frac{Pd}{2Ba} \right) \left(1 - \frac{Ba^2 \cos^2 \phi}{Pd^2} \right)$$

Frecuencia Adimensionalizada	Significado
3,052	BPFO/RPM
3,218	(2BSF-2FTF)/RPM
3,815	10FTF/RPM
3,981	2BSF/RPM
4,948	BPFI/RPM
5,722	15FTF/RPM
6,103	2BPFO/RPM
6,866	18FTF/RPM
7,906	(2BPFI-BSF)/RPM
9,155	3BPFO/RPM
9,897	2BPFI/RPM



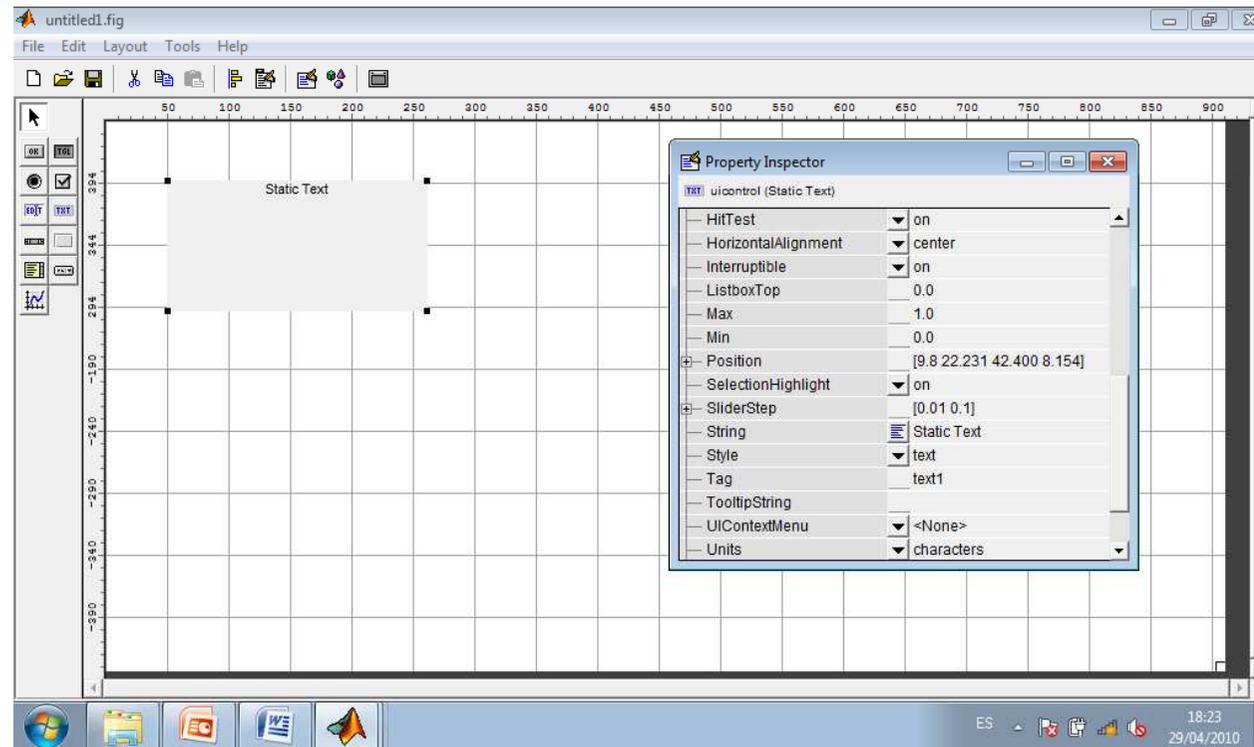


5 CREACIÓN DE UN INTERFAZ GRÁFICO DE USUARIO (GUI)

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- 2 ficheros: “.m” y “.fig”
- “tag”, variable que Matlab® asigna a cada objeto insertado.



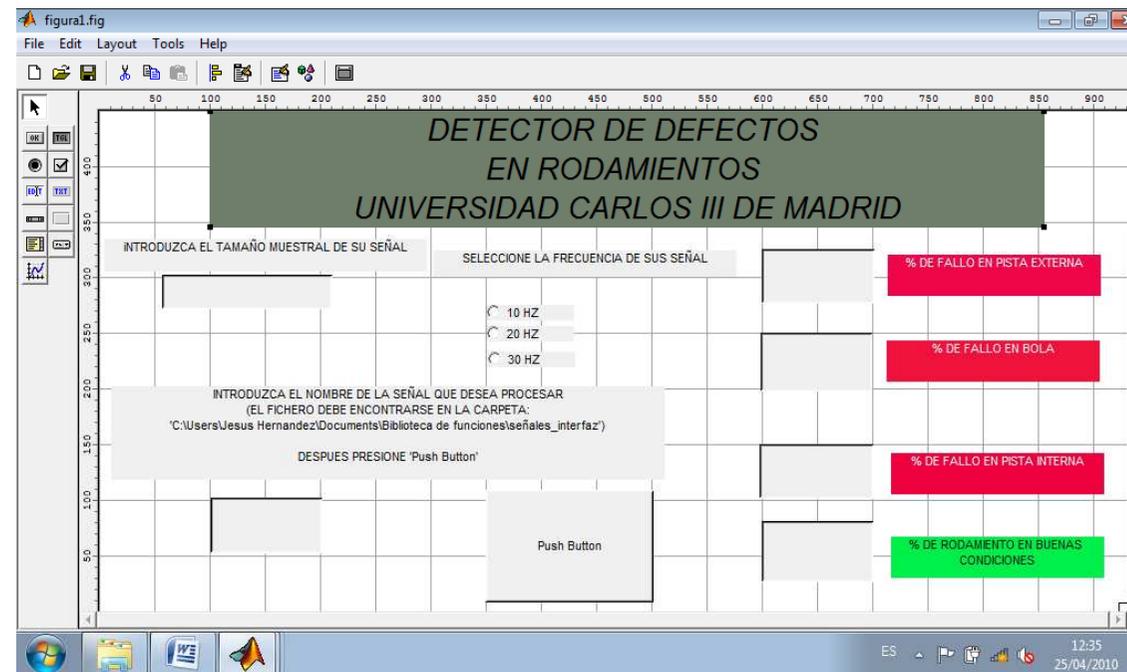


5.1 CALLBACK

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Insertar botonería hasta formato final:



- **Callback:** darle funcionalidad al botón (ejecuta miprograma3)





5.2 COMANDOS GET Y SET

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- **“get”**: captura el texto que el usuario haya introducido en el campo correspondiente.

```
archivo=get(handles.edit1, 'string');
```

- **“set”**: para imponer los strings que hayan resultado de las operaciones realizadas por el script.

```
set(handles.edit3, 'string', Porcentajes(1));
```

•



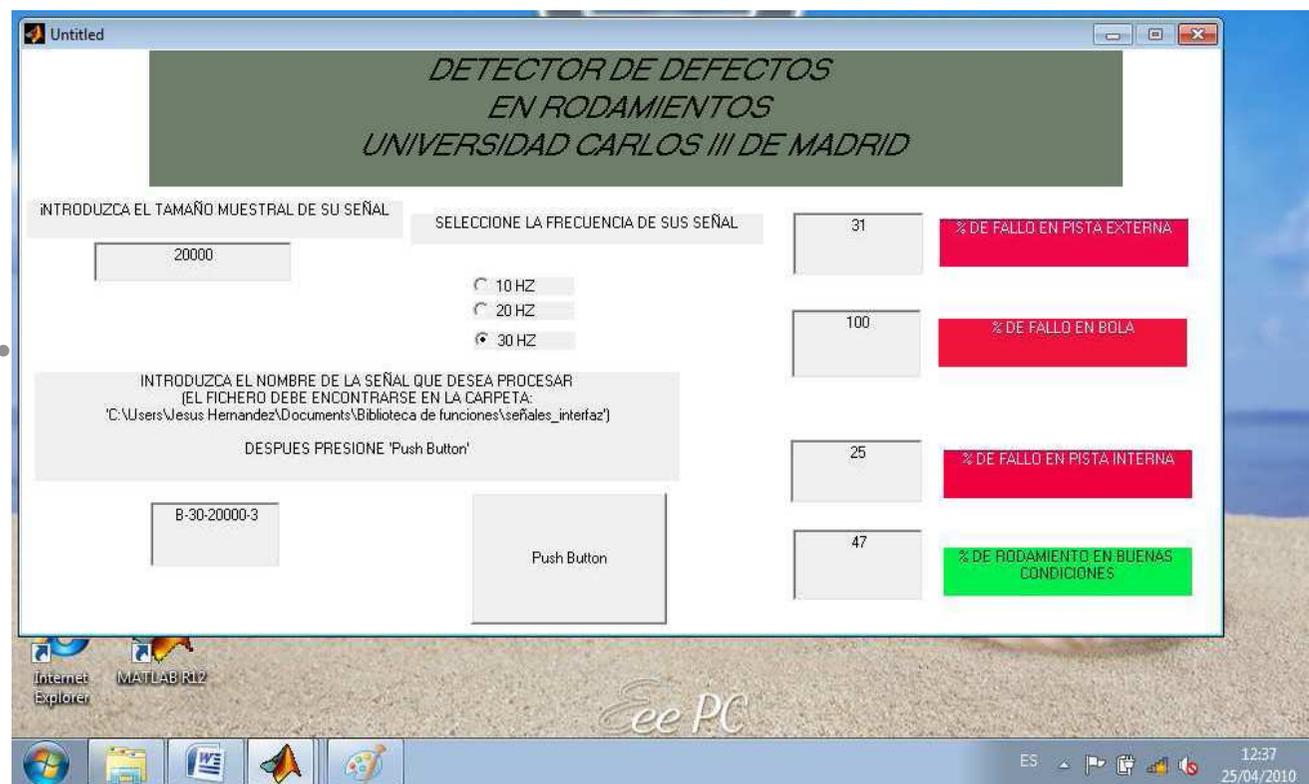


5.3 EJEMPLO DE UTILIZACIÓN DE LA GUI

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Ejemplo de uso de la interfaz:





6.1 RESULTADOS

- Se probaron las 360 señales disponibles:

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

Señal	[MAX1 MAX2 MAX3] [Hz]	[BOLA EXTERNA INTERNA NORMAL] %
I-30-50000-1	4.9100 6.8900 9.8167	1 5 98 50
I-30-50000-2	4.9067 6.8900 9.8167	1 5 98 50
I-30-50000-3	4.9100 6.8900 9.8167	1 5 98 50
I-30-50000-4	4.9067 6.8900 7.8333	33 3 98 50
I-30-50000-5	4.9100 6.8900 9.8167	1 5 98 50
I-30-25000-1	4.9067 6.8933 7.8333	33 2 98 50
I-30-25000-2	4.9067 6.8933 9.8200	1 5 98 50
I-30-25000-3	3.9667 4.9067 7.8333	65 1 98 46
I-30-25000-4	4.9067 6.8933 7.8333	33 2 98 50
I-30-25000-5	4.9067 7.8333 9.8133	33 5 49 3
I-30-20000-1	4.9083 6.8917 9.8167	1 5 98 50
I-30-20000-2	3.9667 4.9083 6.8917	33 3 100 50
I-30-20000-3	4.9083 6.8917 7.8333	33 3 98 50
I-30-20000-4	3.9667 4.9083 6.8917	33 3 100 50
I-30-20000-5	4.9083 6.8917 9.8167	1 5 98 50
I-30-15000-1	4.9111 6.8889 7.8333	33 3 98 50
I-30-15000-2	3.9667 4.9111 6.8889	33 3 100 50
I-30-15000-3	3.9667 4.9111 6.8889	33 3 100 50
I-30-15000-4	4.9111 6.8889 7.8333	33 3 98 50
I-30-15000-5	3.9667 4.9111 6.8889	33 3 100 50
I-30-10000-1	3.9667 4.9000 7.8333	65 1 98 46
I-30-10000-2	3.9667 4.9000 7.8333	65 1 98 46
I-30-10000-3	3.9667 4.9000 7.8333	65 1 98 46
I-30-10000-4	3.9667 4.9000 7.8333	65 1 98 46
I-30-10000-5	3.9667 4.9000 7.8333	65 1 98 46
I-30-5000-1	4.9000 6.9000 7.8333	33 2 98 50
I-30-5000-2	3.9667 4.9000 7.8333	65 1 98 46
I-30-5000-3	3.9667 4.9000 6.9000	33 2 99 50
I-30-5000-4	3.9667 4.9000 6.9000	33 2 99 50
I-30-5000-5	3.9667 4.9000 7.8333	65 1 98 46

Señal	[MAX1 MAX2 MAX3] [Hz]	[BOLA EXTERNA INTERNA NORMAL] %
O-20-50000-1	3.0250 6.0500 9.0800	28 98 3 31
O-20-50000-2	3.0250 6.0500 9.0750	28 98 3 31
O-20-50000-3	3 3 3	27 66 1 3
O-20-50000-4	3.0250 6.0500 9.0800	28 98 3 31
O-20-50000-5	3.0250 6.0500 9.0750	28 98 3 31
O-20-25000-1	3.0300 6.0500 9.0800	29 98 3 31
O-20-25000-2	3.0200 3.0300 6.0500	29 99 2 31
O-20-25000-3	3.0300 6.0500 9.0800	29 98 3 31
O-20-25000-4	3.0300 6.0500 9.0800	29 98 3 31
O-20-25000-5	3.0300 6.0500 9.0800	29 98 3 31
O-20-20000-1	3.0250 6.0500 9.0750	28 98 3 31
O-20-20000-2	3.0250 6.0500 9.0750	28 98 3 31
O-20-20000-3	3.0250 6.0500 9.0750	28 98 3 31
O-20-20000-4	3.0250 6.0500 9.0750	28 98 3 31
O-20-20000-5	3.0250 6.0500 9.0750	28 98 3 31
O-20-15000-1	3.0167 3.0333 6.0500	29 99 2 31
O-20-15000-2	3.0167 3.0333 6.0500	29 99 2 31
O-20-15000-3	3.0167 3.0333 6.0500	29 99 2 31
O-20-15000-4	3.0167 3.0333 6.0500	29 99 2 31
O-20-15000-5	3.0167 3.0333 6.0500	29 99 2 31
O-20-10000-1	3.0250 6.0500 9.0750	28 98 3 31
O-20-10000-2	3.0250 6.0500 9.0750	28 98 3 31
O-20-10000-3	3.0250 6.0500 9.0750	28 98 3 31
O-20-10000-4	3.0250 6.0500 9.0750	28 98 3 31
O-20-10000-5	3.0250 6.0500 9.0750	28 98 3 31
O-20-5000-1	3.0000 3.0500 6.0500	30 99 2 31
O-20-5000-2	3.0000 3.0500 6.0500	30 99 2 31
O-20-5000-3	3.0000 3.0500 6.0500	30 99 2 31
O-20-5000-4	3.0000 3.0500 6.0500	30 99 2 31
O-20-5000-5	3.0000 3.0500 6.0500	30 99 2 31





6.1 RESULTADOS

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Sistema diseñado para 30 Hz. Tasas de acierto:

TIPO DE RODAMIENTO			
BOLA	EXTERIOR	INTERIOR	NORMAL
100%	100%	100%	90%

- Sistema adimensional:

TIPO DE RODAMIENTO			
BOLA	EXTERIOR	INTERIOR	NORMAL
100%	100%	100%	90%

TIPO DE RODAMIENTO			
BOLA	EXTERIOR	INTERIOR	NORMAL
100%	100%	97%	63%

TIPO DE RODAMIENTO			
BOLA	EXTERIOR	INTERIOR	NORMAL
83%	97%	67%	0%

• 30 Hz

• 20 Hz

• 10 Hz

Tasa de acierto global 83%





6.2 CONCLUSIONES

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- ✓ Construcción de un sistema de detección de defctos en rodamientos basado en lógica difusa.

- ✓ Éxito en los resultados
 - Salvo rodamientos normales a 10 Hz
 - Sistema óptimo para 30 Hz (Se hacen más visibles los defectos)





6.2 CONCLUSIONES

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Representación temporal → NO se obtuvo información útil para identificar un tipo concreto de defecto. No obstante, puede indicarnos la presencia de algún defecto ya que la amplitud de las vibraciones es mucho mayor en los rodamientos dañados.
- La Transformada de Fourier se muestra ineficaz a la hora de intentar localizar las frecuencias naturales de fallo.
- Hilbert, como filtro previo a la Transformada de Fourier → herramienta mucho más potente para el análisis frecuencial de señales de vibración.
- Mejores resultados cuanto mayor es la velocidad de giro del eje.
- Error medio cometido al estimar la frecuencia de defecto ha sido de un 1.09%





6.2 CONCLUSIONES

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- Pega mas importante → Frecuencia natural de fallo en pista interna, significativamente mas grande → Se tomaron frecuencias entre los 90 y los 300Hz para dar oportunidad a que el segundo múltiplo de la BPFi apareciese.
- Tras construcción de clasificador independiente de la velocidad de giro del eje → Tasa de acierto en la identificación de rodamientos, va disminuyendo.
- Aún así, tasa de acierto global del 83%.





6.3 FUTUROS DESARROLLOS

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Sistema experimental
3. Procesamiento de las señales
4. Clasificación con lógica difusa
5. Creación de una GUI
6. Resultados y conclusiones

- ❖ Sistema de lógica difusa viable y sujeto a futuros desarrollos:
 - ❖ Mejorar la detección de rodamientos en buen estado a bajas velocidades.
 - ❖ Aumento de la tasa de acierto del defecto en pista interna mediante nuevos desarrollos de reglas difusas

- ❖ Implantación del interfaz gráfico en un sistema productivo.
 - ❖ Sincronizar el interfaz con la tarjeta de adquisición de datos

- ❖ Desarrollar la aplicación completa para que funcione con otros modelos de rodamiento

